

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

**Atividade Experimental Problematizada (AEP) e Ensino de
Quimiometria: uso do aplicativo portátil REDGIM® no
contexto educacional superior**

*Problematized Experimental Activity (AEP) and Teaching of Chemometrics: use
of the mobile app REDGIM® in the higher education context*

Bruno Magela de Melo Siqueira

Tese de Doutorado em Química

**Vitória
2023**

Bruno Magela de Melo Siqueira

**Atividade Experimental Problematizada (AEP) e Ensino de
Quimiometria: uso do aplicativo portátil REDGIM® no contexto
educacional superior**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Química

Área de Concentração: Química

Linha de Pesquisa: Educação e Ensino de Química

Orientador: Prof. Dr. Paulo Rogerio Garcez de Moura

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Filgueiras

**VITÓRIA
2023**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

Sa Siqueira, Bruno Magela de Melo, 1990-
 Atividade experimental problematizada (AEP) e ensino de
quimiometria : uso do aplicativo portátil REDGIM no contexto
educacional superior / Bruno Magela de Melo Siqueira. - 2023.
266 f. : il.

Orientador: Paulo Rogerio Garcez de Moura.
Coorientador: Paulo Roberto Filgueiras.
Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do
Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Experimentação. 2. Imagem Digital. 3. Planejamento
Didático-Experimental. 4. Inovação. I. de Moura, Paulo Rogerio
Garcez. II. Filgueiras, Paulo Roberto. III. Universidade Federal
do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. IV. Título.

CDU: 54

Atividade Experimental Problematicada (AEP) e Ensino de
Quimiometria: uso do aplicativo portátil REDGIM® no contexto
educacional superior

Bruno Magela de Melo Siqueira

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências
Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a
obtenção do Grau de Doutor(a) em Química.

Aprovada em 18/09/2023 por:

Prof.(a) Dr.(a) Paulo Rogerio Garcez de Moura
Orientador(a)
UFES

Prof.(a) Dr.(a) Paulo Roberto Filgueiras
Coorientador(a)
UFES

Prof.(a) Dr.(a) André Luís Silva da Silva
UNIPAMPA

Prof.(a) Dr.(a) Thalles Ramon Rosa
IFES

Prof.(a) Dr.(a) Ana Nery Furlan Mendes
UFES

Prof.(a) Dr.(a) Wanderson Romão
UFES

Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória, setembro de 2023





Tese - Bruno Magela

Data e Hora de Criação: 22/09/2023 às 07:54:34

Documentos que originaram esse envelope:

- Bruno - 1.pdf (Arquivo PDF) - 1 página(s)



Hashs únicas referente à esse envelope de documentos

[SHA256]: f22405621e8bb1b04b21cde23deccc30cf3a99954a75d6bf626c78d3c6a8735c

[SHA512]: 574c0c5a41ca401184e0a69bb0009472c2cd1e74fce1a0ae150b7a2f6d66906f82da8ce28eb439fbd9a30cf809703736895bd2012ec05d76dccf8fa537eec08

Lista de assinaturas solicitadas e associadas à esse envelope



ASSINADO - ananeryfm@gmail.com

Data/Hora: 22/09/2023 - 14:56:06, IP: 189.91.153.39, Geolocalização: [-18.718110, -39.822354]

[SHA256]: 413fa6e97c1a16dad01a1652f81fb70000300e86bdd32d9d26b9370efb4a04ae



ASSINADO - andresilva@unipampa.edu.br

Data/Hora: 22/09/2023 - 16:55:21, IP: 177.85.31.235, Geolocalização: [-30.810782, -53.899578]

[SHA256]: 8c0bd4311a11151823825c82e8af02c5eb924bd4e816d22dc218bee17458f00d



ASSINADO - Paulo Roberto Filgueiras (paulo.filgueiras@ufes.br)

Data/Hora: 22/09/2023 - 10:46:21, IP: 200.137.65.108, Geolocalização: [-20.274340, -40.305921]

[SHA256]: 20be4199183e31ef9fd855dc6abb2d687c783e888b7775f6c226be5755321451

Paulo Roberto Filgueiras



ASSINADO - Paulo Rogerio Garcez De Moura (paulo.moura@ufes.br)

Data/Hora: 22/09/2023 - 12:00:11, IP: 200.137.65.108, Geolocalização: [-20.275051, -40.303045]

[SHA256]: 6fda34c8ba272e675198536fad48c243adeb7766d0b84cf2c51f953621d83d8f

Paulo Rogerio Garcez de Moura



ASSINADO - thalles.rosa@ifes.edu.br

Data/Hora: 22/09/2023 - 12:25:22, IP: 177.133.163.132, Geolocalização: [-19.832627, -40.257779]

[SHA256]: 0250697e7c12c4f447e6174c51b3c338ed22f8d790c36ddb6234f61869d567d9



ASSINADO - wanderson.romao@ifes.edu.br

Data/Hora: 22/09/2023 - 10:46:55, IP: 200.137.75.113, Geolocalização: [-20.350556, -40.298900]

[SHA256]: 213b5278e8589506b65005295621e687ac237165cd33d0555eeb5f085c1a44d8

Histórico de eventos registrados neste envelope

22/09/2023 16:55:21 - Envelope finalizado por andresilva@unipampa.edu.br, IP 177.85.31.235

22/09/2023 16:55:21 - Assinatura realizada por andresilva@unipampa.edu.br, IP 177.85.31.235

22/09/2023 16:55:04 - Envelope visualizado por andresilva@unipampa.edu.br, IP 177.85.31.235

22/09/2023 14:56:06 - Assinatura realizada por ananeryfm@gmail.com, IP 189.91.153.39

22/09/2023 14:55:51 - Envelope visualizado por ananeryfm@gmail.com, IP 189.91.153.39

22/09/2023 12:25:22 - Assinatura realizada por thalles.rosa@ifes.edu.br, IP 177.133.163.132

22/09/2023 12:25:12 - Envelope visualizado por thalles.rosa@ifes.edu.br, IP 177.133.163.132

22/09/2023 12:00:11 - Assinatura realizada por paulo.moura@ufes.br, IP 200.137.65.108

22/09/2023 12:00:06 - Envelope visualizado por paulo.moura@ufes.br, IP 200.137.65.108

22/09/2023 10:46:55 - Assinatura realizada por wanderson.romao@ifes.edu.br, IP 200.137.75.113

22/09/2023 10:46:52 - Envelope visualizado por wanderson.romao@ifes.edu.br, IP 200.137.75.113

22/09/2023 10:46:21 - Assinatura realizada por paulo.filgueiras@ufes.br, IP 200.137.65.108

22/09/2023 10:46:17 - Envelope visualizado por paulo.filgueiras@ufes.br, IP 200.137.65.108

22/09/2023 08:01:11 - Envelope registrado na Blockchain por paulo.moura@ufes.br, IP 200.137.65.106

22/09/2023 08:01:10 - Envelope encaminhado para assinaturas por paulo.moura@ufes.br, IP 200.137.65.106

22/09/2023 07:54:35 - Envelope criado por paulo.moura@ufes.br, IP 200.137.65.106

À Deus, aos meus pais e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus e à Nossa Senhora por todo cuidado e amparo necessários para que eu nunca desistisse nos momentos em que mais fraquejei. Por me conceder sabedoria, forças e oportunidades para chegar até aqui.

Aos meus pais, Denir e Rízola, por me apoiarem em cada momento e instante diante das escolhas que fiz, acreditando no meu potencial, e por todo suporte imprescindível. Agradeço por me ajudarem com relação à formação da minha pessoa e, principalmente, por cada ajuda e conselho diante do cansaço no qual eu me encontrava. Em especial, quero expressar minha gratidão por se doarem em relação a mim e pelo que sou. Gratidão infinita. Amo vocês!

Pela minha irmã Thaís, seu marido Higor e meus dois sobrinhos, Vinícius e Erick, por estarem ao meu lado nesse momento.

À todos os meus familiares, por acreditarem em mim, me apoiando e mandando mensagens positivas.

À minha avó Marízia e minha avó Maria José (*in memorian*), por todo carinho, amor, apoio, palavras de incentivo e orações ao longo da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Rogerio Garcez de Moura, por ser esse profissional tão incrível e que gostaria de ter como amigo para o resto da minha vida. Meu muito obrigado por acreditar em mim, pela confiança, proteção, zelo e por nunca deixar eu desistir. Por cada fala, momentos de compreensão, puxões de orelhas, incentivos, suporte emocional e pelas suas falas: “E aí, magrão! Desiste não, tá acabando. Seu trabalho é incrível.” Meu muito obrigado por lá em 2019 mesmo sem você me conhecer, ter aceitado a me orientar e ter a oportunidade de ser um dos primeiros alunos do grupo de pesquisa de Educação e Ensino de Química do PPGQ, UFES. Obrigado por torcer junto comigo nesse momento tão especial e por todo ensinamento tanto no contexto científico, quanto no pessoal. Serei muito grato por tudo vivenciado ao longo desses anos.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Paulo Roberto Filgueiras, por aceitar o convite da parceria entre Quimiometria e Ensino, por cada conselho e ensinamento na vida acadêmica e profissional. Meu muito obrigado por tudo.

Aos meus amigos que passaram pelo Laboratório de Pesquisa em Educação e Ensino de Química (LAPEQ): Mayara, Dani, Thaiany, Ariel, Bárbara, Madeline, Ivina, e aos integrantes atuais: Lília, Amanda, Sara, Nathália, Luciana, e, especialmente, a Bruna, por acreditar em mim, pelo suporte especial, por cada palavra de conforto nos momentos em que eu não sabia o que fazer, por acreditar em mim, e a Gyovana.

Pegando o “gancho” anterior, por falar em Gyovana, não tenho palavras para agradecer a você. Literalmente você pegou na minha mão e me ajudou quando mais precisei. Por cada conselho, palavra, carinho, cuidado e por ser essa pessoa tão incrível. Por ter me chamado para ser seu coorientador de TCC e hoje somos pertencentes ao mesmo grupo de Pesquisa. Aprendi e ainda aprendo a cada dia com você. Você foi fundamental em cada etapa. Muito obrigado mesmo.

Aos meus amigos do laboratório de Quimiometria da UFES: Pedro, Francine, Layla, Matheus, Ellisson, Madson, Bárbara, Márcia, Evandro, Lara, Alyson, Amanda, Bia, Mariana, Dhulia, Sara e em especial à Gabriely, por ter me ajudado com os experimentos, por todo ensinamento, por me escutar, por topa entrar nessa ideia comigo, por me ajudar nas análises e ser essa amiga incrível. Com vocês eu aprendi muito, no que eu puder ajudar contem comigo. Só tenho a agradecer.

Aos meus amigos do grupo AMD, Luísa Coser, Rhayner, Layla, Vannyla e Gabriel meu muito obrigado. Sem dúvidas vocês foram essenciais para minha jornada e formação. Obrigado por me escutarem e por cada momento.

Aos meus amigos da faculdade, Renann, Nathane, Elaine e em especial Rafaella e Tatielle, por segurarem a minha mão e me dando apoio em todos os momentos. Só tenho a agradecer por cada conselho e palavra dita.

Aos meus amigos, Crislainy, Amábile, Filipe, Amanda, Geraldo, Gleici, Maria Elizabeth e Manu, que desde 2018 me ajudam a cada momento e estão comigo nessa jornada. Meu muito obrigado!!

Ao povo da 3ª idade, Ana Carolina, Thainá, Pedro Morati, menino Bento, Pedro, Bárbara, Leonardo, Jorginho, Hévilla e Márcio. Muito obrigado por entenderem meus sumiços, por aguentarem meus momentos quando eu falava que tava difícil, por aguentarem minhas chatices, ou pela frase de toda vez: não posso, tenho que escrever hahaha. Obrigado por tudo.

Aos professores, Dr. André Luís Silva da Silva, Dra. Ana Nery Furlan Mendes, Dr. Wanderson Romão e ao Dr. Thalles Ramon Rosa, por aceitarem participar da banca examinadora e por todas as contribuições para esta pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de doutorado e taxa de bancada (processo nº 159526/2019-1).

À Vale, que por meio do edital do Programa de Doutorado Acadêmico para Inovação - DAI 01/2019, proporcionou a bolsa de doutorado juntamente ao CNPq.

Às professoras, Dra. Maria de Fátima Fonte Lelis e Dra. Sandra Aparecida Duarte Ferreira, pela parceria e por toda ajuda ao longo desses quatro anos e meio.

Ao Prof. Dr. Eloi Alves da Silva Filho, pela parceria da integração do projeto com a Vale e pelo auxílio da implementação da bolsa. Muito obrigado.

Ao Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Aracruz, pelo espaço cedido dos laboratórios para a gravação dos vídeos.

À Iandra Ribeiro, que me auxiliou nesses últimos momentos no laboratório com a confecção dos vídeos.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Química - UFES por cada ensinamento e auxílio ao longo desses anos.

Às agências de fomento, CNPq, CAPES e FAPES, pelos recursos investidos.

A todos os meus amigos que estiveram ao meu lado ao longo desses anos e que contribuíram de alguma forma.

Muito obrigado a todos!

“Porque o Senhor é bom, e eterna a sua misericórdia; e a sua verdade dura de geração em geração”.

Salmos 100

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Relação entre a teoria triárquica de Sternberg e o ensino de Química....	45
FIGURA 2 – Níveis de manifestação de categorias de habilidades cognitivas.....	47
FIGURA 3 – Articuladores teóricos para proposta da AEP.....	50
FIGURA 4 – Articulação teórico-prático por outra visão.....	52
FIGURA 5 – Momentos metodológicos para a propostas da AEP; subsídios pedagógicos.....	53
FIGURA 6 – Transdução da luz visível para ser transformada em matriz numérica (de R, G e B) pelo sensor do dispositivo fotográfico em imagem digital. O objeto (a) real reflete a luz visível (b) e uma região de interesse (c) que é focalizada para o sensor da câmera digital (d) do smartphone. A câmera possui milhares de microlentes (e) as quais centralizam os feixes luminosos para os filtros (filtros de Bayer) (f) das respectivas cores monocromáticas (g) vermelha (R), verde (G) ou azul (B) traduzidas em sinal elétrico pelos sensores (h).....	65
FIGURA 7 – Modelo de sistema de espaço de cor RGB. (A) - Associação das cores primárias. (B) - Representação das cores no pixel.....	66
FIGURA 8 – Interface inicial do aplicativo REDGIM®	72
FIGURA 9 – Escolha do tipo de captura da foto pelo modo de captura múltipla.....	73
FIGURA 10 – Passo-a-passo para identificação dos ícones iniciais e tomada do branco para análise.....	74
FIGURA 11 – Passo-a-passo para ir adicionando as amostras nos grupos referentes à análise.....	75
FIGURA 12 – Interface do aplicativo mostrando onde pode encontrar as imagens das fotos tiradas e registras em seus respectivos grupos.....	76
FIGURA 13 – Telas do aplicativo mostrando os passos para gerar os resultados e salvar a análise feita.....	77
FIGURA 14 – Passos para adicionar o branco, os padrões e as amostras para predição no aplicativo.....	78
FIGURA 15 – Sequência mostrando o procedimento para a realização da otimização das VL para gera os resultados pelo método PLS.....	79
FIGURA 16 – Produção científica anual desde 2017 até os dias atuais utilizando como termo descritor “ <i>Multivariate Image Analysis</i> ” na base de dados <i>Scopus</i>	81

FIGURA 17 – Nuvem de palavras gerada pelo <i>biblioshiny</i> com ajuda do software R-Studio usando como termo descritor “Multivariate Image Analysis” na base de dados Scopus com ajuda do <i>bibliometrix</i> pelo software R-Studio.....	82
FIGURA 18 – Processo de desenho misto de integração do presente trabalho.....	86
FIGURA 19 – Delineamento pedagógico para o desenvolvimento da pesquisa.....	87
FIGURA 20 – Soluções da curva analítica da resina PET supressora de pó.....	93
FIGURA 21 – Sistema montado para tomada de fotos das amostras da resina.....	94
FIGURA 22 – Apresentação da temática para iniciar os conceitos de reconhecimento de padrões.....	100
FIGURA 23 – Esquema representativo sobre o planejamento da oficina didática do ano de 2021.....	102
FIGURA 24 – Processo de desenvolvimento dos resultados e discussão.....	107
FIGURA 25 – Diagrama de <i>Sunkey</i> das interrelações entre as aplicações (2020, 2021 e 2022) das oficinas didáticas e as respectivas informações sobre o curso, sexo e idade dos participantes.....	110
FIGURA 26 – Disciplinas que os participantes das oficinas didáticas estavam matriculados.....	111
FIGURA 27 – Percentual de participantes das oficinas (2020, 2021, 2022) que possuem (A) Experiência em IC nas grandes áreas da química; e (B) Formação acadêmica adicional.....	113
FIGURA 28 – Nuvem de palavras sobre as respostas dos alunos em relação a perguntas: “Onde e como você observa as análises químicas no seu cotidiano e na sociedade?”.....	115
FIGURA 29 – Foto das soluções de KMnO_4 da curva analítica preparada pelos alunos do grupo 1.....	122
FIGURA 30 – Otimização da escolha do número de variáveis latentes por validação cruzada por meio do método <i>leave-one-out</i>	123
FIGURA 31 – Reta de regressão linear gerada pelo aplicativo, mostrando valores reais versus valores previstos e evidenciando a previsão da concentração de duas amostras, junto aos parâmetros de desempenho do modelo.....	124
FIGURA 32 – Foto das soluções de KMnO_4 (curva analítica) preparadas para a segunda tentativa	127
FIGURA 33 – Otimização na escolha do número das VL da segunda tentativa.....	127

FIGURA 34 – Reta de regressão linear gerada pelo aplicativo com os valores reais versus valores previstos, evidenciando a previsão da concentração das duas amostras junto aos parâmetros de desempenho gerados pelo modelo da segunda tentativa..	128
FIGURA 35 – Alguns materiais utilizados para o preparo das soluções.....	130
FIGURA 36 – Foto das soluções de suco artificial em pó de goiaba, (curva analítica), preparadas	131
FIGURA 37 – Reta de regressão linear gerada pelo aplicativo com os valores reais versus valores previstos, evidenciando a previsão da concentração das duas amostras junto aos parâmetros de desempenho gerados pelo segundo grupo.....	132
FIGURA 38 – Slide da apresentação do segundo grupo acerca dos resultados alcançados	133
FIGURA 39 – Foto das soluções de suco artificial de pêssgo, (curva analítica), preparadas – segunda tentativa.....	134
FIGURA 40 – Reta analítica gerada pelo aplicativo com os valores reais x valores previstos, evidenciando a previsão das duas amostras e desempenho do modelo de regressão dos alunos do segundo grupo relativo ao suco de pêssgo.....	135
FIGURA 41 – Planejamento acerca das condições de luminosidade.....	138
FIGURA 42 – (A) - Gráfico de scores das cédulas de 2 reais (R\$) – grupamento A (verde) (cédulas verdadeiras) e grupamento B (lilás) (cédulas falsas). (B e C) - Gráficos de loadings das cédulas de 2 reais (R\$) - PC1 (B) e PC2 (C).....	139
FIGURA 43 – (A) - Gráfico de scores das cédulas de 10 reais (R\$) – grupamento A (verde) (cédulas verdadeiras) e grupamento B (lilás) (cédulas falsas). (B e C) - Gráficos de loadings das cédulas de 10 reais (R\$) – PC1 (B) e PC2 (C)	141
FIGURA 44 – (A) - Gráfico de scores das cédulas de 50 reais (R\$) – grupamento A (verde) (cédulas verdadeiras) e grupamento B (lilás) (cédulas falsas). (B e C) - Gráficos de loadings das cédulas de 50 reais (R\$) – PC1 (B) e PC2 (C).....	143
FIGURA 45 – Estrutura geral dos triglicerídeos.....	145
FIGURA 46 – (A) - Gráfico de scores das amostras de azeite e óleos vegetais comestíveis – grupamento A (verde) (azeite), grupamento B (lilás) (óleo de girassol) e grupamento C (laranja) (óleo de algodão). (B e C) - Gráficos de loadings das amostras de azeite e óleos vegetais comestíveis – PC1 (B) e PC2 (C).....	147
FIGURA 47 – Metodologia de análise desenvolvida pelo grupo sobre o reconhecimento de padrões nas misturas de gordura de porco e azeite.....	149

FIGURA 48 – Gráficos de <i>scores</i> (A) e de <i>loadings</i> (B e C) referente às amostras utilizadas para análise com o REDGIM®.....	150
FIGURA 49 – Compilação das apresentações dos resultados dos outros alunos acerca das análises propostas por eles.....	152
FIGURA 50 – Slide inicial do grupo para introdução dos assuntos abordados.....	154
FIGURA 51 – Slide do grupo mostrando os materiais utilizados para as análises....	155
FIGURA 52 – Compilação dos dados expostos nos slides de apresentação do grupo: (A). Escolha de 2 VL; (B). Valores das concentrações das amostras estimadas pelo aplicativo; (C). Reta de regressão linear gerada pelo aplicativo e (D). Parâmetros de desempenho gerados.....	156
FIGURA 53 – Compilação dos dados expostos nos slides de apresentação do grupo: (A). Escolha de 3 VL; (B). Valores das concentrações das amostras estimadas pelo aplicativo; (C). Reta de regressão linear gerada pelo aplicativo e (D). Parâmetros de desempenho gerados.....	157
FIGURA 54 – Slide da apresentação dos alunos para mostrar a metodologia de análise proposta	158
FIGURA 55 – Seleção de alguns resultados diante das análises realizadas pelos alunos.....	159
FIGURA 56 – Slides da apresentação dos alunos explicando a metodologia proposta com o suco de limão.....	160
FIGURA 57 – Slide da comprovação dos valores encontrados.....	161
FIGURA 58 – Resultados expostos das novas análises desenvolvidas pelo grupo..	162
FIGURA 59 – Grupos de alunos aprendendo a utilizar o aplicativo de maneira prática pelo método da PCA.....	164
FIGURA 60 – Processos da aula prática acerca da elaboração do procedimento proposto para usar a regressão PLS.....	165
FIGURA 61 – Preparo das soluções de CuSO ₄ para análise no aplicativo.....	166
FIGURA 62 – Aula prática acerca do manuseio do equipamento do espectrofotômetro UV-vis	167
FIGURA 63 – Construção da escala de pH com os produtos do cotidiano usando indicador de repolho roxo.....	168
FIGURA 64 – Procedimento para análise do reconhecimento de padrões na escala de pH	169

FIGURA 65 – (A). Gráfico de variância explicativa e acumulada. (B). Gráfico de scores e (C.1). Gráfico de loadings da PC1 e (C.2). Gráfico de loadings da PC2 das análises realizadas	170
FIGURA 66 – Diferenciação entre cédulas de 10 e 20 reais falsas e verdadeiras pelo uso do aplicativo	171
FIGURA 67 – Resultados obtidos pela diferenciação entre as notas de dinheiro falsas e verdadeiras. (A). Gráficos de scores. (B). Gráfico de loadings - PC1 e (C). Gráfico de loadings - PC2.....	171
FIGURA 68 – Momento de organização do conhecimento antes da aula prática.....	172
FIGURA 69 – Procedimentos tomados pelos alunos no preparo e análise da resina.....	173
FIGURA 70 – Resultados da análise gerados pelo aplicativo das suas amostras....	174
FIGURA 71 – Análise de similitude das respostas apresentadas pelos alunos na pergunta: “Com o conhecimento adquirido até agora, explique o que você entendeu sobre a importância da Quimiometria”.....	175
FIGURA 72 – Dendograma das classes fornecidas na análise por CHD em relação à pergunta: “O que você entendeu acerca dos métodos: Análise de Componentes Principais (PCA) e Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS)?”.....	177
FIGURA 73 – Análise de similitude das respostas apresentadas pelos alunos na pergunta: “Qual sua opinião a respeito do aplicativo REDGIM para análises químicas com potencial para ser utilizado em aulas práticas na Universidade?”.....	180
FIGURA 74 – Análise de similitude das respostas apresentadas pelos alunos na pergunta: “Qual sua opinião a respeito do modo como as aulas foram conduzidas, incluindo o tipo de metodologia empregada e a maneira de como os experimentos foram feitos?”	182
FIGURA 75 – Representação gráfica das AFC das classes construídas na CHD.....	185
FIGURA 76 – Nuvem de palavras formada pelas afirmativas apresentadas pelos alunos no questionário final.....	187
FIGURA 77 – Gráfico das respostas dos alunos pela Escala Likert referente às perguntas do Bloco 1 sobre a autoavaliação metacognitiva acerca da oficina didática.....	193
FIGURA 78 – Gráfico das respostas dos alunos pela Escala Likert referente às perguntas do Bloco 2 da ficha de avaliação sobre a condição analítica.....	196

FIGURA 79 – Gráfico das respostas dos alunos pela Escala Likert referente às perguntas do Bloco 3 sobre a condição criativa.....	199
FIGURA 80 – Gráfico das respostas dos alunos pela Escala Likert referente às perguntas do Bloco 4 sobre a condição prática (I).....	202
FIGURA 81 – Gráfico das respostas dos alunos pela Escala Likert referente às perguntas do Bloco 4 sobre a condição prática (II).....	202
FIGURA 82 – Gráfico para a representação das médias gerais de cada bloco.....	214
FIGURA 83 – Estrutura molecular do indicador de pH azul de bromotimol.....	216
FIGURA 84 – Representação do esquema de desprotonação do azul de bromotimol em função do pH: (1) ácido – amarelo (pH<6); (2) neutro – verde (pH = 7) e (3) básico – azul (pH>7,6).....	217
FIGURA 85 – Escala de pH (curva analítica) para a predição da resina PET como o azul de bromotimol.....	217
FIGURA 86 – Valor encontrado pelo REDGIM® para a amostra de resina com o indicador azul de bromotimol.....	218
FIGURA 87 – (A). Estrutura química da antocianina. (B). Estrutura química da antocianidina.....	219
FIGURA 88 – Possíveis transformações estruturais das antocianinas em meio aquoso em função do pH.....	220
FIGURA 89 – Escala de pH (curva analítica) para a mensuração da resina PET com o extrato de repolho roxo.....	221
FIGURA 90 – Valor encontrado pelo aplicativo REDGIM® para a amostra de resina com indicador de extrato de repolho roxo.....	221
FIGURA 91 – Curva de calibração gerada com os dados obtidos pelo fotômetro – absorbâncias versus concentração real.....	223
FIGURA 92 – Curva da predição das concentrações encontradas pelo REDGIM®.....	225
FIGURA 93 – Curva da predição das concentrações encontradas pelo Photometrix®.....	226

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Síntese dos elementos denotativos da AEP: teóricos e metodológicos.....	49
QUADRO 2 – Descrição do objetivo da oficina em cada ano de aplicação.....	95
QUADRO 3 – Questões orientadoras feitas aos alunos no momento da organização do conhecimento.....	97
QUADRO 4 – Definição de categorias a priori das perguntas dispostas no questionário final.....	105
QUADRO 5 – Respostas do questionário inicial referente a pergunta: “ <i>Onde e como você observa as análises químicas no seu cotidiano e na sociedade?</i> ” dos alunos de 2020.....	114
QUADRO 6 – Valores referentes a cada ponto da curva analítica preparada por diluição e as amostras que os alunos fizeram para confirmar com o REDGIM®.....	121
QUADRO 7 – Valores das concentrações de cada ponto da curva analítica e amostras obtidas na segunda tentativa para usar com o REDGIM®.....	126
QUADRO 8 – Valores referentes a cada ponto da curva analítica preparada por diluição e as amostras de suco para confirmar a concentração com o aplicativo REDGIM® (suco artificial em pó de goiaba).....	130
QUADRO 9 – Respostas de alguns alunos referentes ao uso do REDGIM® para ser utilizado nas aulas práticas da Universidade.....	181
QUADRO 10 – Respostas de alguns alunos a respeito da metodologia utilizada e acerca do andamento da oficina didática.....	183
QUADRO 11 – Rubricas de avaliação das habilidades de ordens inferior e superior.....	188
QUADRO 12 – Respostas dos alunos sobre o que eles achavam a respeito do conteúdo abordado ao longo das aulas e as problematizações.....	204
QUADRO 13 – Respostas dos alunos sobre a percepção dos alunos em relação à autoavaliação pelos indicadores apresentados e possíveis melhorias que possam ser feitas.....	207
QUADRO 14 – Respostas dos alunos acerca da utilização do aplicativo para o ensino de Quimiometria na graduação e o que poderia ser melhorado.....	209

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Resultados das variâncias explicativas e variâncias acumuladas da análise das cédulas de 2 reais (R\$).....	139
TABELA 2 – Resultados das variâncias explicativas e variâncias acumuladas da análise das cédulas de 10 reais (R\$).....	140
TABELA 3 – Resultados das variâncias explicativas e variâncias acumuladas da análise das cédulas de 50 reais (R\$).....	142
TABELA 4 – Resultados das variâncias explicativas e variâncias acumuladas da análise de reconhecimentos de padrões entre as amostras de azeite , óleo de algodão e óleo de girassol.....	146
TABELA 5 – Resultados das variâncias explicativas e variâncias acumuladas da análise de reconhecimentos de padrões entre as amostras de azeite e gordura de porco.....	150
TABELA 6 – Média das respostas de cada aluno por bloco de índice de avaliação cognitivo.....	212
TABELA 7 – Média geral feita com base nas médias de cada aluno por bloco e o coeficiente de variação (C.V).....	212
TABELA 8 – Concentrações utilizadas para o preparo da curva analítica utilizando o fotômetro.....	222
TABELA 9 – Concentrações encontradas das amostras pela razão da massa pesada e volume do balão.....	223
TABELA 10 – Valores dos erros absolutos e relativos encontrados para cada amostra.....	224

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1.....	61
EQUAÇÃO 2.....	62
EQUAÇÃO 3.....	62
EQUAÇÃO 4.....	62
EQUAÇÃO 5.....	121
EQUAÇÃO 6.....	213
EQUAÇÃO 7.....	224
EQUAÇÃO 8	224

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEP – Atividade Experimental Problematizada
AC – Análise de Conteúdo
AFC – Análise fatorial correspondente
ALG – Algorítmicas
APP – Aplicativo
AS – Aprendizagem Significativa
BNCC – Base Nacional Comum Curricular
CAAE – Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
CBN – Canabinol
CCD – *Charge Coupled Device* (Dispositivo de Carga Acoplada)
CHD – Classificação Hierárquica Descendente
CMYK – *Cyan, Magenta, Yellow and Key* (Ciano, Magenta, Amarelo e Preto)
CV – Coeficiente de Variação
DAI – Doutorado Acadêmico em Inovação
Ea – Erro absoluto
EnASCI - Grupo de pesquisa de Ensino, Aprendizagem e Significados em Ciências
Er – Erro relativo
HOCS – *High Order Cognitive Skills* (Habilidades Cognitivas de Ordem Superior)
HCA - Análise Hierárquica de Cluster (do inglês, *Hierarchical Cluster Analysis*)
HSI – *Hue, Saturation and Intensity* (Matiz, Saturação e Intensidade)
HSL – *Hue, Saturation and Lightness* (Matiz, Saturação e Luminosidade)
HSV – *Hue, Saturation and Value* (Matiz, Saturação e Valor)
IC – Iniciação Científica
ICP – Introdução à Ciência do Petróleo
IDC – Indicadores de Desenvolvimento Cognitivo
IES – Instituições de Ensino Superior
IFES – Instituto Federal do Espírito Santo
IFCE – Instituto Federal do Ceará
INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial
LAPEQ – Laboratório de Pesquisa em Educação e Ensino de Química

LERASS – Laboratório de Estudos e Pesquisa Aplicada em Ciências Sociais (do francês, *Laboratoire d'études et de Recherches Appliquées en Sciences Sociales*)

LED - Diodo Emissor de Luz (do inglês, *Light Emitting Diode*)

LOCS – *Low Order Cognitive Skills* (Habilidades Cognitivas de Ordem Inferior)

MIA – *Multivariate Image Analysis* (Análise Multivariada por Imagem)

MT – Média total de cada momento

NCQP – Núcleo de Competências em Química do Petróleo

OE – Objetivos Específicos

OG – Objetivo Geral

OMS – Organização Mundial de Saúde

PC – *Principal Component* (Componente Principal)

PC1 – Primeira Componente Principal

PC2 – Segunda Componente Principal

PCA – *Principal Component Analysis* (Análise por Componentes Principais)

PET – Politereftalato de etileno

pH – Potencial Hidrogeniônico

PLS – *Partial Least Squares* (Regressão por Mínimos Quadrados Parciais)

PPGQ – Programa de Pós-Graduação em Química

PPP 2 – Pesquisa e Prática Pedagógica em Laboratório no Ensino de Química II

QI – Quociente de Inteligência

RGB – *Red, Green and Blue* (Vermelho, Verde e Azul)

RMN – Ressonância Magnética Nuclear

RMSECV – *Root Mean Square Error of Cross Validation* (Erro Quadrático Médio de Validação Cruzada)

RMSEP – *Root Mean Square Error of Prediction* (Erro Quadrático Médio de Predição)

ROI – *Region of Interest* (Região de Interesse)

RS – Rio Grande do Sul

SATR – Somatório da Avaliação Total das Rubricas

SD – Sequência Didática

SEC – *Standart Error of Calibration* (Erro Padrão de Calibração)

TAS – Teoria da Aprendizagem Significativa

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TDEQ – Tecnologias Digitais para o Ensino de Química

TIT – Teoria da Inteligência Triárquica

UCEs – Unidades de Contexto Elementar

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UV-vis – Ultravioleta-visível

VL – Variável Latente

LISTA DE SÍMBOLOS

® - registrado

X – matriz X

T – matriz de *scores*

L – matriz de *loadings*

E – matriz de resíduos

^T - T transposto

Σ - somatório

R\$ - reais

mg.L⁻¹ – miligrama por litro

g.L⁻¹ – grama por litro

mL – mililitros

% - porcentagem

n – número de alunos

nm - nanômetro

°C - graus Celsius

(m/v) – massa sobre volume

≥ - menor igual

R² - Coeficiente de determinação

σ - desvio padrão

M₁ e M₂ – Molaridade inicial e Molaridade final

V₁ e V₂ – Volume inicial e Volume final

RESUMO

Esta tese aborda a estratégia teórico-metodológica Atividade Experimental Problematicada (AEP) no ensino de Quimiometria, introduzindo conceitos inovadores nas análises químicas por meio de imagens digitais com o aplicativo REDGIM® no contexto de Ensino Superior. Além disso, buscou-se explorar o uso de aplicativos na predição da concentração e pH de uma resina supressora de pó de minério, como método alternativo com o uso de tecnologias portáteis, em colaboração com o edital de Doutorado Acadêmico em Inovação - DAI (01/2019) e a Empresa Vale. Apesar da crescente importância da Quimiometria na pesquisa e indústria, seu espaço no Ensino ainda é limitado. Universidades têm a responsabilidade de atualizar os futuros profissionais, seguindo as Diretrizes Curriculares de 2001, que enfatizam a abordagem centrada no estudante. Dessa forma, a AEP se destaca como estratégia teórico-metodológica, combinando experimentação e aprendizado substancial, encorajando a investigação independente do aluno para solucionar problemas complexos e como possível potencial para mediar assuntos quimiométricos. No âmbito da metodologia deste estudo, a abordagem é caracterizada como mista, combinando procedimentos qualitativos e quantitativos. Sua natureza aplicada visa resolver problemas práticos e oferecer soluções tangíveis. A pesquisa é descritiva, focando na interpretação de fenômenos e caracterizada como pesquisa-intervenção, pois o pesquisador atua como mediador que articula o processo, promovendo interação com os sujeitos de pesquisa. O planejamento didático-experimental desenvolvido foi validado por aplicações ao longo de três anos, tanto remotamente quanto presencialmente, com estudantes de graduação dos cursos de Química da Universidade Federal do Espírito Santo – *campus* Goiabeiras. Ao longo dessas aplicações, usou-se como coleta de dados, gravação de áudios, diário de bordo, registros fotográficos, questionários e fichas de avaliação com base em indicadores de desempenho cognitivos que analisam as competências, habilidades e inteligências que foram desenvolvidas e exercitadas pelos alunos. Para o propósito do edital em inovação tecnológica, utilizou-se de aplicativos para o desenvolvimento de uma metodologia alternativa para a análise da resina supressora de pó de minério. Visto isso, os resultados apontam que a AEP apresentou aplicabilidade no desenvolvimento de competências e habilidades nos alunos, como colaboração, pensamento crítico, comunicação, criatividade e capacidade de argumentação embasada em conhecimento químico. A análise de conteúdo feita com os resultados dos questionários finais, auxiliada pelo software Iramuteq®, evidenciou como o uso de um aplicativo alternativo está interligado aos conhecimentos químicos e ao ensino de Química. Em relação a predição de propriedades físico-químicas da resina, o método proposto apresentou resultados próximos aos dos métodos já utilizados, evidenciando o possível potencial do uso de aplicativos em análises industriais diante da facilidade e baixo custo. Diante do que foi explicitado, a combinação de estudos teóricos, experimentais e educacionais culminou na concepção de um planejamento para o ensino de Quimiometria e análises químicas. Esse planejamento visou promover a aprendizagem significativa de forma aprofundada, capacitando os estudantes a lidarem com as complexidades da área e suas aplicações em análises químicas, preparando-os de maneira sólida e atualizada para os desafios do mundo contemporâneo.

Palavras-chave: Experimentação, Imagem Digital, Planejamento Didático-Experimental, Inovação

ABSTRACT

This thesis addresses the theoretical-methodological strategy of Problematic Experimental Activity (PEA) in the teaching of Chemometrics, introducing innovative concepts in chemical analysis through digital images using the REDGIM® app in the context of Higher Education. Additionally, it explores the use of apps in predicting the concentration and pH of an ore dust suppressor resin as an alternative method with the use of portable technologies, in collaboration with the Doctoral Academic Innovation Scholarship - DAI (01/2019) and Vale Company. Despite the growing importance of Chemometrics in research and industry, its place in education is still limited. Universities have the responsibility to update future professionals, following the 2001 Curriculum Guidelines that emphasize a student-centered approach. Thus, PEA stands out as a theoretical-methodological strategy, combining experimentation and substantial learning, encouraging independent student research to solve complex problems and serving as a potential mediator for chemometric subjects. In terms of the methodology of this study, the approach is characterized as mixed, combining qualitative and quantitative procedures. Its applied nature aims to solve practical problems and offer tangible solutions. The research is descriptive, focusing on the interpretation of phenomena, and characterized as intervention research, as the researcher acts as a mediator, articulating the process and promoting interaction with the research subjects. The didactic and experimental planning developed was validated through applications over three years, both remotely and in-person, with undergraduate students in the Chemistry courses at the Federal University of Espírito Santo – Goiabeiras campus. Throughout these applications, data collection involved audio recordings, logbooks, photographic records, questionnaires, and assessment sheets based on cognitive performance indicators that analyze the competencies, skills, and intelligences developed and exercised by students. For the purpose of the technological innovation scholarship, apps were used to develop an alternative methodology for analyzing the ore dust suppressor resin. The results indicate that PEA demonstrated applicability in developing competencies and skills in students, such as collaboration, critical thinking, communication, creativity, and the ability to argue based on chemical knowledge. Content analysis of the final questionnaires, aided by the Iramuteq® software, highlighted how the use of an alternative app is interconnected with chemical knowledge and Chemistry education. Regarding the prediction of physicochemical properties of the resin, the proposed method yielded results close to those of established methods, demonstrating the potential use of apps in industrial analyses due to ease and low cost. In light of the foregoing, the combination of theoretical, experimental, and educational studies led to the conception of a plan for teaching Chemometrics and chemical analyses. This planning aimed to promote deep and meaningful learning, empowering students to deal with the complexities of the field and its applications in chemical analyses, preparing them solidly and updatedly for the challenges of the contemporary world.

Keywords: Experimentation, Digital Image, Didactic - Experimental Planning, Innovation

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO: ESTRUTURA DA TESE.....	29
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	31
2. OBJETIVOS	36
2.1. Objetivo Geral (OG).....	36
2.2. Objetivos Específicos (OE)	36
3. REFERENCIAL TEÓRICO	37
3.1. Aprendizagem Significativa e Ensino de Química	37
3.2. Teoria Triárquica de Inteligência de Sternberg e Ensino de Química	44
3.3. Categorias de Habilidades de Ordem Superior e Inferior em Zoller	45
3.4. Atividade Experimental Problematicada (AEP)	48
3.4.1. Aplicações educacionais utilizando a AEP	55
3.5. Quimiometria	59
3.6. Imagens digitais na aquisição de dados.....	65
3.6.1. Aplicativo REDGIM®.....	71
3.6.1.1. Análise por Componentes Principais (PCA) – Modo Comparativo	72
3.6.1.2. Regressão por Mínimos Quadrados Parciais – Modo Colorimétrico	77
3.7. Número de publicações em Análise Multivariada por Imagens	80
4. PERCURSO METODOLÓGICO.....	85
4.1. Metodologia da Pesquisa	85
4.2. Metodologia da Fase Experimental	88
4.2.1. Testes para validação dos experimentos aplicados na oficina de 2022 utilizando o REDGIM®.....	89
4.2.1.1. Experimento para mostrar a função do modo comparativo (método de PCA do REDGIM®)	89
4.2.1.2. Experimento para mostrar a função do modo colorimétrico (método de regressão PLS) do REDGIM®	89
4.2.1.3. Experimento de construção da curva analítica do sulfato de cobre (CuSO ₄) para analisar pelo REDGIM® e pelo espectrofotômetro.....	90
4.2.1.4. Experimento de reconhecimento de padrões em óleos vegetais comestíveis.....	90
4.2.1.5. Experimento de diferenciação de notas verdadeiras e notas falsas de dinheiro.....	91
4.2.1.6. Experimento da escala de pH utilizando o aplicativo pelo método de reconhecimento de padrões	91

4.2.1.7. Análise preditiva de concentração da resina supressora de pó de minério.....	91
4.2.2. Testes para experimentos de inovação tecnológica por meio do REDGIM®	92
4.2.2.1. Predição de pH da resina PET despolimerizada	92
4.2.2.2. Predição da concentração da resina PET supressora de pó de minério	93
4.2.2.2.1. Construção da Curva Analítica	93
4.2.2.2.2. Análise dos dados empregando o REDGIM®	94
4.3. Metodologia da Fase Educacional.....	95
4.3.1. Planejamento inicial de oficinas	95
4.3.2. Validação a priori do planejamento - turma de 2020	96
4.3.3. Aplicação da oficina - turmas de 2021	98
4.3.4. Validação a posteriori da oficina – turma de 2022	102
4.3.5. Tratamento e análise das informações	104
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	107
5.1. Fase Educacional.....	107
5.1.1. Análise dos questionários iniciais de uma maneira geral das oficinas	110
5.1.2. Análise de experimentos realizados por estudantes durante oficinas didáticas.....	118
5.1.2.1. Oficina de 2020	118
5.1.2.2. Oficinas de 2021.....	137
5.1.2.2.1. Análises pelo método comparativo no REDGIM® (PCA)	137
5.1.2.2.2. Análises pelo método colorimétrico no REDGIM® (Regressão PLS)	153
5.1.2.3. Oficina de 2022	163
5.1.3. Análise de questionários finais de 2020, 2021 e 2022	174
5.1.3.1. Categoria 1: Importância da quimiometria	175
5.1.3.2. Categoria 2: Conceitos básicos da quimiometria.....	176
5.1.3.3. Categoria 3: Uso do aplicativo REDGIM® nas aulas.....	179
5.1.3.4. Categoria 4: Condução das oficinas	182
5.1.3.5. Categoria 5: AEP	184
5.1.3.6. Análise global e integração das categorias iniciais e subcategorias.....	184

5.3. Consolidação do planejamento das oficinas didáticas	188
5.3.1. Avaliação das habilidades de ordens inferior e superior	188
5.3.2. Avaliação dos indicadores de desenvolvimento cognitivo (IDC) da turma de 2022.....	192
5.3. Fase experimental relacionada à inovação tecnológica.....	215
5.2.1. Medida do pH da resina despolimerizada	215
5.2.2. Predição da concentração da resina PET supressora de pó de minério	222
5.2.2.1. Curva analítica pelo fotômetro	222
5.2.2.2. Curva analítica pela análise por imagem utilizando smartphone	225
6. CONCLUSÃO	227
7. REFERÊNCIAS.....	229
APÊNDICE.....	247

APRESENTAÇÃO: ESTRUTURA DA TESE

Esta tese de doutorado concentra-se na explanação e aplicação da estratégia teórico-metodológica denominada Atividade Experimental Problematizada (AEP), articulada ao ensino de Quimiometria, no contexto dos cursos de Química - Licenciatura e Bacharelado da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – *Campus* Goiabeiras. O trabalho aborda o enfoque educacional pela perspectiva da experimentação. No âmbito experimental, conduziram-se análises químicas para introduzir os conceitos de Quimiometria por meio de imagens digitais, utilizando um aplicativo de *smartphone* chamado REDGIM®, visando sua implementação em sala de aula. Destaca-se também, como uma abordagem inovadora adotada neste projeto, a utilização de aplicativos para a previsão da concentração de uma resina polimérica supressora de pó, cuja patente pertence à UFES. Cabe ressaltar que essa colaboração envolveu uma Empresa, reforçando ainda mais a aplicabilidade prática do REDGIM® em processos industriais. Isso destaca a versatilidade e o potencial do aplicativo não apenas no âmbito acadêmico, mas também como uma ferramenta com efetiva utilidade para procedimentos e aplicações industriais, consolidando sua relevância no campo da inovação tecnológica.

A tese estrutura-se em segmentos essenciais de uma pesquisa acadêmica: justificativa e problemática da pesquisa, referencial teórico, objetivos do trabalho (geral e específicos), seguido do embasamento teórico abrangente para os aspectos educacionais e experimentais, metodologia, resultados e discussões dos experimentos para inovação e aplicações educacionais e encerra-se com as considerações finais e referências. Por fim a apresentação dos anexos pertinentes ao trabalho.

O estudo começa com a exposição das justificativas e desafios da pesquisa, seguida por uma concisa introdução das temáticas abordadas. O próximo segmento se concentra nos objetivos delineados para o desenvolvimento da pesquisa e em seguida, o referencial teórico, que sustentará os demais componentes. Nesta fase, serão explorados conceitos pertinentes ao Ensino de Ciências e Química via Aprendizagem Significativa de Ausubel, a AEP e a Teoria Cognitiva de Sternberg, com enfoque na resolução de problemas e nas inteligências analítica, criativa e prática.

Esses conceitos serão integrados às concepções de desenvolvimento de habilidades cognitivas aplicadas ao Ensino de Química de Zoller.

Na esfera da Química, este capítulo também abordará sobre a Quimiometria e os fundamentos-chave dos métodos de Análise por Componentes Principais, do inglês, *Principal Component Analysis* (PCA) e Regressão por Mínimos Quadrados Parciais, do inglês, *Partial Least Squares* (PLS). Também será discutido o emprego de imagens digitais para obtenção de dados químicos, além da apresentação do aplicativo móvel REDGIM® e a aplicabilidade destes temas no contexto do ensino de Química. No seguinte tópico, tem-se a metodologia que será subdividida em três seções: metodologia de pesquisa, metodologia experimental para descrever os testes realizados, incluindo o método dos experimentos inovadores com a resina supressora de pó e a metodologia educacional abrangendo o planejamento e a execução das aplicações educacionais.

Em relação aos resultados e à discussão educacional, buscou-se avaliar a aplicação dos planos de ensino nos moldes da AEP com os alunos da graduação em Química da UFES, abrangendo a validação e os resultados educacionais, tanto no ensino remoto, quanto no período presencial pós-pandemia. Também apresentaremos o desenvolvimento de uma ficha de avaliação usada para verificar as três inteligências propostas por Sternberg (analítica, prática e criativa). Na abordagem experimental, descreveremos a utilização do aplicativo REDGIM® para análise da resina supressora de pó. Os resultados desta etapa incluem o emprego dos aplicativos REDGIM® e *PhotoMetrix*® como alternativas à técnica convencional, permitindo a previsão do pH e concentração da resina composta por politereftalato de etileno (PET), por meio de imagens digitais, projeto proveniente do Doutorado Acadêmico em Inovação - DAI (01/2019). Por fim, apresentaremos as considerações finais, que destacam o uso da AEP para o Ensino de Quimiometria e o trajeto percorrido respondendo aos objetivos propostos.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A Atividade Experimental Problematizada (AEP) se configura como uma estratégia teórico-metodológica de ensino que se baseia em procedimentos experimentais. Ela se desenvolve a partir da identificação de um problema de natureza teórica, buscando resolver questões por meio da experimentação (Silva; Moura; Del Pino, 2017). A partir dessa premissa, é possível constatar que a realização de experimentos como parte do plano de ensino, promovendo uma abordagem investigativa, incentiva a participação ativa e autônoma do aluno no seu próprio processo de aprendizagem (Suart; Marcondes, 2009).

Nessa perspectiva, a experimentação no ensino de Química tem se mostrado como um recurso que pode auxiliar na formação e construção de conceitos, ideias e habilidades referentes às matrizes pertinentes à essa disciplina (Konrad; Bedim, 2021). Considerando esse argumento, quando o ensino experimental é orientado pela resolução de problemas, observa-se que ele envolve o enfrentamento de desafios presentes no cotidiano, estimulando o desenvolvimento de habilidades, como a criatividade e as competências necessárias para lidar com tais situações (Silva; Moura; Del Pino, 2018). Assim sendo, essas características são potencializadas na abordagem da AEP como estratégia de planejamento.

Desse modo, o problema apresentado ao utilizar a AEP, deve estimular nos alunos o interesse, motivação e a capacidade de argumentação para exporem suas ideias, propiciando a autoconfiança necessária para a resolução de problemas reais de maneira significativa (Ferreira *et al.*, 2022). Sendo assim, parte-se da motivação de que o conhecimento estudado e investigado não deve ser interpretado como algo definitivo e imutável que se limita rigidamente à sua aplicação, desconsiderando outras perspectivas possíveis. Em outras palavras, é fundamental ter em mente que tanto o conteúdo abordado quanto a Ciência como um todo são caracterizados por sua natureza dinâmica e contínua, representando o oposto de uma realidade estática (Silva; Moura, 2018; Silva; Moura; Del Pino, 2017).

Mesmo que as atividades práticas/experimentais sejam reconhecidas como métodos eficazes para o ensino, principalmente na área da Química, ainda existem professores que apresentam uma visão fechada a respeito da experimentação. Esse olhar perpassa por uma ideia básica ou sem aprofundamento, assim dizendo, de ser

apenas uma comprovação da teoria sem apresentar algum estímulo investigativo de forma que faça sentido e significado (Silva; Moura; Del Pino, 2015; Silva; Zanon, 2000; Hodson, 1988; Filho *et al.*, 2008).

Justamente para romper com essa percepção e por acreditar que o experimento precisa objetivar a aprendizagem mais do que a transmissão do conhecimento pela prática, a experimentação apresenta a possibilidade de desenvolver o protagonismo, trabalho em equipe e uma educação mais autônoma do aluno (Galiazzi; Gonçalves, 2004). Pertinente a esse raciocínio, a estrutura da AEP foi proposta para salientar que o ensino de Ciências pode ser diferenciado, cunhado em uma articulação metodológica entre um objetivo experimental, a proposição de problemas e as diretrizes metodológicas (experimentais). Cabe deixar em destaque que a intercepção entre esses três articuladores é realizada por meio de cinco momentos: discussão prévia; organização/desenvolvimento; retorno ao grupo de trabalho; socialização e por último, sistematização (Silva; Moura; Del Pino, 2015; Silva *et al.*, 2019).

Na literatura, são encontrados alguns trabalhos utilizando a AEP como estratégia teórico-metodológica para mediação de diferentes assuntos e públicos, devido a pluralidade vista em seus moldes. Por essa razão, torna-se essencial tratar das bases organizadoras da AEP para o ensino de Química, especialmente em relação às temáticas relevantes presentes em pesquisas acadêmicas que fazem uso constante de tecnologias. É importante ressaltar que, embora essas tecnologias desempenhem um papel fundamental, muitas vezes sua aplicação não é adequadamente refletida nos cursos de educação formal. Um exemplo desse cenário é a área da Quimiometria no Brasil, que recebe menos atenção em comparação a outros temas científicos.

A Quimiometria é uma área da Química que teve o seu início a partir da década de 70, e que faz o uso de ferramentas de trabalho como Matemática, Estatística e Computação para o tratamento de dados multivariados (Kowalski, 1975; Neto; Scarminio; Bruns, 2006; Wold, 1976; Ferreira *et al.*, 1999). Apesar da relevância nas análises químicas, a inserção da Quimiometria no Ensino Superior vem crescendo aos poucos em relação às suas aplicações em pesquisas e na indústria.

O pouco fomento quanto ao incentivo desta temática no âmbito do Ensino revela-se um equívoco, uma vez que as universidades não só têm o compromisso de capacitar, mas também de manter os profissionais atualizados em tópicos relevantes, incluindo, por exemplo, questões socioambientais e tecnológicas, entre outras. As Diretrizes Curriculares para os cursos de Química (2001) sustentam a necessidade de um novo modelo de graduação que valorize o estudante como protagonista da aprendizagem. O papel do professor evolui de mero transmissor de conhecimento para mediador ou mentor das habilidades de aprendizado do aluno. Essas Diretrizes também permitem flexibilidade curricular, permitindo a inclusão de temas químicos, tecnológicos, inovadores e com temáticas transversais que preparam para o mercado de trabalho (Guizellini; Rossi, 2012; Guerra; Ribeiro; Comarú, 2019).

Um desafio evidenciado ao revisar a literatura reside em poucos estudos voltados para a investigação da inclusão de Quimiometria no contexto do Ensino Superior frente às outras áreas da Química. No entanto, uma pesquisa conduzida por Guizellini; Rossi (2012) em setenta e uma Instituições de Ensino Superior (IES) no Brasil, examinou a influência da Quimiometria na estrutura curricular dos cursos de graduação em Química. Naquele período, foi constatado que, dentre essas que disponibilizaram a ementa do curso, trinta e cinco IES não possuíam uma disciplina específica de Quimiometria. Em contrapartida, vinte e quatro IES incluem tal disciplina no currículo, sendo doze como eletiva e outras doze como obrigatória. Das IES com disciplina obrigatória, apenas metade detalha métodos quimiométricos na ementa, enquanto nas restantes, a abordagem se concentra mais na estatística geral (Guerra, Ribeiro; Comarú, 2019).

A UFES, escolhida como cenário deste projeto, não inclui nas ementas dos seus cursos de Química os conteúdos relacionados à Quimiometria. A preocupação se intensifica à luz de recentes estudos de Veras e colaboradores (2022), os quais destacam que a UFES figura entre as cem principais instituições na área de publicações relevantes. Nesse contexto, os docentes citados do Departamento de Química e do Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ/UFES), Paulo Roberto Filgueiras e Wanderson Romão, sobressaem como referências nacionais em produtividade em Quimiometria.

Diante da necessidade de capacitar profissionais aptos a abordar os avanços da área, urge desenvolver um planejamento didático-experimental eficaz para imergir

os estudantes de Ensino Superior na Quimiometria e fornecer o suporte vital à sua futura prática profissional. Dentro dessa ótica, a adoção de uma atividade experimental, de forma problematizada, como a AEP, emerge como uma estratégia que apresenta possibilidade de eficácia para atingir esse objetivo. Essa abordagem proporciona aos alunos a oportunidade de visualizar a aplicação prática da Quimiometria, integrando-a às suas experiências cotidianas em um contexto genuíno. Isso contribui para superar as percepções tradicionais de complexidade e falta de contextualização associadas a essa disciplina.

Em resumo, ao orientar o ensino experimental pela resolução de problemas, manifesta-se o confronto com desafios do cotidiano, incentivando a eclosão de habilidades como a criatividade e distintas inteligências essenciais para enfrentar tais cenários (Silva; Moura; Del Pino, 2017). Portanto, recomenda-se a sinergia entre a Quimiometria e as estratégias teórico-metodológicas da AEP fomentadora dessa transformação, para permitir que os alunos consigam visualizar a sua aplicabilidade de forma prática sobre a aquisição e tratamento de dados químicos, aliada às suas vivências do cotidiano, em um contexto real e significativo.

Como a Quimiometria envolve o tratamento e aquisição de dados, com o passar dos anos, houve um aprimoramento e avanço com relação à estudos das tecnologias utilizadas nos instrumentos de análise, tendo como destaque, análises por reflexão da luz (Umeyama; Godin, 2004). Nessa conjectura acerca de registrar informações de processos químicos por meio da reflexão da luz, o meio mais atrativo, e que vem chamando a atenção da comunidade acadêmica para esse efeito, junto à sua ampla divulgação na sociedade, são as câmeras digitais. Portanto, começa-se a obter informações para tratamento de dados químicos por meio de imagens digitais (Diniz *et al.*, 2012).

Nessa abordagem, os parâmetros para analisar o processo de reflexão da luz e seus resultados baseiam-se nas imagens formadas pela captação da luz. Em dispositivos eletrônicos, especificamente, uma imagem digital é composta por um conjunto de unidades chamadas pixels. Cada pixel é composto pelas cores vermelho (R), verde (G), e azul (B), seguindo o sistema RGB. A combinação dessas três cores resulta nas demais modulações de cores (Morais; Lima, 2015; Godinho *et al.*, 2008).

Como consequência em relação a praticidade, rápida aquisição de dados e miniaturização de instrumentos analíticos, os *smartphones* estão ganhando espaço junto à aplicativos que utilizam da análise multivariada por imagens, empregando métodos quimiométricos como a PCA e a regressão PLS, para a resolução de problemas do cotidiano (Rosa *et al.*, 2022). No ano de 2016, foi iniciado o desenvolvimento de um aplicativo chamado REDGIM® por um grupo de pesquisadores brasileiros. Esse aplicativo proporciona a inserção de inovação e tecnologia em análises químicas, na possibilidade de capturar fotos, para obtenção de dados de forma simples e rápida, permitindo que a análise seja realizada *in loco*.

O crescente uso de imagens digitais e a aplicação da Quimiometria na resolução de problemas na comunidade acadêmica têm gerado uma tendência de aumento nas publicações científicas. Isso ocorre devido à praticidade e rapidez na análise dos resultados, especialmente com a possibilidade de utilizar dispositivos móveis (*smartphones*) como ferramentas nesse processo (Khaing *et al.*, 2020). Com o advento recente dos recursos multimídias, e da popularização do uso dos aplicativos, as tecnologias móveis (celulares, tablets e afins), proporcionaram um novo protótipo educacional (*mobile learning*), por meio de dispositivos portáteis para atender as necessidades demandadas diante de situações emergentes (Al-Mashhadani ; Al-Rowe, 2018).

Isso posto, o presente estudo abordou os seguintes problemas de pesquisa: Como a estratégia teórico-metodológica Atividade Experimental Problematicada (AEP) favorece um planejamento didático-experimental eficaz no ensino de Quimiometria e propicia a sua aplicabilidade inovadora em análises químicas? e Como o aplicativo de smartphone REDGIM® pode ser utilizado como recurso tecnológico alternativo para inovação em análises químicas e no ensino?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral (OG)

(OG). Ampliar o escopo de um planejamento de Ensino, didático-experimental, por meio da Atividade Experimental Problematizada (AEP), para o Ensino de Quimiometria e inovação em análises químicas com o uso do aplicativo de smartphone REDGIM®.

2.2. Objetivos Específicos (OE)

(OE1). Elaborar estratégias didáticas, articulando a Atividade Experimental Problematizada e a Quimiometria para resolução de problemas empíricos;

(OE2). Desenvolver técnicas e procedimentos aplicáveis em processos de ensino e de inovação;

(OE3). Desenvolver, adaptar e aplicar ensaios experimentais utilizando, como recurso tecnológico, o aplicativo de smartphone REDGIM® para o Ensino de Quimiometria;

(OE4). Avaliar as evoluções das aprendizagens significativas, as habilidades cognitivas e as inteligências analíticas, práticas e criativas decorrentes da aplicação do planejamento estruturado;

(OE5). Analisar a previsão do pH e da concentração na resina PET, utilizada como supressora de pó de minério, por meio de imagens digitais, utilizando aplicativo de *smartphone* como método alternativo (DAI).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, serão delineados os fundamentos teóricos essenciais para a compreensão dos temas discutidos ao longo deste trabalho, estabelecendo uma ligação intrínseca entre os conteúdos. Inicialmente, serão abordados os alicerces teóricos dos preceitos de David Ausubel e Robert J. Sternberg, enriquecidos pelas contribuições da Aprendizagem Significativa e da Teoria da Inteligência Triárquica (TIT). Além disso, a pesquisa incorpora as categorias de habilidades cognitivas propostas por Zoller, aliadas à adoção da estratégia teórico-metodológica conhecida como Atividade Experimental Problematizada (AEP). Em seguida, serão discutidos os conceitos básicos de Quimiometria relacionados aos métodos de PCA e Regressão PLS. Essas concepções são aplicadas no tratamento de dados extraídos de imagens digitais por meio de dispositivos móveis, exemplificado pelo aplicativo REDGIM®, por exemplo.

3.1. Aprendizagem Significativa e Ensino de Química

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), originalmente proposta por David Ausubel, concentra-se na aquisição de significados a partir de um conjunto organizado de conhecimentos durante o processo formal de ensino e aprendizagem. Essa aprendizagem é mediada pela apreensão de significados por meio de uma troca, uma negociação de significados, que depende essencialmente da linguagem. Segundo a teoria, a aprendizagem significativa ocorre quando o novo conhecimento é relacionado à conceitos relevantes e já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo, ou seja, quando o novo conhecimento é assimilado de forma não arbitrária e substantiva. Isso significa que o novo conhecimento deve ser integrado à estrutura cognitiva do indivíduo, de forma que faça sentido e tenha relevância para ele. Para que a aprendizagem significativa ocorra, é necessário que o aluno esteja motivado e interessado no processo de aprendizagem, que ele possua conhecimentos prévios relevantes e que o conteúdo a ser aprendido seja apresentado de forma clara e organizada. Além disso, é importante que o aluno participe ativamente do processo de aprendizagem, construindo seu próprio conhecimento a partir da interação com o conteúdo e com os outros alunos (Ausubel, 2000).

A Aprendizagem Significativa (AS) é diferente da aprendizagem mecânica, que ocorre quando o novo conhecimento é assimilado de forma arbitrária e sem relação com os conceitos já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Na aprendizagem mecânica, o novo conhecimento é memorizado de forma isolada e não integrada à estrutura cognitiva do indivíduo, o que dificulta sua aplicação em situações reais. Sendo assim, para promover a AS, é importante que os professores apresentem aos alunos os significados que são aceitos no contexto da matéria de Ensino e que eles já dominam. Isso não significa apenas aula expositiva, mas sim uma interação entre professor e alunos, na qual, esses devem “devolver” ao docente os significados que estão sendo construídos. Se estes significados não forem aqueles contextualizados e aceitos no contexto da matéria de ensino, o professor deve ajudar os alunos a corrigirem suas percepções e a construir novos significados que sejam relevantes e coerentes com o conteúdo a ser aprendido (Moreira; Masini, 1982).

Além disso, as atividades colaborativas em pequenos grupos têm grande potencial para promover a AS, pois viabilizam o intercâmbio e a negociação de significados, colocando o professor na posição de mediador. No entanto, isso não significa que uma aula expositiva clássica não possa facilitar a AS, desde que o conteúdo seja apresentado de forma clara e organizada e que os alunos participem ativamente do processo de aprendizagem (Moreira, 2012; Moreira; Masini, 1982).

Por fim, a diferenciação progressiva é um aspecto importante da AS, pois permite que o aluno vá construindo gradativamente seu conhecimento, partindo de conceitos mais simples e avançando para conceitos mais complexos. Esse aporte, perpassa pelo princípio no qual o assunto mediado deve ser programado e organizado em etapas, de forma que as ideias sejam apresentadas de maneira inclusiva mantendo uma linha de raciocínio, para que os assuntos mais gerais se complementem aos específicos. Isso ajuda a evitar a sobrecarga cognitiva e a facilitar a assimilação dos novos conhecimentos (Moreira, 2012; Moreira; Masini, 1982).

No âmbito do Ensino de Química, a TAS emerge como uma ferramenta valiosa para facilitar a compreensão de conceitos complexos. Para destacar a importância desse tema, apresentam-se a seguir alguns estudos recentes que utilizam a AS no contexto da Química.

Foi feita uma busca no *Google Acadêmico* com os seguintes descritores: “Aprendizagem Significativa Química Graduação”, nos últimos seis anos. Em geral, as pesquisas nessa área utilizando esses termos, se concentraram no nível básico de Ensino.

Rizzatti e Jacaúna (2022) realizaram um estudo relacionando a aprendizagem significativa com o uso de tecnologias assistivas no ensino de Química. O estudo foi realizado com uma aluna surda do Ensino Médio e teve como objetivo avaliar o processo de aprendizagem dela utilizando uma sequência didática (SD) baseada na teoria da aprendizagem significativa e um aplicativo tradutor de texto português para Libras. A SD foi organizada em quatro etapas: diagnóstico, aquisição, assimilação e avaliação. A coleta de dados foi realizada por meio de observações, análise documental e caderno de campo. A aluna foi observada continuamente durante a aplicação da SD, considerando seus questionamentos, dúvidas, dificuldades e formas de expressão. Os resultados mostraram que o uso do aplicativo tradutor de texto português para Libras aliado a estratégias de ensino que considerem as especificidades dos alunos surdos é um elemento valorizador de práticas pedagógicas e pode contribuir para o desenvolvimento cognitivo desses alunos. Além disso, o estudo destacou a importância de se considerar as etapas da assimilação subordinada e a colaboração dos conhecimentos prévios dos alunos para o desenvolvimento de conceitos.

No trabalho de Bedin e Carminatti (2022) é apresentada a metodologia Dicumba, que propõe que o aluno escolha um tema de pesquisa para, a partir da descoberta, começar a aprender de forma eficiente e eficaz. A metodologia é baseada na TAS, que defende que o aprendizado é mais efetivo quando o aluno é capaz de relacionar o novo conhecimento com o que já sabe e com suas experiências pessoais. A pesquisa realizada com alunos do Ensino Médio mostrou que a atividade de aprender pela pesquisa, a partir de um tema de interesse do próprio aluno, permitiu que fosse despertada nos alunos uma predisposição para o aprendizado, resultando em um aprendizado significativo. A metodologia Dicumba pode ser utilizada como um princípio avaliativo, a fim de diagnosticar e verificar a construção do conhecimento vertical do aluno, uma vez que frisa os conteúdos e os conceitos de química a partir de um tema de interesse do sujeito. O trabalho concluiu que a metodologia Dicumba pode potencializar a aprendizagem do aluno de forma significativa, crítica, autônoma

e reflexiva, despertando a curiosidade, a argumentação crítica e o interesse pela ciência. Além disso, a metodologia pode ser aplicada em outras áreas do conhecimento científico, não se limitando apenas ao ensino de Química.

Passos, Vasconcelos e Silveira (2022) propõem uma SD para o Ensino de Química utilizando materiais alternativos em atividades experimentais, com o objetivo de tornar o aprendizado mais contextualizado e significativo para os estudantes. A proposta teve como base a TAS e a SD foi composta por quatro atividades experimentais, que abordaram temas como solubilidade, reações químicas e chuva ácida. Cada atividade foi contextualizada com o cotidiano dos estudantes, de forma a tornar o aprendizado mais significativo. Além disso, as atividades foram realizadas de forma a incentivar a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem, consolidando o seu conhecimento. O artigo deixou como ênfase a importância da realização de atividades experimentais contextualizadas com o cotidiano dos estudantes para a aprendizagem significativa. Quando as atividades são realizadas conforme os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, elas apresentam um grande potencial para obtenção de resultados mais efetivos, pois proporcionam o entendimento dos conceitos químicos, além de incentivar a atenção e o protagonismo dos estudantes na busca do conhecimento.

Santos e colaboradores (2021) relataram a efetividade da experimentação e da simulação para a aprendizagem significativa em Química Orgânica. A TAS de Ausubel é mencionada no texto como um dos conceitos chave para a compreensão do estudo. Segundo Ausubel, a aprendizagem de conceitos ocorre de maneira hierárquica na mente do aprendiz a partir de suas vivências, e o conhecimento prévio do indivíduo é um fator fundamental para a ocorrência da aprendizagem. O estudo comparou diferentes recursos pedagógicos em quatro turmas do Ensino Médio de uma escola pública de São Paulo. Os resultados mostraram que a experimentação e a simulação foram mais efetivas para a aprendizagem significativa em Química Orgânica do que outros recursos pedagógicos testados. Os alunos que utilizam esses recursos apresentaram um maior ganho de conhecimento e uma maior retenção de conteúdo ao longo do tempo. Além disso, o estudo evidenciou que a passagem da aprendizagem mecânica para a AS não é natural ou automática, e que depende da existência de subsunçores adequados, da predisposição do aluno para aprender, de materiais potencialmente significativos e da mediação do professor.

Batista e Gomes (2020) apresentaram uma abordagem pedagógica que visa melhorar o ensino de cinética química através da contextualização, experimentação e AS. O artigo apontou a importância da experimentação no Ensino de Química, pois ela permitiu que os alunos compreendessem os conceitos de forma mais concreta e significativa. Além disso, a experimentação pode ser utilizada para desenvolver habilidades como observação, registro de dados e análise crítica.

Silveira, Vasconcelos e Sampaio (2019) em seu artigo, mostraram uma investigação sobre o uso do jogo MixQuímico no ensino de Química, com o objetivo de analisar a presença da AS nesse processo. A AS é definida como aquela em que uma nova informação interage com aquilo que o aprendiz já sabe de uma maneira não-literal, com uma ideia prévia já existente na sua estrutura cognitiva. A metodologia da pesquisa envolveu a aplicação do jogo MixQuímico em uma turma de 9º ano do Ensino Fundamental, com a participação de 28 alunos. Foram realizadas atividades prévias e posteriores ao jogo, além de questionários e entrevistas com os alunos e o professor. Os resultados indicaram que os alunos demonstraram maior interesse e motivação para aprender, além de terem desenvolvido habilidades na tomada de decisões, trabalho em equipe, resolução de problemas e comunicação.

Cabe destacar que a utilização dessa abordagem (AS) no Ensino Superior no contexto da Química, ainda é relativamente baixa, visto o desenvolvimento de materiais para o nível de Educação Básica. Dessa forma, demanda a necessidade de ampliar o escopo dessas investigações visando beneficiar também os estudantes de nível superior.

Silveira, Vasconcelos e Sampaio (2022) desenvolveram um estudo realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – Campus Maracanaú, com nove graduandos do curso de Licenciatura em Química. O Município de Maracanaú integra a Região Metropolitana de Fortaleza - CE. A turma na qual o trabalho foi aplicado, cursava a disciplina de Metodologia do Ensino de Química do sexto semestre. Todos os sujeitos se prontificaram a participar da atividade em que foi percebido predisposição a aprender e isso é um dos fatores importantes para uma AS. O objetivo do estudo foi analisar como a experimentação pode ser uma estratégia eficaz na formação inicial de professores de Química, utilizando o tópico da Chuva Ácida como exemplo. A pesquisa buscou identificar se a experimentação investigativa

pode ser uma estratégia eficaz para a promoção da AS, bem como para a formação inicial de professores de Química.

O estudo foi realizado em três etapas: a primeira etapa consistiu na aplicação de um questionário para avaliar o conhecimento prévio dos estudantes sobre o tema da Chuva Ácida; a segunda etapa consistiu na realização de uma atividade experimental sobre o tema da Chuva Ácida; e a terceira etapa consistiu na aplicação de um questionário para avaliar a aprendizagem dos estudantes após a atividade experimental.

A partir dos resultados obtidos no estudo, foi possível observar que a experimentação investigativa pode ser uma estratégia eficaz para a promoção da AS, bem como para a formação inicial de professores de Química. Os resultados indicaram que a atividade experimental foi capaz de promover a aprendizagem significativa dos estudantes, uma vez que houve uma melhora significativa no desempenho dos estudantes após a atividade experimental. Além disso, o estudo também mostrou que o conhecimento prévio dos estudantes é um fator importante a ser considerado no processo de ensino e aprendizagem. A análise dos resultados indicou que os estudantes que possuíam um conhecimento prévio mais amplo sobre o tema da Chuva Ácida foram capazes de estabelecer mais conexões entre os novos conceitos e os conceitos já aprendidos, o que favoreceu a AS.

Rosa, Mendes e Locatelli (2018) que destacaram a importância da AS na formação de professores de Química. As autoras defendem que a formação de professores deve privilegiar a formação significativa entre os sujeitos envolvidos, ou seja, alunos futuros profissionais e os estudantes da escola básica, com vistas a fomentar o protagonismo de ações que dinamizam a produção de saberes outros e novos entre eles. Eles citam alguns parâmetros propostos por Ausubel, Novak e Hanesian para condução de atividades que promovam a aprendizagem significativa. Além disso, o artigo utiliza o Modelo de Ensino de Gowin como instrumento heurístico para analisar a interação entre a formação inicial de professores de Química e materiais educativos. O modelo propõe uma estruturação do conhecimento em quatro elementos: o sujeito que aprende, o objeto de estudo/pesquisa, a linguagem utilizada e o contexto em que ocorre a aprendizagem. A análise desses elementos permite

compreender como a aprendizagem significativa pode ser promovida na formação de professores de Química.

Hiraga (2022) em sua dissertação de mestrado, apresentou um estudo de caso tendo como base a AS com o objetivo de realizar um mapeamento curricular conceitual na disciplina de Química Orgânica I do curso de Bacharelado em Química da USP entre os anos de 2015 a 2019. Esse processo teve o intuito de desenvolver uma ferramenta diagnóstica conceitual que possibilita investigar os tópicos conceituais nas quais os estudantes apresentavam dificuldades. As contribuições realizadas no trabalho, puderam auxiliar em parâmetros de avaliações da disciplina, na qual ajudou os professores a orientarem de maneira significativa os estudantes a internalizar o conteúdo.

Mateus (2019) realizou um levantamento de modelos mentais para verificar a AS em relação aos conceitos de equilíbrio química em alunos do curso de Licenciatura em Química. Nesse caso, foram investigados catorze licenciandos de uma Universidade pública no interior do Estado de São Paulo com a finalidade de buscar inícios da aprendizagem com um maior caráter significativo, para utilizar em diferentes situações e níveis representacionais da Química. Os dados foram analisados com base em elementos norteadores previamente definidos e categorizados. Diante disso, a autora conseguiu averiguar que se faz necessário levar em consideração o conteúdo que o aluno já sabe, fazendo relações fortemente com assuntos do cotidiano da própria vivência do aluno, em um processo dinâmico.

Para maior efetividade da TAS no Ensino de Química, sugere-se a integração com outras teorias psicológicas voltadas para a educação, como a teoria triárquica de Sternberg, por exemplo. A teoria de Sternberg e a AS compartilham a importância de conectar o conhecimento novo com o prévio, enfatizando a relevância e aplicação do aprendizado na qual busca uma abordagem assertiva que promove o envolvimento ativo dos alunos no processo de aprendizagem. Ao aplicar essas abordagens ao Ensino de Química, os educadores podem ajudar os alunos a desenvolverem uma compreensão mais profunda e significativa da disciplina, tornando o aprendizado mais relevante e útil para suas vidas, por fazer o próprio aluno como questionador de todo seu processo de aprendizagem.

3.2. Teoria Triárquica de Inteligência de Sternberg e Ensino de Química

A teoria de Sternberg, desenvolvida pelo psicólogo Robert J. Sternberg, é uma das teorias mais influentes no campo da inteligência e cognição. Essa teoria enfoca a inteligência como algo mais do que apenas habilidades acadêmicas tradicionais, como resolução de problemas matemáticos ou compreensão verbal. Em vez disso, Sternberg propõe um modelo mais amplo de inteligência que abrange aspectos práticos, criativos e contextuais da vida diária. A teoria de Sternberg, conhecida como Teoria da Inteligência Triárquica (TIT), é composta por três aspectos principais da inteligência: componentes analítico, prático e criativo. O Componente Analítico se dá pelo aspecto que tradicionalmente associamos à inteligência acadêmica. Refere-se à capacidade de analisar, avaliar e resolver problemas de maneira lógica e eficiente. Os testes de QI (Quociente de Inteligência) geralmente avaliam esse componente. Por outro lado, o Componente Prático se caracteriza por estar relacionado à inteligência contextual e ao lidar com situações da vida real. Envolve a capacidade de se adaptar ao ambiente, usar conhecimento e habilidades de maneira prática para resolver problemas do cotidiano e realizar tarefas eficientemente. Por último, o Componente Criativo, se refere à inteligência criativa e à capacidade de pensar "fora da caixa". Envolve a geração de ideias originais, o pensamento divergente e a solução de problemas de maneiras inovadoras (Sternberg; Grigorenko, 2003).

Sternberg argumenta que a inteligência não é apenas medida por testes de QI, mas sim por como uma pessoa utiliza suas habilidades em diferentes contextos e situações da vida. Além disso, a teoria sugere que as pessoas podem ter diferentes pontos fortes em cada um dos componentes, o que leva à diversidade de habilidades e talentos. Uma parte importante da teoria é a ideia de que esses três componentes não operam isoladamente, mas estão interconectados. O uso eficaz da inteligência envolve uma combinação adequada desses componentes, dependendo das exigências de cada situação (Sternberg; Grigorenko, 2003).

A TIT de Sternberg tem sido uma abordagem valiosa para entender a complexidade da inteligência humana e para promover uma visão mais abrangente e inclusiva do que significa ser inteligente. Ela oferece uma perspectiva mais contextualizada, reconhecendo que a inteligência é uma capacidade multifacetada que se manifesta de várias maneiras ao longo da vida de uma pessoa e no contexto

de ensino de Química, tendo implicações importantes, assim como em outras áreas de conhecimento. Na **figura 1**, observa-se uma interação das componentes de inteligência triárquica e o Ensino de Química.

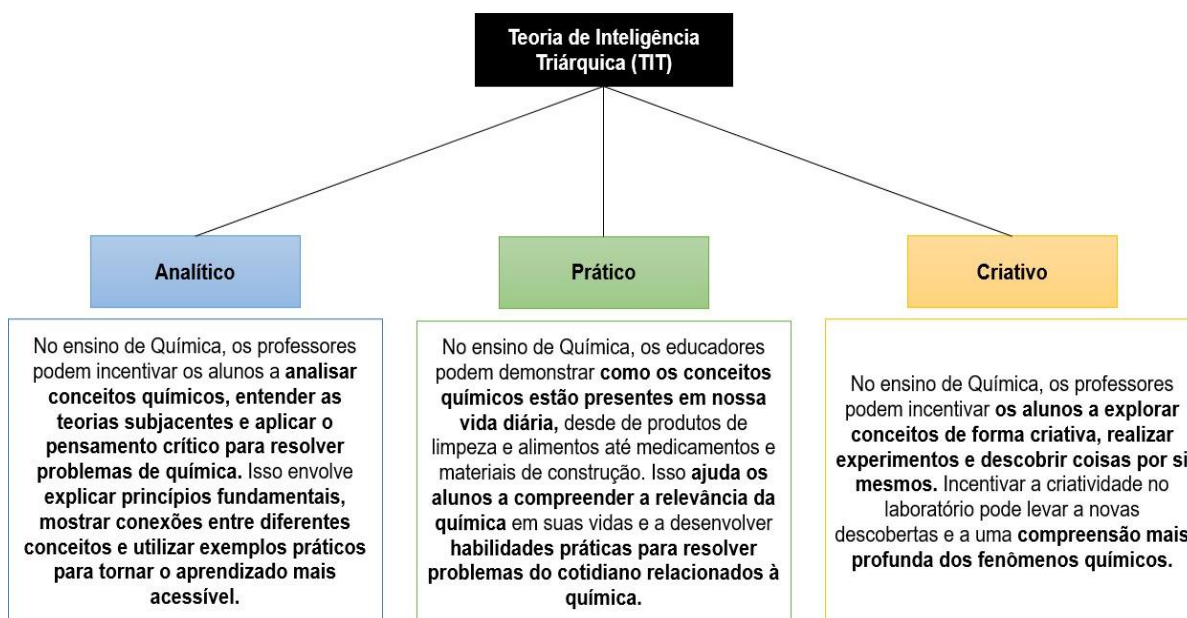


Figura 1. Relação entre a teoria triárquica de Sternberg e o ensino de Química.

Fonte: Autoria própria (2023).

A teoria de Sternberg enfatiza que a inteligência é multifacetada, então a avaliação no Ensino de Química deve refletir essa diversidade. Além de testes tradicionais, os educadores podem utilizar métodos de avaliação variados, como projetos, apresentações, debates, simulações e atividades práticas. Isso permite que os alunos demonstrem suas habilidades analíticas, práticas e criativas de diferentes maneiras. Além disso, reconhece que as pessoas têm pontos fortes diferentes em cada componente da inteligência (Sternberg; Grigorenko, 2003). No Ensino de Química, os professores podem adotar uma abordagem diferenciada, fornecendo suporte extra para os alunos em áreas onde eles têm mais dificuldade e incentivando-os a desenvolver suas habilidades mais fortes para alcançar o sucesso na disciplina.

3.3. Categorias de Habilidades de Ordem Superior e Inferior em Zoller

A teoria das habilidades de ordem inferior e superior é uma visão abrangente do desenvolvimento humano que enfatiza a importância de reconhecer e valorizar a

diversidade de habilidades e talentos em cada indivíduo. É relevante para a educação, pois sugere que as abordagens de ensino devem ser adaptadas para atender às diversas inteligências e necessidades de aprendizagem dos estudantes (Gardner, 1994). Sua relevância é demonstrada pela incorporação dessa teoria por outros autores, como Zoller, desenvolvedor das categorias de habilidades cognitivas.

As categorias de habilidades cognitivas, conforme propostas por Zoller, Dori e Lubezky (2002) e Zoller e Pushkin (2007), são as seguintes: algorítmicas (ALG), habilidades cognitivas de baixa ordem, do inglês, *Low Order Cognitive Skills* (LOCS) e habilidades cognitivas de alta ordem, do inglês, *High Order Cognitive Skills* (HOCS). Os problemas algorítmicos (ALG) podem ser considerados como uma categoria única ou como uma categoria inferior às LOCS. Nessa abordagem, os alunos são solicitados a demonstrar ou aplicar conhecimentos algorítmicos memorizados para responder a exercícios prontos. Por sua vez, as LOCS são focadas em definições formais, equações e algoritmos, limitando-se a lembrar, saber, definir e identificar fórmulas ou conceitos memorizados, que são aplicáveis apenas em situações familiares e sem necessidade de problematização (Zoller; Pushkin, 2007). Já as HOCS são aquelas que envolvem a resolução de problemas por meio de questões complexas, exigindo investigação, análise de variáveis e formulação de hipóteses. Essas habilidades também incluem o desenvolvimento do pensamento crítico e da tomada de decisão, pois se referem a problemas que não são conhecidos pelos alunos e requerem conhecimentos adicionais para sua solução (Zoller; Dori; Lubezki, 2002).

Portanto, as habilidades cognitivas são classificadas com base nas características observadas nas respostas dos alunos às perguntas feitas pelo professor, variando em um espectro que abrange desde habilidades de baixo nível de cognição e habilidades de alto nível. A **figura 2** simplifica a manifestação de cada uma das três categorias apresentadas por Zoller, Dori e Lubezky (2002).

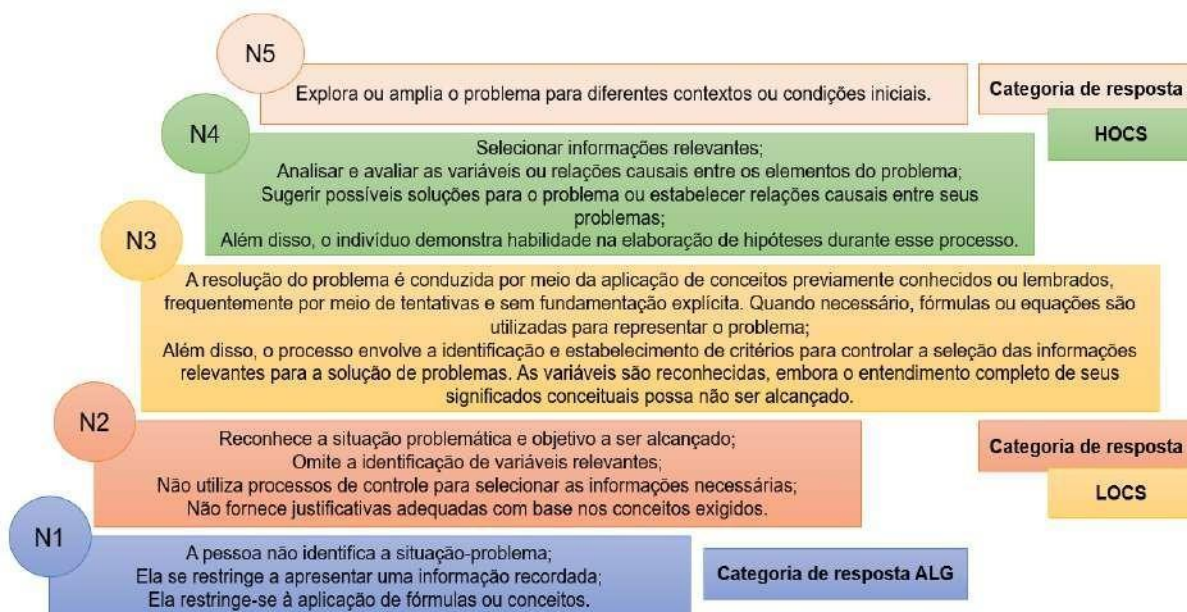


Figura 2. Níveis de manifestação de categorias de habilidades cognitivas.

Fonte: Adaptado de Zoller, Dori e Lubezky (2002).

No estudo de Zoller (1993), é abordado a maneira pela qual os educadores podem promover efetivamente as habilidades de resolução de problemas e tomada de decisões entre os alunos no contexto da Química. A pesquisa destaca que tal objetivo é atingível mediante o planejamento de estratégias instrucionais que propiciem o desenvolvimento do pensamento crítico nos alunos. No âmbito do Ensino da Química, aprimorar a capacidade dos alunos de engajarem-se em uma análise crítica dos conteúdos científicos subjacentes aos processos exige estratégias de ensino que estimulem a transição de uma compreensão passiva para uma postura ativa e autônoma na tomada de decisões e solução de problemas. Isso, por sua vez, demanda uma adaptação essencial nos métodos e abordagens pedagógicas empregadas pelo professor.

É notável que a mudança de LOCS para HOCS exige uma alternância baseada na investigação das estratégias utilizadas, nos tipos e métodos de avaliação de desempenho dos alunos, bem como nos estilos de aprendizagem. Nesse contexto, destaca-se a importância de promover o aprimoramento e desenvolvimento de habilidades de ordem superior como meta central no ensino de Química. Essa abordagem, essencial para o processo de ensino-aprendizagem, estabelece uma parceria colaborativa entre professores e alunos, fomentando a construção do conhecimento de maneira mutuamente benéfica (Zoller, 2001).

Para complementar essa ideia da transição de habilidades de um nível para o outro, Zoller e colaboradores (1995), retrataram que métodos e estratégias de ensino que não apresentam um propósito bem definido para explorar as possíveis variáveis envolvidas sobre aprendizagem, não são compatíveis com uma aprendizagem significativa. O estudo reforça o esforço que deve ser adotado para trazer estratégias de ensino orientadoras aplicadas ao contexto químico de forma contextualizada em sala de aula.

Para efetivar a implementação dessas teorias educacionais cognitivas em ambientes de ensino, torna-se efetiva a adoção de estratégias apropriadas. Como proposta, uma das possibilidades é a utilização da AEP, que é uma estratégia teórico-metodológica que prioriza a solução de problemas e envolve os alunos em situações concretas. Essa estratégia estimula a experimentação como meio de atingir esse objetivo.

3.4. Atividade Experimental Problematicada (AEP)

A AEP oferece um arcabouço teórico-metodológico para o ensino experimental de Ciências, unindo objetivos e habilidades, aplicáveis em diversos contextos formais de ensino. Seu propósito é resolver problemas por meio da experimentação, originando-se de questões teóricas nas Ciências da Natureza (Silva; Moura; Del Pino, 2017).

Essa estratégia é sustentada por ideais de aprendizagem significativa e pela epistemologia de Thomas Kuhn, que enfatiza a natureza não determinista do conhecimento científico. O conhecimento deve ser adaptável aos diferentes contextos, e não estático (Silva; Moura; Del Pino, 2017; Silva; Moura, 2018).

Para aplicar a AEP, todas as etapas do processo, desde a observação até o registro de dados, são essenciais para a aprendizagem. A metodologia deve ser rigorosa para adequar a aprendizagem ao objeto, potencializando resultados alinhados aos processos cognitivos dos alunos. Essa abordagem pode ser uma estratégia cooperativa para atividades práticas em laboratórios de Ciências Naturais (Silva; Moura, 2018).

No que concerne ao embasamento da estrutura teórico-metodológica da AEP, sugere-se uma abordagem que otimize o processo de ensino, considerando dois eixos fundamentais: um de caráter teórico e outro de natureza metodológica. Estes eixos se interligam de maneira mútua, garantindo a harmonia conceitual (Silva; Moura; Del Pino, 2017; Silva; Moura; Del Pino, 2018). O **quadro 1** apresenta uma síntese concisa dos elementos descritivos relativos a esses dois eixos na AEP, abrangendo os aspectos teóricos abordados pelos agentes articuladores, bem como os aspectos metodológicos em cada etapa do processo.

Quadro 1 – Síntese dos elementos denotativos da AEP: teóricos e metodológicos.

Eixos			
Teórico (a planejar)		Metodológico (a executar)	
Articuladores	a. Proposição de problema b. Objetivo experimental c. Diretrizes metodológicas	Momentos	i. Discussão prévia ii. Organização/desenvolvimento iii. Retorno ao grupo de trabalho iv. Socialização v. Sistematização

Fonte: Silva, Moura e Del Pino (2018).

Frente à delimitação, explicação e exposição de um problema de índole teórica, emerge um objetivo experimental, tendo como parâmetro o resultado empírico almejado em termos de produto/ação. Este objetivo é orientado por diretrizes metodológicas que delineiam as etapas conducentes até chegar na resolução do problema por meio da experimentação (Silva; Moura; Del Pino, 2018).

As fundamentações dos preceitos da AEP, busca conectar o objetivo experimental com as diretrizes metodológicas, por meio da identificação e análise de um problema investigativo, idealmente em um contexto situacional. Este problema informa o objetivo experimental, guiando a formulação de ações estratégicas que orientam os procedimentos experimentais, as quais são designadas como diretrizes metodológicas, como previamente citado. Assim, a formulação e estabelecimento destes parâmetros são incumbências do professor ou em conjunto com os alunos, como agentes propositores e organizadores da atividade experimental, seja em um ambiente de laboratório ou em um local designado como mais pertinente para a ação (Silva; Moura; Del Pino, 2018).

Em síntese, a aplicação da AEP demanda a delimitação de um problema, a definição de um objetivo experimental e a resolução por intermédio das diretrizes desenvolvidas, estabelecendo, portanto, uma harmonia e conexão entre os três aspectos específicos do componente teórico (Silva; Moura; Del Pino, 2018; Silva et al., 2019), como ilustrado na **figura 3**.

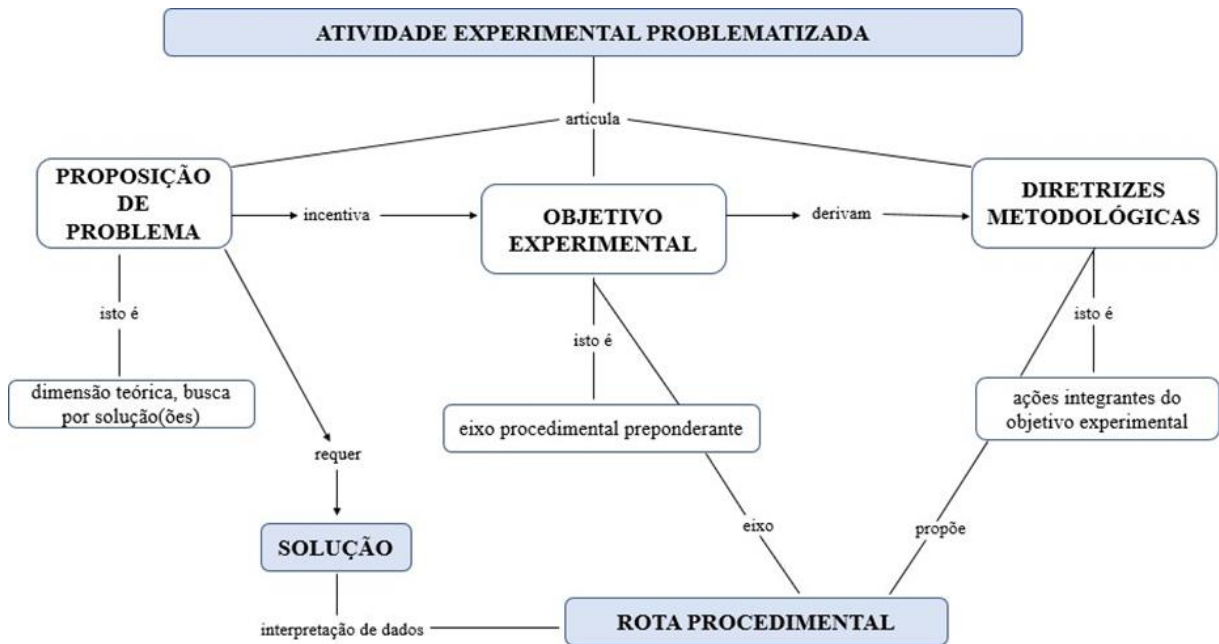


Figura 3. Articuladores teóricos para proposta da AEP.

Fonte: Silva; Moura; Del Pino (2018).

O esquema ilustra os pilares dos eixos teóricos ligados à AEP. Segundo Silva; Moura, (p.104-106, 2018), e Silva, Moura; Del Pino (2018), o eixo teórico é definido por: **Problema Proposto**, potencialmente pluralizável, subjacente à AEP que carece de uma solução ou da sua extensão à novos domínios de problemas. Esta diferenciação é fundamental porque transcende uma mera indagação ou a singularidade de uma questão que encontra resolução, seja ela correta ou errônea. Os problemas, ao contrário, enriquecem os processos, exigindo a aplicação de estratégias, métodos e técnicas investigativas específicas da investigação sistêmica. As perguntas, no entanto, centram-se nos resultados (singulares no caso de uma pergunta, múltiplos no caso de um problema). Problemas genuínos abrangem situações exigentes e de maior abrangência, resistindo à categorização apenas como certo ou errado com base em seus resultados, devido ao leque de possibilidades

metodológicas inerentes à sua exploração. Estes são fundamentados em um quadro teórico predominantemente contextualizado.

Para sua resolução, estimulam a busca de ações experimentais adaptativas ajustadas a contextos diversos, gerando dados que, uma vez coletados, compreendidos e interpretados, orientam os sujeitos para perspectivas de solução qualitativa ou quantitativa. Com base neste fundamento do problema, segue-se um objetivo experimental.

O **Objetivo Experimental** abrange propostas de atividades práticas, que devem derivar de resultados esperados da experimentação em um escopo fundamental e geral. Leva à resultados, embora não necessariamente à resolução direta do problema central. Na conclusão dos procedimentos empíricos, é evidenciado o que se buscou e qual produto/objeto pode ser gerado. Este se torna o eixo experimental definitivo que orienta a ação principal a ser empreendida - uma técnica que requer ações capazes para sua realização, evoluindo assim para as diretrizes metodológicas.

Essas **Diretrizes Metodológicas**, por sua vez, formulam uma sequência de ações práticas a partir do Objetivo Experimental. Eles funcionam como proposições orientadoras para os próximos procedimentos. No entanto, eles não devem ser interpretados como fatores limitantes, reconhecendo que o aprendizado é limitado quando a experimentação segue vieses observacionais ou procedimentais fechados semelhantes a uma "receita". No entanto, essas diretrizes são etapas essenciais que iniciam as ações e orientam as atividades gerais. Eles não impõem diretrizes rigidamente, ao invés disso, permitem modificações pelo instrutor e/ou alunos a qualquer momento. Além disso, aumentam a clareza do objetivo proposto e promovem discussões entre os participantes do grupo de trabalho anterior e concomitante, consideradas críticas para alinhar conceitos individuais e orquestrar ações colaborativas.

Considerando a exposição dos autores, isso contribui para a possibilidade de uma aprendizagem mais eficaz. A resolução de questões não segue metodologias predefinidas, permitindo explorar diversos aspectos cognitivos do aluno, como habilidades, saberes socioculturais, autonomia e pluralismo de ideias. A AEP enfoca

soluções práticas e autônomas, guiadas por diretrizes metodológicas (Silva; Moura e Del Pino, 2015).

Após delinear o problema e o objetivo experimental, surgem as diretrizes experimentais que dão os primeiros passos práticos, clarificando objetivos e promovendo discussões no grupo (Silva; Moura; Del Pino, 2015). A interligação entre os elementos do eixo teórico é demonstrada na **figura 4**.

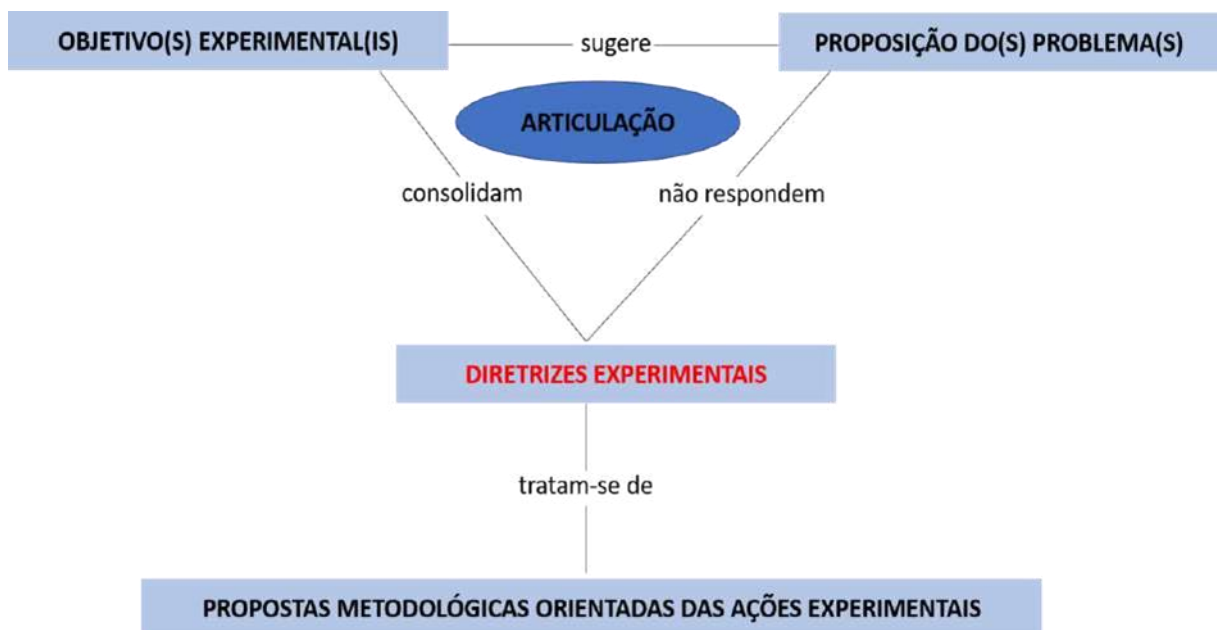


Figura 4. Articulação teórico-prático por outra visão.

Fonte: Silva; Moura; Del Pino (2015).

Com base nesse esquema, para viabilizar sua implementação, as abordagens do eixo teórico devem alinhar-se aos elementos do eixo metodológico, delineados pela AEP. Portanto, propõe-se um protocolo de ações com um plano de ensino categorizado em uma sequência de cinco momentos. Iniciando com uma discussão aberta para introdução da temática, envolvendo professor e alunos e culmina na formalização do produto final por meio da experimentação conduzida pelos estudantes (Silva; Moura; Del Pino, 2022; Silva; Moura; Del Pino, 2018). Essa interconexão é ilustrada na **figura 5**.

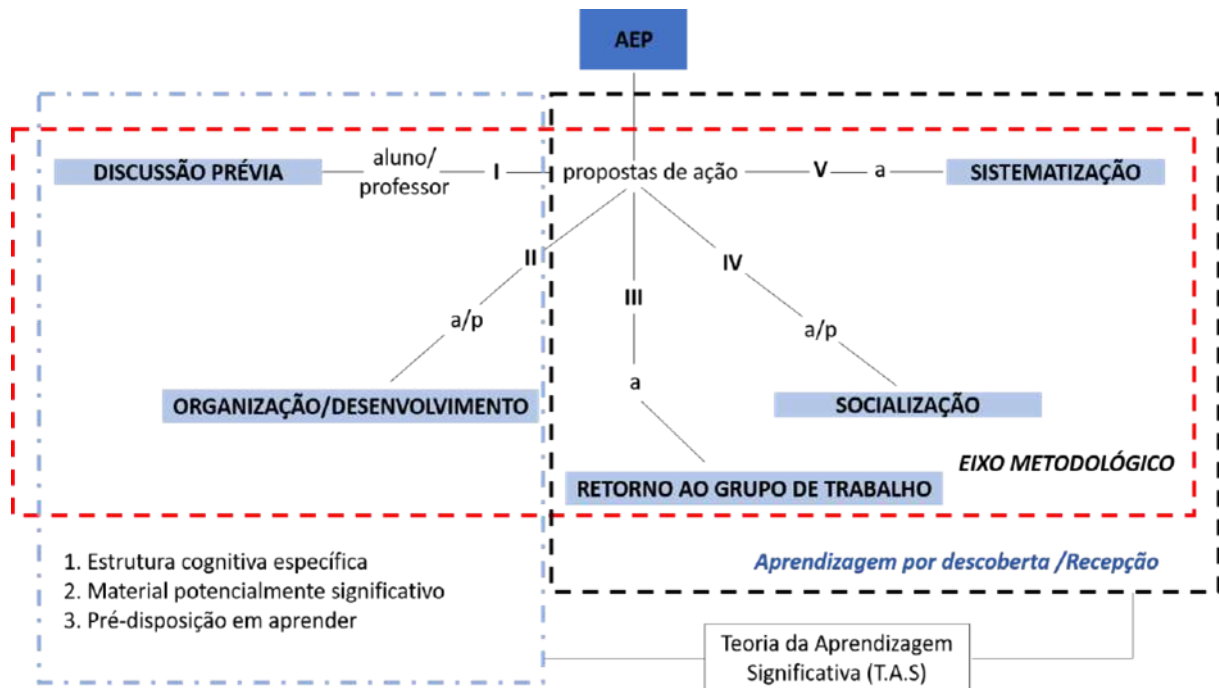


Figura 5. Momentos metodológicos para a propostas da AEP; subsídios pedagógicos.

Fonte: Silva; Moura (2018); Silva; Moura; Del Pino (2022).

No que tange aos aportes pedagógicos intrinsecamente ligados à Atividade Experimental Problematizada (AEP), a TAS oferece fundamentos teórico-metodológicos essenciais para a caracterização e sustentação da sequência dos momentos. Isso possibilita uma interpretação abrangente na condução das ações, evitando a rigidez de uma metodologia inflexível (Silva; Moura, 2018, p.109-112; Silva; Moura e Del Pino, 2018; Silva; Moura; Del Pino, 2022). Destaca-se, nesse contexto, a conexão entre o professor e o aluno, amarrando o substrato teórico com o metodológico (representados nos cinco momentos):

- Discussão prévia: Nesse momento se dá o debate inicial sobre os assuntos a serem abordados para identificar os conhecimentos prévios da turma de alunos e, assim, definir um problema de pesquisa para estruturar o tema geral da investigação experimental.

- Organização/desenvolvimento da atividade experimental: Ocorre a formação de grupos menores de alunos, discussão do problema de pesquisa definido e do tema geral a ser investigado, a fim de estabelecer seus objetivos experimentais e elaborar suas diretrizes metodológicas, aplicando-os na prática definida.

- **Retorno ao grupo de trabalho:** o registro das observações da atividade experimental é realizado nessa etapa fundamentada na reflexão e discussão intragrupo de trabalho. Espera-se que os estudantes desenvolvam a partir dos dados obtidos uma relação entre os conhecimentos teóricos e os experimentos desenvolvidos com intuito de solucionar a problemática proposta, tendo o professor o papel de mediador durante o processo.

- **Socialização:** nesse espaço coletivo pretende-se a discussão teórico- experimental e o compartilhamento dos resultados obtidos ao problema proposto pelos grupos de trabalho. Professor e alunos avaliam o desenvolvimento das diferentes diretrizes metodológicas procedimentais, que podem ser distintas devido às técnicas utilizadas por cada grupo que geram erros e acertos peculiares.

- **Sistematização:** após a realização dos momentos anteriores, encerra-se a finalização da AEP com a organização dos resultados alcançados, estruturando-os adequadamente em possível proximidade a uma solução aceitável ao problema proposto. Os resultados estruturados abordam o desenvolvimento da técnica experimental e as conclusões referentes às abordagens do problema proposto e às respostas encontradas consubstanciando o tripé teórico-metodológico constituído por reflexão-pesquisa-produção.

Destacam-se as ações do eixo metodológico que oferecem contribuições à AEP por meio da AS. Além disso, a inclusão de ações complementares no processo de ensino pode adaptar o método ao perfil do professor, amplificando o impacto cognitivo no aluno e outros fatores relevantes (Silva; Moura; Del Pino, 2018).

Ao nos concentrarmos na Química, a prática educacional se revela na interação entre o pedagógico e o didático, buscando orientar os métodos de ensino para instigar novos desenvolvimentos de conhecimento. Isso evidencia que os alicerces subjacentes a uma teoria educacional são fundamentais na melhoria das abordagens de ensino, conforme proposto pela AEP. Apesar de ser considerado uma estratégia de ensino, as considerações sobre metas relacionadas à mediação da AEP são essenciais como elementos integradores dos conteúdos e objetos de conhecimento nas Ciências da Natureza (Silva; Moura; Del Pino, 2022).

Nessa perspectiva, a estratégia teórico metodológica favorece aos alunos a oportunidade de associar o conteúdo de forma ativa, promovendo análises reflexivas desde o início até a sistematização. Ações colaborativas entre os participantes ampliam o conhecimento, descentralizando a figura do professor (Silva; Moura; Del Pino, 2021). Diante do referencial teórico da AEP até o momento, alguns estudos exploram sua aplicação e potencialidades, como planos de aulas e sequências didáticas, enriquecendo o processo de avaliação da aprendizagem.

3.4.1. Aplicações educacionais utilizando a AEP

Para obter uma visão abrangente dos estudos que empregam a AEP, é recomendado explorar o acervo disponível no site do grupo de pesquisa de Ensino, Aprendizagem e Significados em Ciências (EnASCI) da Universidade Federal do Pampa. O site, acessível em <https://sites.unipampa.edu.br/enasci/category/aep/>, oferece uma compilação de trabalhos que foram conduzidos utilizando a AEP como estratégia teórico-metodológica. Cabe deixar em destaque que o Laboratório de Pesquisa em Educação e Ensino de Química (LAPEQ) do PPGQ da UFES, apresenta parceria com o EnASCI.

Como primeiro estudo, Silva, Moura e Del Pino (2015) introduziram a AEP em uma atividade experimental sobre densidade de metais elementares e ligas metálicas. Esta atividade ocorreu com doze professores de Ciências da rede educacional de Cruz Alta – RS, como parte de um programa contínuo de capacitação docente. Os pesquisadores afirmam que a base teórica da AEP preconiza os estudantes como construtores de conhecimento, enquanto os professores desempenham o papel de facilitadores neste contexto pedagógico. Para a coleta de dados, a pesquisa empregou gravações de áudio, imagens e observações das etapas executadas pelos participantes-alvo.

O experimento planejado para os participantes ocorreu de maneira interativa, visando caracterizar a densidade de seis metais em estado sólido (Ferro, Cobre, Zinco, Estanho, Alumínio e Chumbo), além das ligas metálicas parafuso, botão e um fragmento de cobertura residencial. Quanto à formulação do problema, o objetivo experimental buscou abordar questões relativas à composição das ligas e à pureza dos metais.

Para implementar as atividades experimentais, os professores (sujeitos da pesquisa) foram organizados em três grupos, cada um composto por quatro membros. O estudo apresentou os resultados experimentais e educacionais da aplicação da metodologia de ensino embasada na AEP. Os pesquisadores concluíram que a conexão adequada entre os objetivos experimentais e a formulação do problema é essencial para validar o processo de aprendizado mediado pela AEP. Ao longo do estudo, evidenciou-se que a metodologia empregada possibilitou a resolução prática de problemas teóricos. Os participantes experimentaram uma SD fundamentada na investigação, adaptando-a de maneira significativa à sua realidade para uma aplicação mais eficaz junto aos seus alunos.

Silva, Moura e Del Pino (2017) exemplificam, em um artigo, a aplicação da AEP em uma investigação sobre acidez e basicidade de produtos cotidianos com 12 professores municipais. Todos os aspectos teóricos foram detalhados, assim como os cinco passos metodológicos para abordar a problemática por meio de diretrizes procedimentais. Por meio da execução e análise dos resultados, os autores confirmaram que o presente trabalho, baseado nos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1992), adaptados com a AEP, emerge como recurso crucial para o ensino experiencial de Ciências, tornando-o mais atraente e eficaz ao associar conteúdo científico a contextos vivenciais discentes.

Moreira e colaboradores (2019) apresentou uma proposta educacional para o ensino de Química com foco na aprendizagem experimental no âmbito das diretrizes da AEP, com o objetivo de aprimorar a alfabetização científica e aprofundar a compreensão do assunto. Este estudo envolveu 17 alunos do primeiro ano do ensino médio de uma escola de Educação Básica de Caçapava do Sul, RS, abordando as funções inorgânicas como um currículo fundamental. Os autores assumiram que os alunos careciam de uma compreensão concreta da alfabetização científica devido às abordagens pedagógicas anteriores, dificultando o reconhecimento e a interpretação dos conceitos científicos.

Para resolver isso, os pesquisadores introduziram uma abordagem baseada em problemas, levando os alunos a buscarem soluções experimentais. O plano de ensino inspirado na AEP foi estruturado em duas fases, A e B. A fase A envolveu a apresentação dos investigadores à turma, delineando o processo de estudo e o

conteúdo temático. A Fase B delineou ainda os cinco momentos metodológicos do AEP.

Para o processo de avaliação, os autores delinearam meticulosamente o programa, o conteúdo abordado, os objetivos e as atividades passo a passo do AEP. Eles coletaram dados por meio de questionários, falas de alunos e relatórios, que foram submetidos à análise textual do discurso. Os principais assuntos incluíam ácidos, bases, sais e óxidos, com foco em suas propriedades e aplicações cotidianas. Experimentos envolvendo indicadores ácido-base em amostras de solo e debates de pH em amostras da vida diária foram conduzidos. A turma foi dividida em cinco grupos de trabalho para experimentos e elaboração de relatórios. A aquisição e análise de dados permitiram que os instrutores imergissem os alunos no ensino de Química por meio de abordagens experimentais investigativas. Essa abordagem respeitou o contexto e o conhecimento prévio dos alunos, promovendo a alfabetização científica em linha com os princípios da AEP. Os resultados demonstraram compreensão efetiva do assunto, promoção de habilidades, desenvolvimento cognitivo e exploração dos sentidos humanos.

Na sua dissertação de mestrado, Nascimento (2020) demonstrou a eficácia da aplicação de atividades experimentais pela AEP no ensino de Química para alunos do 5º ano em uma escola privada em Vila Velha. O estudo utilizou um livro paradidático e avaliou os resultados por meio de um software. A pesquisadora criou um guia educacional em formato de e-book, visando auxiliar professores a incorporar a resolução de problemas e o desenvolvimento de habilidades por meio da AEP, alinhados à Base Nacional Comum Curricular (BNCC). O plano de ensino delineou o problema, objetivo experimental e diretrizes metodológicas, utilizando o livro como base para os cinco momentos metodológicos. O estudo evidenciou que a AEP é capaz de efetivamente alcançar níveis cognitivos significativos nos alunos, mantendo a autenticidade da disciplina.

No estudo de Silva e colaboradores (2021), discutiu-se a utilização da AEP para analisar o teor de íons de sódio em um salgadinho de cebola de uma escola particular em Vitória, ES. Alunos do segundo ano do Ensino Médio foram instruídos na técnica de volumetria de precipitação pelo método de Mohr. A equipe docente facilitou os experimentos, fornecendo contexto teórico para analisar os resultados e realizar os

cálculos. Durante o processo, os alunos compreenderam os riscos da alta ingestão de sódio, ligando-o à hipertensão, e notaram que o consumo no Brasil excede as diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS).

Folli e Moreira (2022) desenvolveram uma sequência didática por meio da AEP junto à AS para ensinar os conceitos de soluções químicas e espectro eletromagnético por meio de *smartphone*. O tema escolhido foi a quantificação de sulfato de cobre II penta-hidratado. A SD foi organizada em doze aulas distribuídas em três para problematização inicial, seis aulas para organização dos conhecimentos, duas aulas para a aplicação do conhecimento e uma aula para sistematização do conhecimento. As autoras conseguiram correlacionar o uso de tecnologias portáteis dentro da sala de aula, de modo lúdico e científico para contextualizar com problemas e temáticas atuais, favorecendo a criatividade e a resolução de problemas.

Barbosa e colaboradores (2023) propuseram a articulação da AEP com a temática da Educação Ambiental, abordando sobre a presença de metais pesados em aterros sanitários. A proposta consistiu na construção de um mini biodigestor de baixo custo (AEP 1) e na produção de bioensaio (AEP 2) tendo enfoque nas aprendizagens dos conhecimentos científicos. Os autores puderam notar que as testagens das duas atividades experimentais mostraram a possibilidade de serem replicados em sala de aula, com abordagens integrativas entre diferentes áreas com a aproximação ambiental. Outro fator que eles concluíram, foi acerca de que os experimentos propostos apresentaram potencialidades da formação de pensamento crítico com grande viés para responsabilidade socioambiental.

Lima (2023) promoveu um estudo utilizando a AEP para implementar a temática sobre o chocolate com trinta alunos da 3ª série do Ensino Médio de uma escola particular localizada na cidade de Cariacica – ES. A pesquisa buscou-se fazer a contextualização de assuntos pertinentes com a Química e o chocolate, visto que o Espírito Santo tem grande relevância na área. Teve-se como objetivo experimental propor testes de solubilidade de compostos orgânicos focando no chocolate, realização de estudos sobre alimentos funcionais e a importância de moléculas bioativas para a saúde e entre outros. Os resultados mostraram que os alunos faziam a associação da Química como algo complicado e que com a aplicação da AEP junto a temática do chocolate, permitiu essa quebra de estigmas apresentando um potencial enriquecedor na área do Ensino.

Esses debates contextualizados evidenciam a eficácia da AEP em abordar questões sociais, envolvendo os alunos ao combinar suas vivências com o aprendizado de Química para formular hipóteses e interpretar resultados. Quanto à aplicabilidade das diretrizes da AEP, observa-se sua adequação em diferentes níveis educacionais, como Ensino Fundamental, Médio, perpassando pelo Ensino Superior, como é o caso desta pesquisa, até em formações contínuas. Por essa razão, destaca-se a flexibilidade da AEP em abordar temas químicos, sendo assim, válido para incorporar suas bases e fundamentos teóricos-metodológicos no Ensino de Química, especialmente em temáticas relevantes presentes em pesquisas acadêmicas, que fazem uso constante de tecnologias. É importante dizer que, embora algumas dessas tecnologias desempenham papel fundamental na sociedade, muitas vezes suas aplicações não são adequadamente refletidas e enfatizadas no Ensino Superior. Um exemplo desse cenário é a área da Quimiometria no Brasil, que recebe menos atenção em comparação a outros temas científicos.

Howery e Hirsch (1983) examinam em sua pesquisa que uma razão fundamental para a inclusão do Ensino de Quimiometria é a sua capacidade de proporcionar novas perspectivas e abordagens para a Química, além da facilidade na resolução de problemas. Outras razões pertinentes referem-se à ampla aplicabilidade dos métodos empregados, permitindo a análise multivariada de diversos tipos de dados químicos por meio da computação e a adaptação de metodologias estabelecidas conforme a necessidade.

3.5. Quimiometria

No contexto da pesquisa aliada às tecnologias, o emprego de computadores tem crescido significativamente nas últimas décadas, impulsionado pelos avanços em *softwares* e *hardwares*. Esse progresso teve um impacto substancial na área da Química ao integrar-se às tecnologias para coleta de dados de equipamentos analíticos, permitindo a extração de informações complexas em diversas modalidades. Isso se deve à evolução contínua dos dispositivos laboratoriais, que agora conseguem abranger um amplo espectro de variáveis e resultados espectroscópicos. Diante dessa evolução, surgiu a demanda por métodos e ferramentas mais sofisticados para a análise desses dados, culminando no

desenvolvimento da Quimiometria – um campo específico da Química dedicado à análise multivariada de informações (Ferreira et al., 1999).

A partir do início da década de 1970, em consonância com a expansão dos recursos computacionais, emergiu na esfera da Química um novo campo do conhecimento: a Quimiometria. Essa disciplina, situada nas Ciências Exatas e da Natureza, diversificou-se para atender às demandas societárias. Com a integração de Matemática e Estatística multivariada, a Quimiometria revolucionou o tratamento de dados espectrométricos (Kowalski, 1975; Neto; Scarminio; Bruns, 2006). Basicamente ela contempla a área de planejamento de experimentos (Leardi, 2009), reconhecimento de padrões (Varmuza, 1980) e calibração multivariada (Beebe, Kowalski, 1987). No decorrer desta pesquisa serão abordados um pouco sobre métodos das duas últimas áreas.

Pode-se considerar que os trabalhos pioneiros que utilizaram o termo Quimiometria foram os de Wold (1972), que aborda em referência ao uso das funções spline no contexto de polinomiais ou em somas de funções exponenciais, e de Kowalski (1975), que tangencia a uma visão pela perspectiva do autor em relação a área no geral e instruções para pesquisas. Tendo em vista o grande potencial desse novo campo da Química, foi fundada no ano de 1974 a Sociedade Internacional de Quimiometria, trazendo assim, benefícios à comunidade científica no desenvolvimento de pesquisas para a resolução de problemas (Brereton, 2014; Shepherd, 1987).

Para se ter uma visão geral sobre o quão promissora essa área da Ciência vem se tornando a cada instante, foi realizada uma busca na base de dados chamada Scopus (acesso em 2023) utilizando como termo descritor “*Chemometrics*” no período de 1970 até o atual momento. Como resultado, encontrou-se aproximadamente 197.872 trabalhos em diversas aplicações que se encontram distribuídos em torno de artigos, revisões, livros, capítulos de livros, editoriais, pesquisas curtas, cartas, observações, erratas e documentos de conferência, em diferentes áreas das Ciências. Dentre todas essas publicações, o país que mais se destacou foi a China, apresentando em torno 55.607 publicações e logo em seguida os Estados Unidos com o número de 28.213 trabalhos. Nesse *ranking*, o Brasil aparece na sétima posição dos países que mais contribuem na área de Quimiometria com 8.875 produções. Deixa-

se aqui em evidência que a cada dia o número de publicações é alterado para quantidades maiores.

Frente a tantas pesquisas difundidas na literatura, um dos métodos quimiométricos mais utilizados com maior frequência é a Análise por Componentes Principais (do inglês, *Principal Component Analysis* - PCA). A PCA, que se trata de uma técnica qualitativa, visa agrupar informações dispersas por todo espectro em componentes principais (do inglês, *Principal Components* – PC) para indicar padrões entre as amostras, obtendo informações por meio da variância (Mackiewicz; Ratajczak, 1993; Lyra *et al.*, 2010). Esse método se caracteriza como não supervisionado, pois não se utiliza de um histórico pré-estabelecido referente às amostras (vetores de classe) (Assi *et al.*, 2018; Santana *et al.*, 2020).

A entrada dos dados químicos para a leitura em um *software* é dada por uma matriz_(m x n) em que cada linha (m) corresponde a uma amostra e cada coluna (n) equivale a uma variável (Sandusky, 2017). Nessa metodologia, ocorre a decomposição da matriz de dados **X** de acordo com a **equação 1**:

$$\mathbf{X} = \mathbf{T}\mathbf{L}^T + \mathbf{E} \quad (1)$$

Em que **T**, **L** e **E**, são matrizes de *scores* (coordenadas relacionadas com as amostras), *loadings* (cujos elementos indicam o quanto cada variável original contribuiu para gerar as PCs, novo sistema de eixos) e resíduos (o que não conseguiu ser redimensionado), respectivamente. O símbolo ^T (T transposto), indica o operador da transposição da matriz **L** (Ferreira, 2022; Lyra *et al.*, 2010). Por esse ângulo, a matriz original **X** tem capacidade de ser transcrita como $\mathbf{X} = \hat{\mathbf{X}} + \mathbf{E}$, onde $\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{T}_A \mathbf{L}_A^T$, em que *A* é a dimensão do subespaço, melhor dizendo, o número de componentes principais retidas na decomposição de **X** (Ferreira, 2022). As matrizes **T_A** e **L_A** são constituídas por *A* vetores-coluna, onde $\mathbf{T}_A = [t_1, t_2 \dots t_A]$ e $\mathbf{L}_A = [l_1, l_2 \dots l_A]$, de modo que se comporte de acordo com a **equação 2** (Sandusky, 2017; Ferreira, 2015, p.118).

$$[X] = \hat{X} + E =$$

$$\hat{X} = t_1 l_1^T + t_2 l_2^T + t_3 l_3^T + t_4 l_4^T + \dots + t_A l_A^T = \sum^A t_A l_A^T = T_A L_A^T + E \quad (2)$$

Analisando a decomposição acima, é possível avaliar com detalhes a representação de X em A componentes principais significativas ($A \leq \min \{I, J\}$). As dimensões relacionadas com as matrizes de *scores* T_A e de *loadings* L_A são $(I \times A)$ e $(J \times A)$, respectivamente, sendo elas dispostas de maneira truncada. Contudo, essa redução da dimensionalidade (ou compressão dos dados), de um espaço de dimensão J para um subespaço de dimensão A , decorre devido às variações sistêmicas nos dados que estão concentradas em um número menor de novos eixos. Isso quer dizer que as últimas PCs que são representadas na matriz de resíduo (E) apresentam variações de forma aleatória, como erros experimentais ou de redimensionamento (Ferreira, 2015, p.118). Outro método que se baseia na decomposição de matrizes, mas para análises quantitativas, é a regressão por mínimos quadrados parciais.

Quando se fala a respeito da calibração multivariada, uma das principais técnicas aplicadas é a regressão por mínimos quadrados parciais (do inglês, *Partial Least Squares – PLS*). Esse método de regressão, com finalidade quantitativa, utiliza-se da correlação entre os espectros estudados (*variáveis x*) e as propriedades de interesse (*variáveis y*). Ou seja, é estabelecido um modelo de regressão linear entre as variáveis, utilizando a base na análise por componentes principais para a redução da dimensionalidade do conjunto de dados (Barthus; Mazo; Poppi, 2007; Souza *et al.*, 2013).

Para que haja construção do modelo de calibração, os dados analisados são organizados no formato de matrizes: Matriz X e Matriz Y , onde contém os dados das variáveis independentes (x) e das variáveis dependentes (y). Pelo mesmo princípio da PCA, ambas matrizes são decompostas pela soma de produtos de dois vetores, os *scores* e os *loadings*, de acordo com as **equações 3 e 4** (Barthus; Mazo; Poppi, 2007).

$$X = TP^t + E = \sum t_f p_f^t + E \quad (3)$$

$$X = TQ^t + F = \sum t_f q_f^t + E \quad (4)$$

Onde T corresponde à matriz de *scores*, P e Q são os *loadings* correspondentes às matrizes X e Y , respectivamente e E , F fazem a representação dos resíduos, ou falta de redimensionamento dos dados. O item t sobrescrito, refere-se a matriz transposta. Dessa forma, uma relação entre os dois blocos pertinentes das variáveis independentes da matriz X e das variáveis dependentes da matriz Y , é realizada fazendo a correlação dos *scores* dos blocos de X e Y . Para que exista uma melhor correlação entre esses dois blocos de dados, uma leve rotação das componentes principais no espaço é realizada nas matrizes, devido a essa rotação, as PC são chamadas de variáveis latentes (VL), com consequente mudança nos valores de *scores*. O número referido às VLs que são encontradas diante dessa correlação, é utilizado no processo de calibração e é obtido por meio de um processo chamado validação cruzada, metodologia essa que se baseia na descrição e magnitude dos erros de previsão. Logo, escolhido o número de variáveis latentes e o modelo, a técnica de PLS pode ser destinada à previsão de propriedades de interesse (Ferreira *et al*, 1999; Barthus; Mazo; Poppi, 2007; Martens; Naes, 1989; Wise; Gallagher, 1998).

A Quimiometria se aperfeiçoa às novas demandas para resolução de problemas a todo momento, visto a isso e para a divulgação dessa área da Ciência, um grupo de pesquisadores resolveu criar tutoriais didáticos sobre alguns métodos de análise multivariada de dados, incluindo PCA e PLS. Nesses tutoriais são abordados uma breve explicação a respeito do método e da técnica estudada, acompanhado de um experimento para o fomento da temática na graduação aqui no Brasil (Poppi; Souza, 2012; Souza *et al.*, 2013; Breitzkreitz; Souza; Poppi, 2014; Dal-Col; Dantas; Poppi, 2018; Santana *et al.*, 2020). Mas o que se pode analisar dentre a leitura desses trabalhos, é que mesmo sendo todos experimentos realizados para aulas práticas experimentais na graduação, não teve nenhuma abordagem pedagógica como estratégia de ensino ou a resolução de problemas com soluções propostas pelos alunos. Isso corrobora com o que Silva e colaboradores (2019) concluíram no estudo, que apesar do forte interesse da utilização de aulas experimentais, a resolução de problemas ainda não aparece de forma tão frequente como as aulas práticas expositivas tradicionais, mas vem se tornando cunho de estudo por parte dos pesquisadores da área do ensino, de maneira crescente nos últimos anos, aqui no Brasil.

Atrelado a todo esse plano e sempre para melhorias de técnicas que possam ser utilizadas na Química, incluindo na Quimiometria e na área do Ensino, infere-se a respeito da grande evolução de equipamentos, metodologias e técnicas de análise. Isso se adequa ao propósito de facilitar a aquisição de dados, observando a utilização e o aperfeiçoamento de tecnologias digitais para contribuir com análises mais robustas, o que pode ser visto em procedimentos baseados em reações colorimétricas, por exemplo (Byrne *et al.*, 2000). Dessa forma, no âmbito da Química, quando ocorre um processo que promova mudança de cor, infere-se que é um grande indicativo da ocorrência de reações químicas tanto quanto a quantificação de analitos de interesse em uma solução. Nessa situação é aplicado a técnica de colorimetria, que parte do princípio de usar a absorção molecular pela convergência da radiação eletromagnética monocromática em espécies que apresentam cor (Rosa, 2020; Skoog *et al.*, 2006). Com o progresso dos estudos, percebeu-se que no fenômeno vinculado à absorção do espectro é apresentado também a reflexão da luz, pois ambas as ocorrências se encontram de modo complementar. Logo, o princípio da radiação refletida, da mesma forma, é capaz de propagar informações a respeito da concentração ou identificação do analito em amostras de interesse para estudo (Cruz-Fernández *et al.*, 2017; Shishkin *et al.*, 2004; Skoog *et al.*, 2006; Umeyama; Godin, 2004).

Pela condição de se obter informações químicas por meio do registro da reflexão da luz como método de análise, a captação de imagens utilizando câmeras digitais e smartphones é um dos meios mais populares e acessíveis para tal feito (Diniz *et al.*, 2012). Com isso, é bastante evidente que continue existindo um progresso ao longo dos próximos anos nesse aspecto, principalmente pela simplicidade na aquisição de imagens por esses dispositivos, que são vastamente disponíveis e vem sendo utilizado pela comunidade acadêmica nos diferentes campos da Ciência (Byrne *et al.*, 2000; Damasceno *et al.*, 2015). Considera-se então os *smartphones* como grandes sensores de captura de luz, que se assemelham aos detectores que são implantados em aparelhos espectrofotométricos com CCD (do inglês, *Charge Coupled Device*) (Shishkin *et al.*, 2004; Harris, 2017; Diniz *et al.*, 2012).

3.6. Imagens digitais na aquisição de dados

Na **figura 6**, pode-se notar que uma imagem digital é obtida por meio de vários transdutores fotossensíveis que promovem a conversão da luz refletida de um corpo, matéria ou cenário em matrizes numéricas. Cada elemento referente a essa matriz, no contexto da imagem digital, recebe o nome de pixel (Morais; Lima, 2015). Nesse sentido, cada pixel é composto por um sistema tricromático com as cores vermelha (R) (do inglês, *Red*), verde (G) (do inglês, *Green*) e azul (B) (do inglês, *Blue*), denominado sistema RGB, por onde se extrai os dados de interesse referentes às intensidades (Godinho *et al.*, 2008).

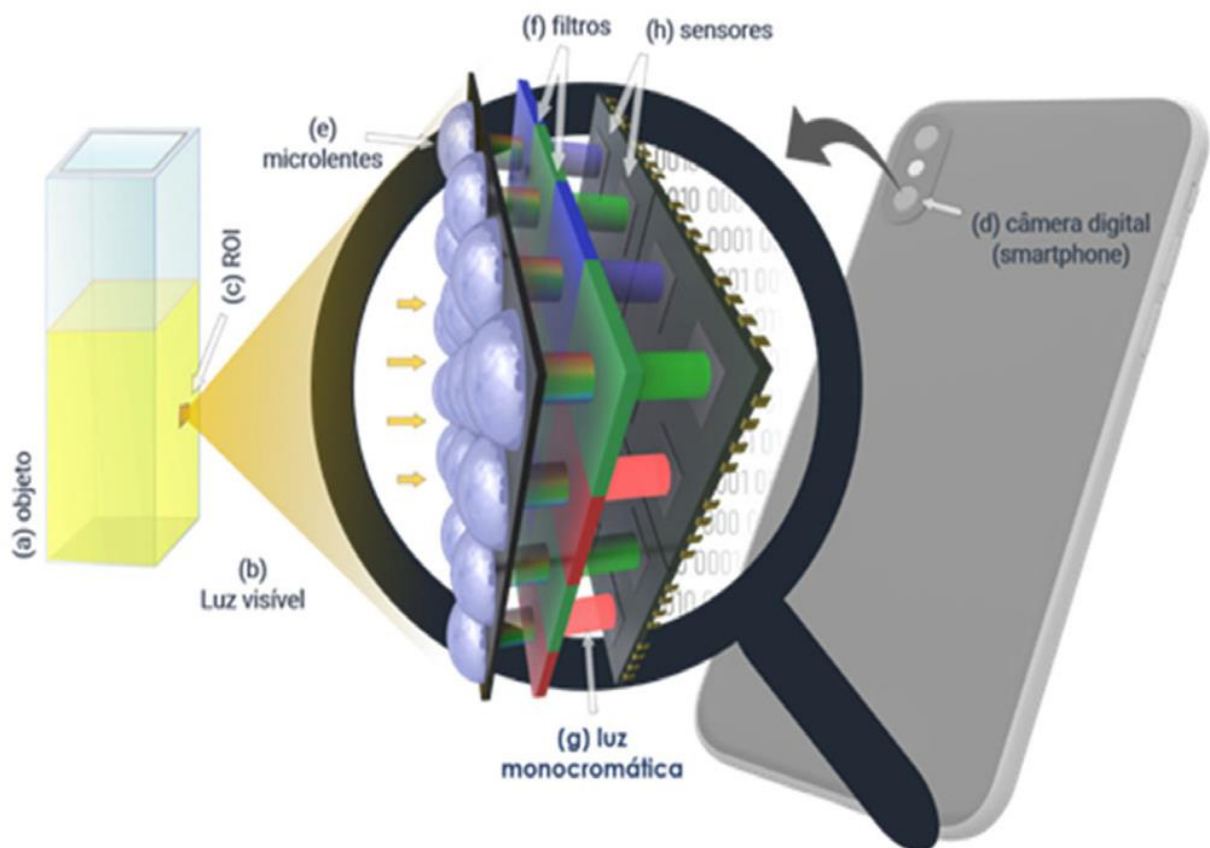


Figura 6. Transdução da luz visível para ser transformada em matriz numérica (de R, G e B) pelo sensor do dispositivo fotográfico em imagem digital. O objeto **(a)** real reflete a luz visível **(b)** e uma região de interesse **(c)** que é focalizada para o sensor da câmera digital **(d)** do smartphone. A câmera possui milhares de microlentes **(e)** as quais centralizam os feixes luminosos para os filtros (filtros de Bayer) **(f)** das respectivas cores monocromáticas **(g)** vermelha (R), verde (G) ou azul (B) traduzidas em sinal elétrico pelos sensores **(h)**

Fonte: Rosa *et. al* (2022).

Esse modelo (**figura 7**) consiste na utilização de um espaço tridimensional no qual o surgimento das outras cores é consequência de uma combinação a partir das três cores base (cores primárias), permitindo uma gama de associações nas tonalidades pertinentes em cada pixel (Wen; Chou, 2004). Nesse formato, as imagens digitais são armazenadas, manipuladas e propagadas em uma variedade de espaço de cores (Bratkova; Boulos; Shirley, 2009). Como o armazenamento é restringido, a intensidade da radiação é armazenada com 8 bits, totalizando 256 níveis para a região do espectro visível (Gomes; Trevizan; Nóbrega, 2008). Assim, a relação entre imagens digitais pelo princípio do sistema de cores RGB e o registro das análises colorimétricas, concedem informações qualitativas e quantitativas dependendo do objetivo proposto.

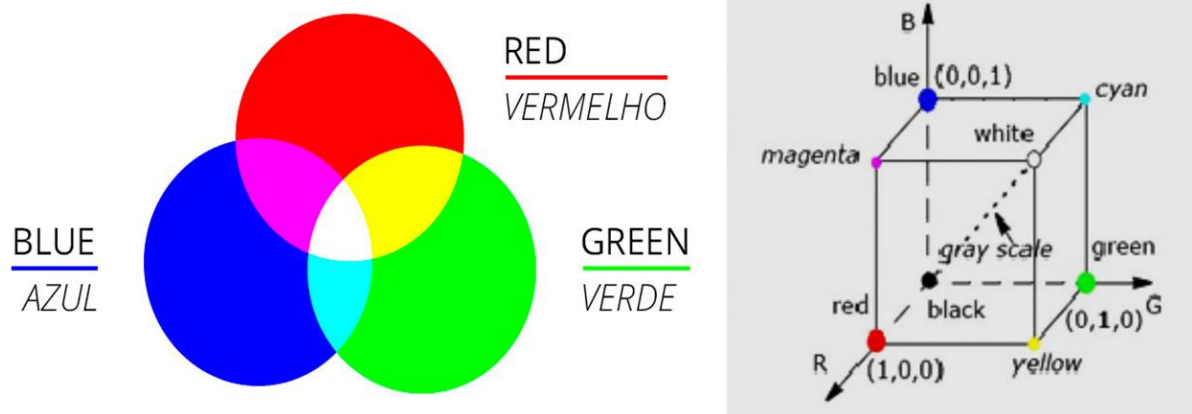


Figura 7. Modelo de sistema de espaço de cor RGB. (A) - Associação das cores primárias. (B) - Representação das cores no pixel.

Fonte: Ibraheem *et al* (2012).

Nesse aspecto, o sistema RGB é o mais utilizado para obtenção de informações utilizando imagens digitais, porém, desse sistema, pode-se originar outros modelos combinados em suas respectivas intensidades. Dentre esses, é válido citar alguns modelos como: O considerado como cores secundárias - ciano, magenta, amarelo e preto (do inglês, Cyan, Magenta, Yellow and Black - CMYK), sistema que relaciona matiz, saturação e valor, (do inglês, Hue, Saturation and Value – HSV), modelo que faz relação entre matiz, saturação e luminosidade, (do inglês, Hue, Saturation and Lightness – HSL), sistema que envolva matiz, saturação e intensidade, (do inglês, Hue, Saturation and Intensity – HSI) e escalas de cinza (Gonzalez; Woods, 2007; Helfer *et al.*, 2017; Colorotate, 2023).

Utilizando o panorama da tecnologia, cada vez mais o aperfeiçoamento dos modelos apresentados acima está sendo investido em *smartphones* e câmeras digitais, o que acaba acarretando em uma maior quantidade de informações coletadas de uma cena real por uma imagem. Essas informações são expressas em relação a densidade dos pixels, que de certa forma é considerada um parâmetro que faz a associação entre o tamanho e a resolução da tela do dispositivo, fator esse que se compara entre os aparelhos de *smartphones* (Kubota *et al.*, 2015). Por exemplo, caso uma imagem tenha a resolução de 16 megapixels, leva-se em consideração que ela terá 16 milhões de pequenas unidades formadoras da imagem, que são os pixels (Rosa, 2020).

Em se tratando do arranjo formado em uma imagem, Geladi e Grahn (1996) dissertam que as imagens podem ser representadas de duas maneiras: Quando são expressas por uma matriz bidimensional com coordenadas (i,j) e por matrizes tridimensionais que indicam coordenadas (i,j,k) . Nesse parâmetro, pesquisas são desenvolvidas sobre estruturas de imagem digital, como o caso da realizada por Sang, Wang e Li (2016) que nos mostra uma nova representação quântica de imagens digitais, por qual perpassa pelas matrizes numéricas junto a uma disposição de três modos (posição vertical, posição horizontal e valores de RGB – sendo um valor para cada posição na matriz espacial).

O manuseio e o processamento dos dados por imagens digitais vieram após o surgimento dos computadores e muitos desses tratamentos, parecidos com os aplicados atualmente, apresentam registros de quase três décadas. Haja vista, Geladi e colaboradores (1992) publicaram um dos primeiros trabalhos que fizeram o uso de imagens digitais no campo da Química, dessa forma, os autores dividiram os trabalhos em duas partes. Na parte I, o artigo científico remete aos conceitos e propriedades de uma imagem, bem como suas representações das posições nas coordenadas $(x, y$ e as vezes $z)$, por se tratar do modo bi ou tridimensional no espaço, além do âmbito de aplicações de imagens em contextos de laboratórios de Química e na indústria. Por outro lado, na parte II do trabalho, os pesquisadores apresentam conceitos sobre a teoria por trás da análise multivariada de dados envolvendo imagens, principalmente sobre reconhecimento de padrões, tendo em vista a PCA. Tendo o que foi dito, muitos métodos estatísticos usados na época são a base de muitos métodos de análise multivariada atuais (Wold; Esbensen; Geladi, 1987; Höskuldsson, 1988).

O que coloca em destaque os últimos dez anos em relação ao avanço do processamento de imagens, é a popularização dos dispositivos para captura de imagens e vídeos digitais, sobretudo para novos estudos no contexto da Química (Yulia; Wasito; Fatoni, 2018; Rosa, 2020; Cruz-Fernández *et al.*, 2017; Hugelier; Vitale; Ruckebusch, 2020). Contudo, a utilização de smartphones e câmeras digitais vem repercutindo e ganhando espaço na sociedade, por esse feito, esses dispositivos também estão conseguindo visibilidade no meio científico, justamente pela facilidade na obtenção de informações junto à métodos de análises estatísticos e matemáticos em diversas áreas, viabilizando de modo rápido, barato e sustentável, com menor geração de resíduos possível quando comparamos com as tecnologias convencionais de laboratório (Damasceno *et al.*, 2015; Helfer *et al.*, 2017; Rosa, 2020; Antonelli *et al.*, 2004).

Alguns fatores podem interferir na qualidade de uma imagem gerada por esses dispositivos e isso acaba tendo influência direta sobre os resultados. Dentre essas condições, é possível citar: a influência da iluminação (controle de luminosidade), distância entre o objeto de interesse e as lentes da câmera, e a não linearidade entre os sensores dos dispositivos (Helfer *et al.*, 2017).

Perante o que foi mostrado, pesquisas estão sendo realizadas explorando dispositivos de captura de imagem na busca de melhores resultados, rapidez na obtenção dos dados e métodos de baixo custo em comparação com os estabelecidos pela literatura científica. O estudo de Böck e colaboradores (2022), por exemplo, mostra o uso de um smartphone para determinar cobre em amostras de cachaça por meio da formação de um complexo azul entre o cobre e a cuprizona. Neste trabalho, também foi elaborado um planejamento experimental para avaliar o tamanho da área de análise referente à imagem, a distância da aquisição das fotografias, faixas de concentração da curva de calibração e o processo de influência sobre os resultados aplicando modo univariado (tendo uma variável para análise) e multivariado pela técnica de regressão PLS. Diante dos resultados obtidos em amostras reais de cachaça e comparando-os com os métodos de referência já estabelecidos pela literatura, os pesquisadores obtiveram dados promissores. Sendo assim, o método apresentado mostrou potencial de maneira precisa na determinação de cobre, quando comparado com as técnicas de referência, além de apresentar vantagens em relação

a portabilidade dos instrumentos utilizados, baixo custo e menor gasto na quantidade dos reagentes.

Como verificado na pesquisa de Vittorazzi e colaboradores (2020), os autores propuseram um método para identificar a autenticidade de cédulas de dinheiro brasileiro por meio de imagens digitais utilizando um aplicativo de smartphone chamado *PhotoMetrix*[®] junto a PCA no próprio dispositivo. Os pesquisadores utilizaram quatro (4) notas autênticas obtidas em um banco local e doze (12) notas falsificadas pelos próprios pesquisadores, impressas por três tipos de impressoras (laser, cera e tinta) para o desenvolvimento dessa metodologia nos valores de 10, 20, 50 e 100 reais (R\$). Foi realizado um planejamento experimental para avaliar a autenticidade referente as notas utilizadas para averiguar a melhor região de análise: parte holográfica, região tátil na parte inferior do lado esquerdo e direito do número, microimpressão na efígie da cédula, marca d'água e entre outras partes. Também ocorreu a variação do tamanho da região de interesse, smartphones utilizados na busca de um melhor resultado e distância focal. Concernente a essa proposta realizada, os melhores parâmetros na diferenciação das cédulas verdadeiras em relação às falsas pela técnica de PCA foi examinando a região de microimpressão na efígie e na parte do animal. Bons resultados foram obtidos por meio da região de interesse com tamanho 16x16 pixels com uma distância focal de 10 cm. Desse modo, os autores realizaram a aplicação para o método proposto de uma maneira propícia para autenticação das cédulas por imagem de modo mais acessível, de baixo custo, não-destrutivo em relação à técnica convencional.

No estudo acima, foi relatado também o uso do método multivariado para obtenção dos dados. Isso partiu juntamente pela análise das intensidades dos canais de R, G e B da região de interesse (do inglês, *Region of Interest* – ROI) analisada de cada pixel, selecionada na imagem. Tendo uma visão dessa perspectiva, a análise multivariada de imagens (do inglês, *Multivariate Image Analysis* – MIA) apresenta como ponto de partida a investigação das imagens obtidas em matrizes de R, G e B cujas linhas contêm os valores de intensidade de cores dos pixels (Rosa, 2020; Hugelier; Vitale; Ruckebusch, 2020). As intensidades de cada cor que representam os histogramas, por exemplo, fazem uma representação estatística de uma região de interesse escolhida para análise na imagem. Com ela, é possível concatenar as

informações dos pixels de uma imagem qualquer para uma matriz com 3 vetores (um para cada canal de cor RGB) (Tosato *et al.*, 2016).

Em resumo, todo esse processo discutido até o momento, utilizado para “medir” cores, é empregado para transformar as informações de cor em valores numéricos que podem ser tratados como informações analíticas. A quantificação da cor referente a imagem pode ser realizada então, por meio do uso de diversos *softwares* de análise de imagem ou por aplicativos de *smartphones* baseados nos modelos de imagens já mencionados (Fan *et al.*, 2021).

Pesquisadores usam da análise multivariada em imagens partindo do ponto de investigar as matrizes obtidas de R, G e B pelas intensidades dos respectivos canais em cada pixel. Por essa lógica, pela formação dos histogramas de cada canal, ocorre uma representação estatística em uma região de interesse, logo é decorrido a redução das informações de uma imagem para uma melhor visualização dos dados (Rosa, 2020; Hugelier; Vitale; Ruckebusch, 2020). Como consequência em relação a praticidade, rápida aquisição de dados e miniaturização de instrumentos analíticos, os smartphones estão ganhando espaço junto a aplicativos que utilizam da análise multivariada por imagens empregando técnicas quimiométricas como a PCA e a regressão PLS para a resolução de problemas do cotidiano (Helfer *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2020).

Tosato e colaboradores (2016) propuseram um método mais simples e de baixo custo com o emprego da MIA para quantificar cocaína e fenacetina em amostras ilícitas apreendidas no Brasil, com auxílio de um aparelho de smartphone para capturar as imagens dos cromatogramas gerados pela técnica de cromatografia em camada delgada. As imagens analisadas em um software, permitiram o processamento imediato dos dados das placas cromatográficas, o que excluiu a necessidade de um espectrofotômetro de grande porte e caro. Utilizou-se o método de regressão PLS na leitura das imagens obtidas das placas por meio do sistema RGB, contendo cocaína (0,50 a 16,00 mg.L⁻¹) e fenacetina (0,00 a 14,00 mg.L⁻¹) como adulterantes. Os valores referentes ao erro quadrático médio de previsão, do inglês, *Root Mean Square Error of Prediction* – (RMSEP), alcançados para os modelos de cocaína e fenacetina, foram respectivamente, iguais a 1,60 e 1,36 mg.L⁻¹ e sua precisão foi respectivamente igual a 6,22 e 7,14%. Não se observou diferença estatística ao nível de confiança de 95% para ambos os analitos quantificados pelo

método proposto e os encontrados pelo método de referência utilizando cromatografia gasosa com detecção de ionização de chama. Assim, mostrou-se a confiabilidade do método utilizando o *smartphone*, e um aplicativo, chamado REDGIM®, como alternativa para esses ensaios.

3.6.1. Aplicativo REDGIM®

O aplicativo REDGIM® para *smartphones* está disponível gratuitamente na plataforma *Google Play*, em português e inglês (de acordo com a configuração de linguagem do dispositivo). Este *software* está disponível para usuários do sistema operacional Android e tem seu foco no uso em análises químicas, utilizando os métodos quimiométricos em imagens por meio da regressão PLS e da PCA. O REDGIM® está registrado no INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial), sob o número de registro: BR 51 2018 001100-4 e foi desenvolvido em 2016 por pesquisadores da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), com a colaboração de pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

A parte teórica acerca do seu funcionamento, pode ser vista no artigo intitulado: REDGIM® como aplicativo de *smartphone* para aplicações quimiométricas por meio de análise de imagens: um uso em PLS, disponível em <<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170861>>. O estudo de Rosa e colaboradores (2022) apresenta a utilização do aplicativo para a quantificação de cloro livre em água de torneira, comparando-o ao método espectrofotométrico. Além disso, examinou também canabinóides do tipo canabinol (CBN) em amostras de maconha e haxixe. Ambas as aplicações empregaram a regressão PLS em imagens digitais, obtendo resultados equiparáveis aos métodos analíticos consagrados na literatura científica. O atrativo principal do REDGIM®, como discutido no artigo, reside na aquisição de imagens e no processamento de dados, realizados diretamente pelo aplicativo, eliminando a necessidade de *software* adicional.

Conforme já mencionado, o REDGIM® atualmente na versão v2.2.0.00.beta aborda os métodos PCA (modo comparativo) e regressão PLS (modo colorimétrico) para análises químicas, conforme interface do aplicativo (**figura 8**). A seguir será

mostrado um pequeno tutorial de como o aplicativo pode ser utilizado pelo modo de captura única (tomada de uma foto por solução analisada) empregando ambos os métodos mencionados.

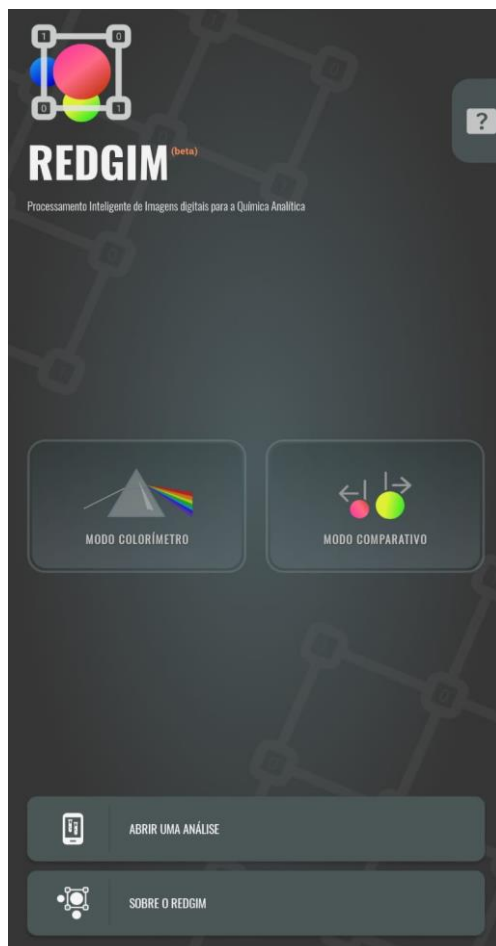


Figura 8. Interface inicial do aplicativo REDGIM®.

Fonte: Acervo próprio (2022).

3.6.1.1. Análise por Componentes Principais (PCA) – Modo Comparativo

Quando o usuário tem a experiência da utilização do aplicativo, ao clicar em modo comparativo, o REDGIM® fornece a possibilidade ao usuário de fazer a captura das fotos em dois formatos: captura única (uma foto por vez) ou captura múltipla (importar uma foto já existente na galeria do usuário para realização da análise ou tirar a foto de todas as amostras que serão utilizadas, de uma única vez). Ao clicar em captura múltipla, aparece uma tela de acesso para a galeria do celular usado, em

seguida, o aplicativo oferece a sugestão se quer carregar uma foto já existente da galeria ou para tirar uma foto tendo acesso a câmera do dispositivo (**figura 9**). Na tese de doutorado de Costa (2022), pode-se ver o passo a passo de como importar uma foto da galeria do celular para o aplicativo utilizar na realização da análise.

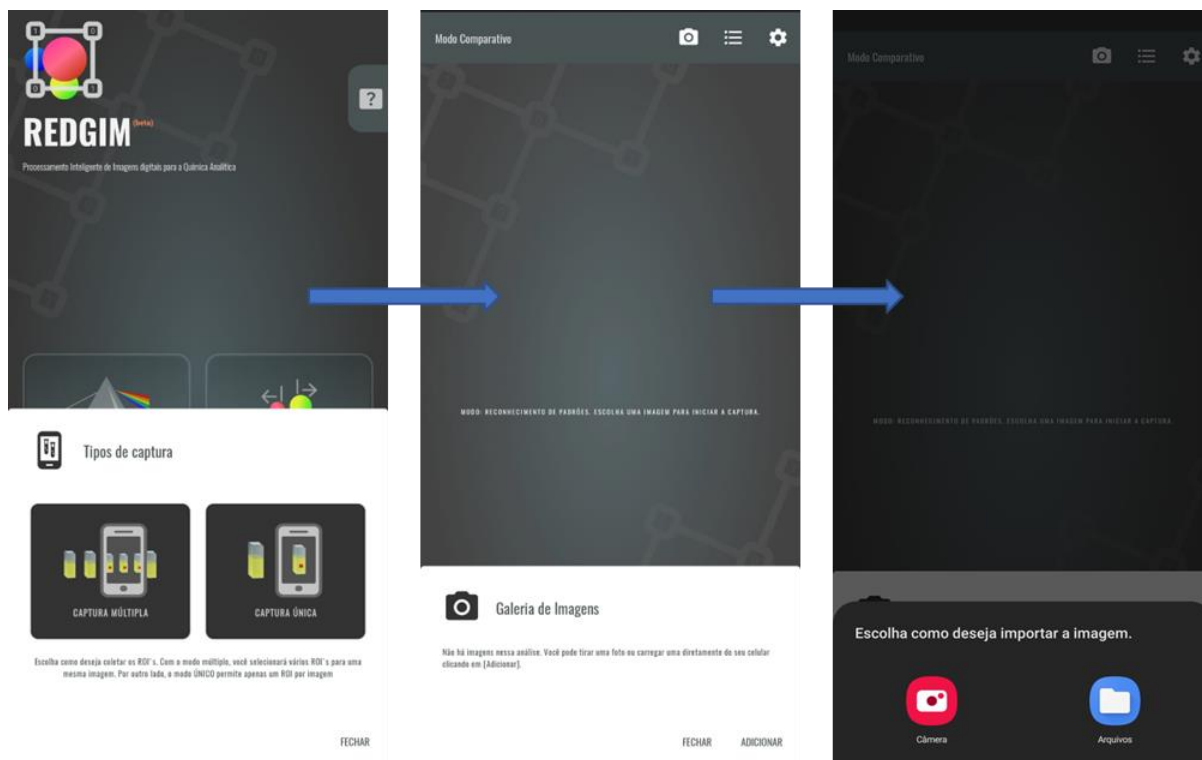


Figura 9. Escolha do tipo de captura da foto pelo modo de captura múltipla.

Fonte: Acervo próprio (2022).

A partir desse momento, será demonstrado um tutorial de como fazer o uso dos comandos do aplicativo pela vertente do modo comparativo que emprega a captura única para trabalhar com o método da PCA. Inicialmente, após o usuário clicar em captura única, ele será direcionado para uma tela para começar a captura das imagens. De início, antes da tomada das fotos, o usuário configura o tamanho do ROI, alterando largura e comprimento, clicando no ícone da engrenagem que aparece no canto superior direito na tela do seu dispositivo (⚙️). Feito esse procedimento, em primeiro lugar, deve-se fazer a tomada de foto do que chamamos de branco. Assim, pega-se um papel ou uma solução sem o analito de interesse, posicionando-se em frente da câmera do *smartphone* e em seguida, apertar o ícone da câmera que aparece na interface do aplicativo (📷). No momento em que a foto foi tirada, o aplicativo mostra as intensidades de R,G,B dos pixels da região de interesse, em

histogramas. Após a foto do branco ser tirada, deve-se clicar no ícone do lápis (✎) para identificar que aquela foto pertence ao branco e em seguida clicar em cima do ícone (Branco) e depois em adicionar. Toda essa sequência pode ser vista na **figura 10**.

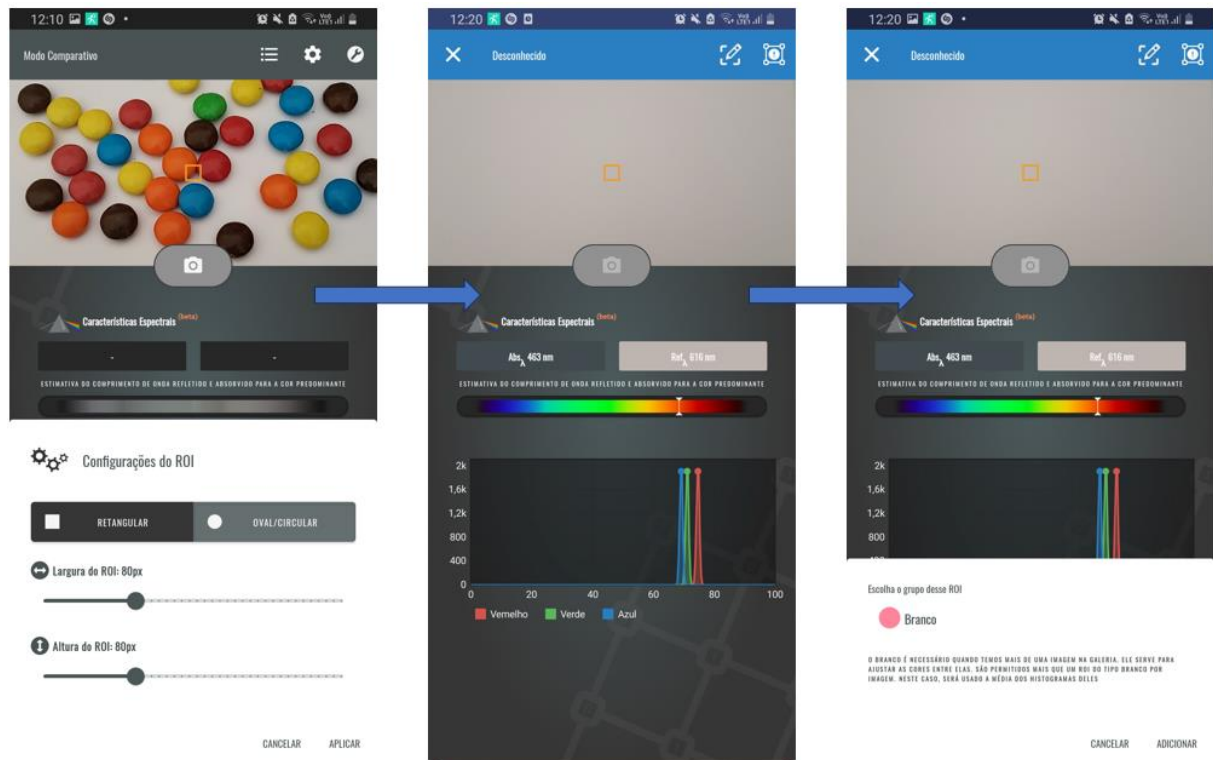


Figura 10. Passo-a-passo para identificação dos ícones iniciais e tomada do branco para análise.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Para iniciar a sequência de análise das amostras e agrupá-las conforme necessário, deve-se acessar a interface central do aplicativo, onde as fotos são capturadas. Coloque a amostra a ser analisada diante do dispositivo e tire a foto correspondente. Após a captura da imagem, deve-se seguir os mesmos passos mencionados anteriormente em relação aos ícones, porém, em vez de selecionar o ícone do branco, clique no ícone referente ao (grupo A) e depois em adicionar, fazendo assim por diante com as outras amostras para os outros referidos grupos. Por exemplo, suponha que haja um total de dezesseis amostras e deseja-se separá-las em grupos utilizando o aplicativo para analisar seus padrões de comportamento. Nesse caso, tire a foto do branco e, em seguida, fotografe as amostras que possuem coloração em comum para o (grupo A), as demais amostras com coloração

semelhante para o (grupo B) e as amostras com coloração similar para o (grupo C). Prossiga tirando fotos e adicionando cada uma delas ao aplicativo em seus respectivos grupos, até que todas as amostras tenham sido incluídas. É importante lembrar que, como apenas uma foto é tirada de cada vez, é necessário fotografar individualmente cada amostra e adicioná-la ao grupo correspondente. Esse procedimento pode ser visto na **figura 11** e cabe salientar que as amostras utilizadas para esse tutorial são meramente ilustrativas.

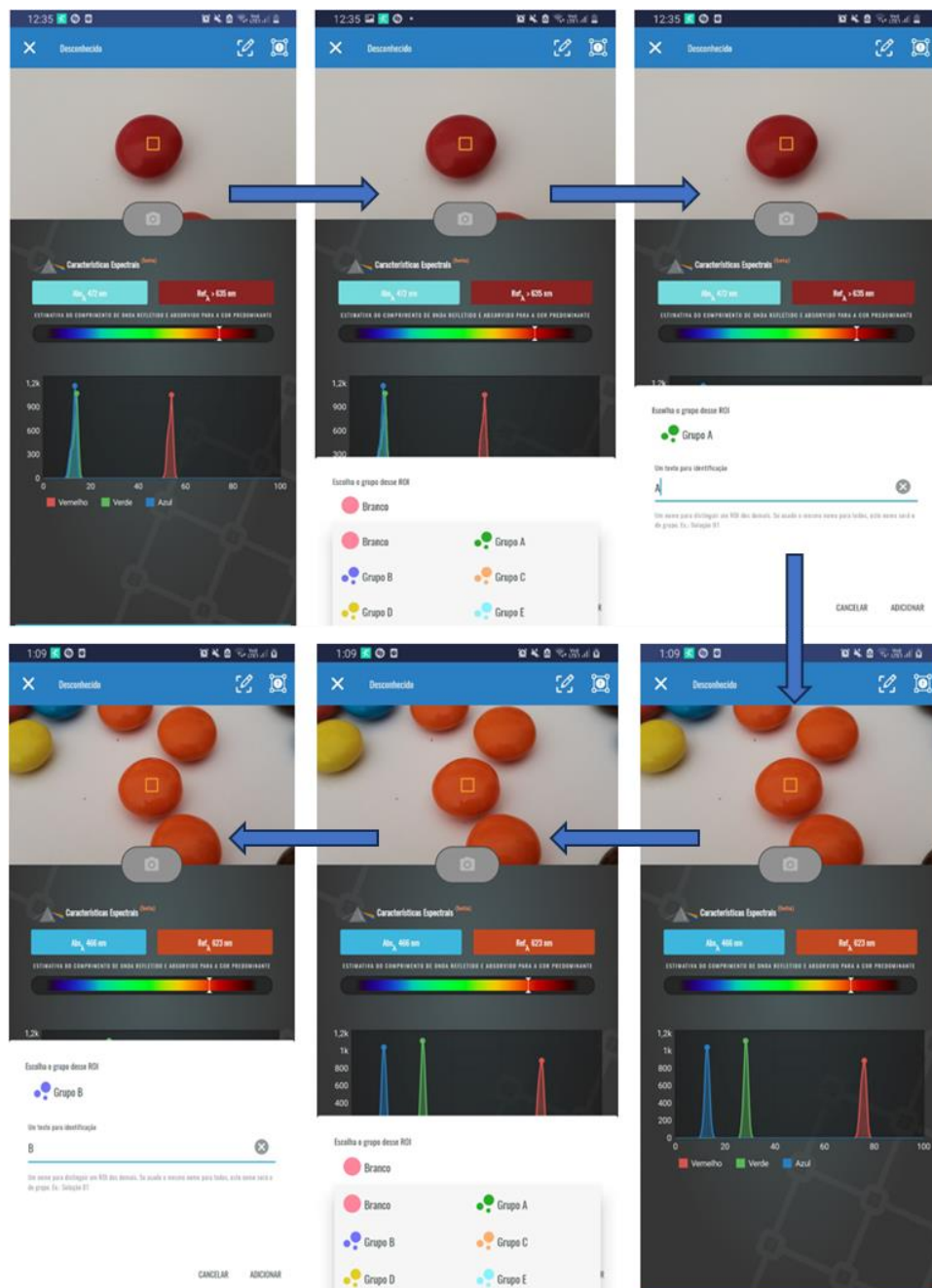


Figura 11. Passo-a-passo para ir adicionando as amostras nos grupos referente à análise.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Depois de todas as amostras serem postas em seus respectivos grupos, pode-se verificar o número de amostras por cada grupo clicando no ícone ($\equiv$) no canto superior direito da principal interface do REDGIM®, aparecendo a seguinte imagem de acordo com a **figura 12**. Feito isso, retorna-se para a tela principal e aperte o ícone de play ($\triangleright$) no canto inferior direito e em seguida aparecerá a opção de Análise por Componentes Principais e em seguida clique para entrar na função desejada.

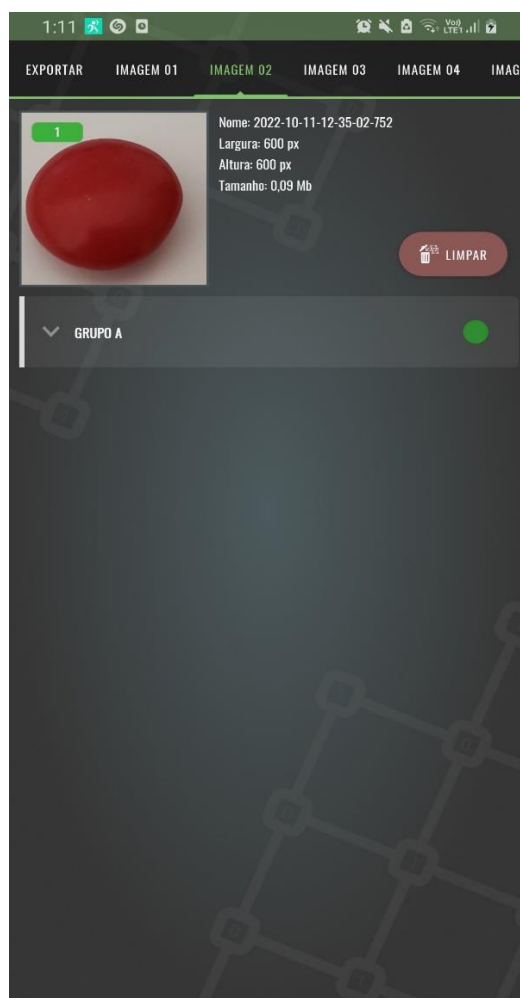


Figura 12. Interface do aplicativo mostrando onde pode encontrar as imagens das fotos tiradas e registras em seus respectivos grupos.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Após esses passos, os resultados gerados mostraram os gráficos de variância explicativa, o gráfico de *scores* e o gráfico de *loadings*. Ao arrastar a tela do dispositivo para o lado, o usuário será direcionado a uma tela que permite salvar as análises geradas. Todo esse procedimento descrito, é mostrado na **figura 13**.

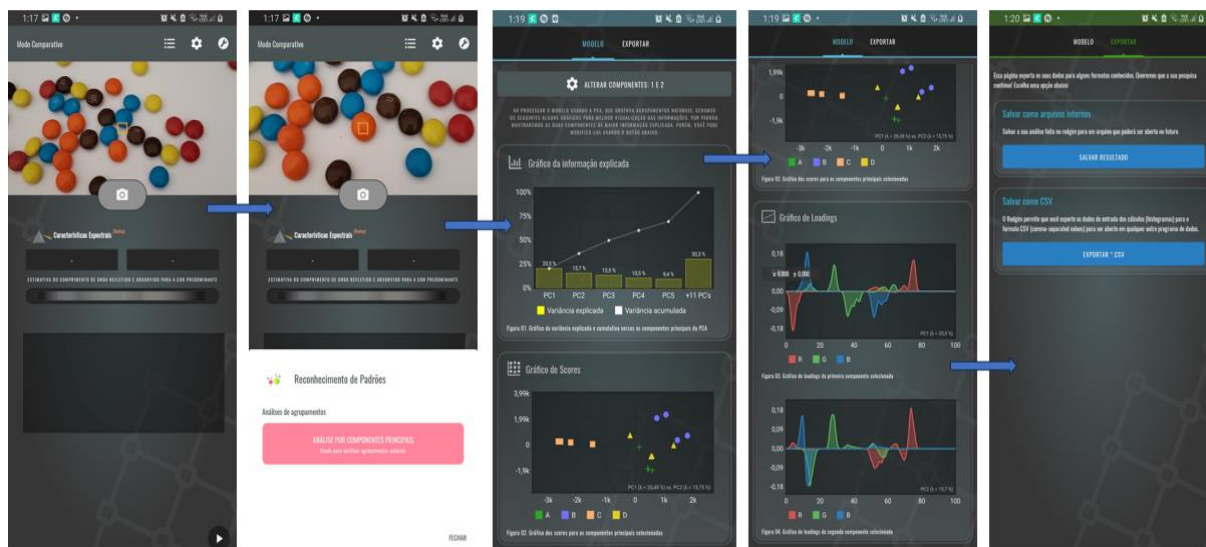


Figura 13. Telas do aplicativo mostrando os passos para gerar os resultados e salvar a análise feita.
Fonte: Acervo próprio (2022).

3.6.1.2. Regressão por Mínimos Quadrados Parciais – Modo Colorimétrico

Para o usuário ter acesso ao modo colorimétrico, deve-se abrir o aplicativo e clicar na opção desejada. Depois escolher o modo de captura único, como já dito anteriormente e iniciar as análises. Na parte desse modo, o usuário também deve selecionar o branco antes de tirar a foto das amostras, clicando no mesmo ícone citado no modo comparativo anteriormente. Após adicionar o branco e adicionar, o usuário deve tirar a foto dos pontos padrões da curva analítica e ir adicionando um por um colocando o valor da concentração, selecionando a opção padrão e adicionando. Depois deve-se colocar para análise as amostras para o aplicativo prever a concentração, clicando em amostras e adicionar. Esses passos são mostrados de acordo com a **figura 14**.

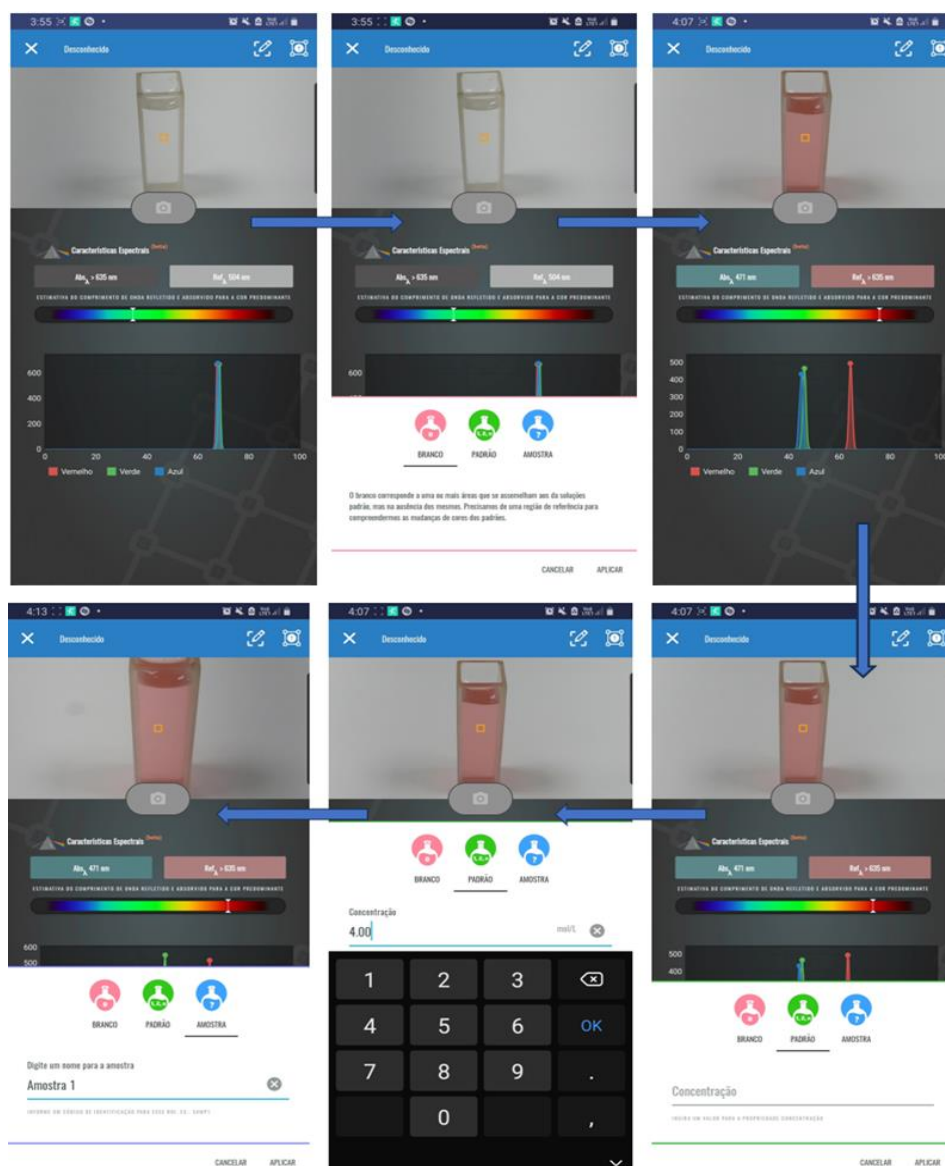


Figura 14. Passos para adicionar o branco, os padrões e as amostras para predição no aplicativo.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Depois que cada ponto da curva foi adicionado, deve-se voltar a interface principal do aplicativo na hora da análise e apertar no ícone (▷) e em seguida, selecionar a opção mínimos quadrados parciais (PLS), otimizar o número de variáveis latentes usando a validação cruzada no modo (*leave-one-out*), depois selecionar o número ótimo de VL, que é escolhido pelo gráfico referente ao erro quadrático médio de validação cruzada, do inglês, *Root Mean Square Error of Cross-Validation* (RMSECV) versus VL, e aplicar. Feito isso, o aplicativo voltará para a interface da otimização das variáveis, logo, deve-se clicar em aplicar modelo para gerar os resultados. Com os resultados, o aplicativo exibe o valor predito da amostra e a curva de regressão linear junto com os parâmetros de desempenho, sendo que a

apresentação desse esquema pode ser visualizado na **figura 15** mostrando também como salvar os resultados. Em relação aos resultados, o aplicativo fornece alguns parâmetros de desempenho como Coeficiente de Correlação (R^2), Erro Relativo, RMSEP, Erro Padrão de Calibração, do inglês, *Standart error of calibration* (SEC) e Bias.

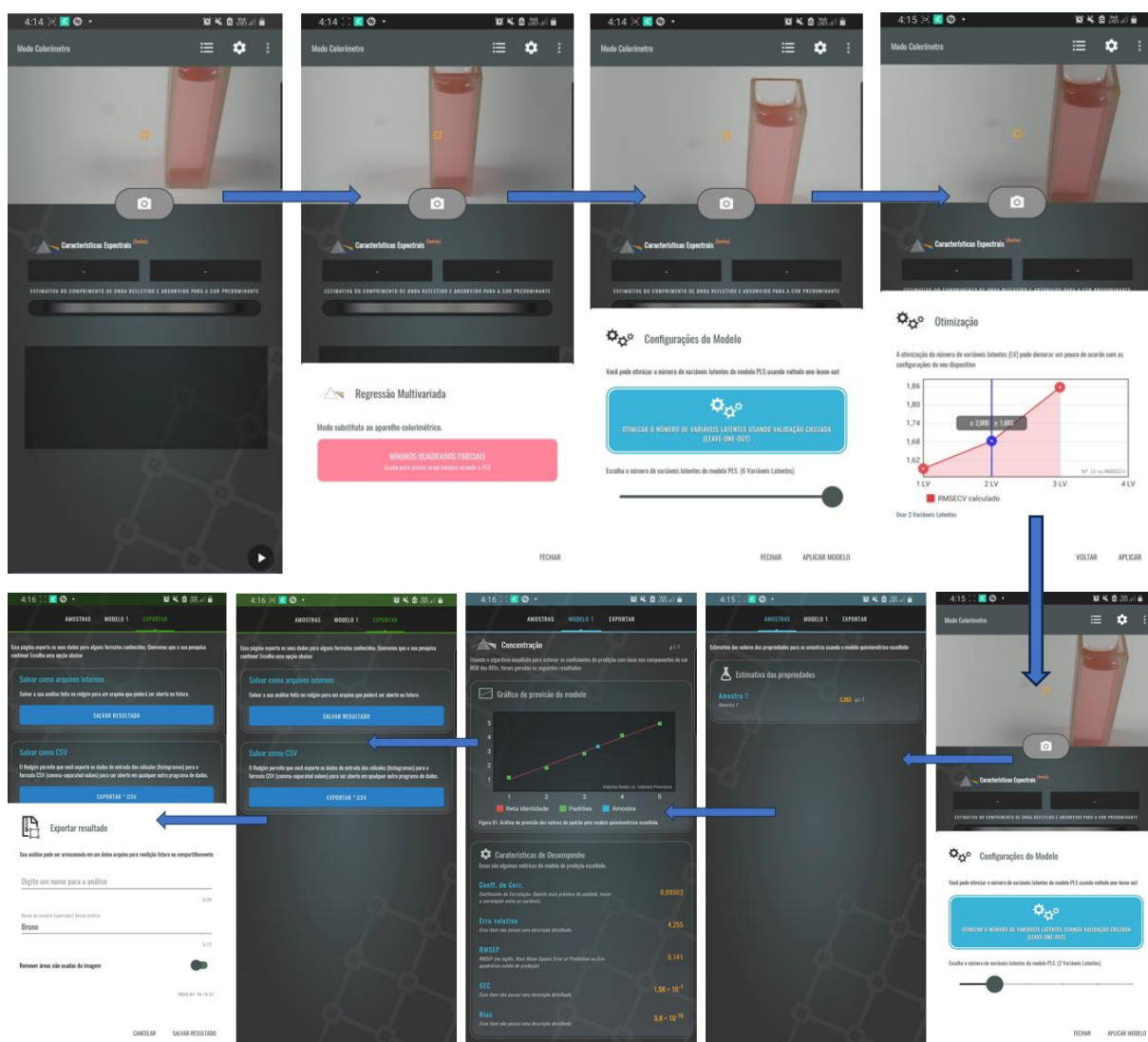


Figura 15. Sequência mostrando o procedimento para a realização da otimização das VL para gera os resultados pelo método PLS.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Costa e colaboradores (2020) utilizaram o REDGIM® e o aplicativo PhotoMetrix como instrumentos de análise no controle de qualidade do leite na adulteração com amido, peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e hipoclorito de sódio ($NaClO$) como um método alternativo ao convencional. As análises realizadas por ambos os aplicativos foram

feitas pelo método de regressão PLS por meio dos histogramas gerados no sistema RGB, sendo calculados no interior dos próprios aplicativos. Os resultados obtidos a partir do processamento das imagens adquiridas demonstraram um coeficiente de correlação de 0,9997 para H_2O_2 , 0,9929 para NaClO e 0,9974 para amido utilizando o Photometrix. Por meio do REDGIM®, os valores encontrados foram de 0,9785 para H_2O_2 , 0,9653 para NaClO e 0,9777 para amido. Os resultados encontrados foram satisfatórios e comprovaram que os aplicativos conseguiram quantificar de modo mais simples e de maneira robusta os adulterantes presentes no leite.

Dessa forma, diversos métodos de análise têm sido repaginados para abordagens baseadas em aplicativos de smartphones que usam a análise multivariada. Como vantagens adquiridas em relação aos métodos de bancada, tem-se a portabilidade, baixo custo, miniaturização de equipamentos e rapidez nas análises e obtenção de dados (Helfer *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2020; Luchiari *et al.*, 2019). Com isso, trabalhos e pesquisas estão sendo desenvolvidos sob diversos métodos de análise que têm sido repaginados para abordagens baseadas em aplicativos de smartphones que usam da análise multivariada e tratando os dados obtidos pelo próprio aplicativo com o mesmo dispositivo perante a aquisição das imagens, facilitando o processo de análise como é o caso do REDGIM®.

A utilização de metodologias por análise de imagens digitais vem conquistando espaço em diversas áreas atreladas a tecnologia, pois está cada vez mais correlacionada ao desenvolvimento em diferentes setores, como: aplicações nas áreas da saúde (Sefid-Sefidehklan *et al.*, 2023), na indústria (Gonzatti *et al.*, 2022) e na realização de pesquisas. Já no campo da química, observa-se um aumento na utilização dessa metodologia, visto que é uma técnica de bom custo-benefício, com procedimentos simples e de grande mobilidade (Fan *et al.*, 2021).

3.7. Número de publicações em Análise Multivariada por Imagens

Para validação desse argumento, foi realizado uma busca bibliométrica na base de dados *Scopus* (2023) com o termo descritor “*Multivariate Image Analysis*” com a finalidade de ver como está a produção científica nessa área entre o período de 2017

até o momento presente. Pela **figura 16** é possível ver a distribuição da quantidade dos trabalhos ao longo dos anos.



Figura 16. Produção científica anual desde 2017 até os dias atuais utilizando como termo descritor “*Multivariate Image Analysis*” na base de dados *Scopus*.

Fonte: Acervo próprio (2023).

No resultado desta pesquisa foram encontrados 1421 documentos e, entre eles, o ano que apresentou o maior número de publicações foi o de 2020 com uma quantidade de 229 publicações. Pela **figura 17**, é possível observar uma nuvem de palavras com os termos que mais aparecem em evidência ao longo desses trabalhos publicados, ressaltando algumas áreas e assuntos ligados a Química, corroborando com a versatilidade do uso da análise multivariada de dados por imagens em outras esferas do conhecimento.



Figura 17. Nuvem de palavras gerada pelo *biblioshiny* com ajuda do *software* R-Studio usando como termo descritor “*Multivariate Image Analysis*” na base de dados Scopus com ajuda do *bibliometrix* pelo *software* R-Studio.

Fonte: Acervo próprio (2023).

Por um breve panorama acerca dos trabalhos na área de MIA nos últimos anos, notou-se que grande parte aborda sobre revisões de trabalhos empregando temáticas de diferentes áreas e técnicas para obtenção de dados. Os trabalhos também discutem o que existe de mais novo para tratamento de dados que podem ser aplicados em imagens digitais, utilizando redes neurais e algoritmos aprimorados para aplicações de problemas que de alguma forma refletem na sociedade, como: diagnóstico de doenças por tecnologias portáteis, aperfeiçoamento de técnicas para análise de analitos em processos industriais, ambientais e na qualidade de alimentos.

Mesmo que nos últimos anos esteja repercutindo o uso de técnicas portáteis e de baixo custo em diferentes ambientes aplicando imagens pelo viés da análise multivariada de dados, como já comentado, ainda existe uma pequena lacuna sobre a inserção dessas tecnologias na área do Ensino em se tratando de nível superior, comparando com outros métodos laboratoriais aplicados na Química. O emprego de imagens digitais para análise, mesmo sendo um assunto recorrente em laboratórios, indústrias e apresentando grande potencial na resolução de problemas, ainda é uma temática que está em crescimento para aplicação em atividades educacionais de laboratório no Brasil.

De uma maneira bem tímida a nível nacional, alguns pesquisadores estão abordando a análise multivariada por imagens em cursos de graduação em Química. Fabris, João e Borges (2020) desenvolveram um experimento didático utilizando uma scanner de mesa com ajuda de um software para leitura de imagem, com o objetivo de quantificar o teor de nitrito em água da torneira intencionalmente contaminadas pelo método da reação colorimétrica com Minoxidil e pelo método de Griess-Ilosvay.

Ledesma, Gelinski e Borges (2019) aplicaram uma atividade experimental com os alunos do curso de Engenharia Química da Universidade Regional de Blumenau, para estimar a constante de equilíbrio da reação $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} + \text{CSN} \leftrightarrow [\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{SCN})]^{2+}$ utilizando imagens. Os alunos fizeram o experimento por meio do método de espectrofotometria na região do UV-visível (UV-vis) e pelas imagens digitais capturadas por uma scanner, no qual os dados adquiridos foram tratados pelo software imageJ. Os resultados obtidos pelo método proposto se mostraram bastante satisfatórios em comparação pela técnica já estabelecida.

Os artigos mencionados demonstram o emprego da imagem como suporte em metodologias experimentais e introdução de inovações educacionais. Destaca-se a viabilidade dessas abordagens em locais desprovidos de equipamentos (Fabris; João; Borges, 2020). Nota-se que nenhum dos artigos enfoca as técnicas quimiométricas como tema central. Em contraste, Böck e colaboradores (2015) propuseram uma aplicação didática, usando imagens de MDF (*Medium-Density Fiberboard*) para ensinar PCA. O *software ChemoStat* foi empregado para analisar os padrões nas imagens das amostras. Os alunos visualizam os resultados por meio de gráficos de scores em cartolina, posicionando as amostras nos quadrantes apropriados das componentes principais.

Em suma, aos poucos estão sendo divulgadas pesquisas em relação a Quimiometria e instrumentos de análise relacionados com a área do Ensino aqui no Brasil, mesmo sem o envolvimento de estratégias, metodologias ou abordagens educacionais para esse propósito. Dessa maneira, considerando o panorama apresentado ao longo deste texto, fica evidente o potencial enriquecedor da aplicação de atividades experimentais mediadas pela AEP para promover um ensino investigativo de Quimiometria. Isso ganha relevância especialmente porque o Brasil

está entre os dez principais países do mundo em publicações sobre essa área da Química.

4. PERCURSO METODOLÓGICO

Neste tópico, encontra-se a exposição do percurso metodológico empreendido para atender aos objetivos fundamentais desta pesquisa. Para uma contextualização precisa, esta seção é desdobrada em três subseções, a saber: Metodologia de Pesquisa, na qual a pesquisa em si é abordada em suas múltiplas facetas, incluindo a apresentação do delineamento selecionado para a condução do estudo; Metodologia da Fase Experimental, onde são descritos todos os procedimentos executados durante os testes experimentais e para o processo do edital de inovação, com vistas à futura aplicação educacional; e por último, a Metodologia Educacional, na qual se delineiam as estratégias e planejamentos didático e experimental concebidos para serem implementados em ambiente de sala de aula.

4.1. Metodologia da Pesquisa

A metodologia de pesquisa do presente trabalho pode ser caracterizada por diversos aspectos. Quanto à abordagem, a pesquisa caracteriza-se como mista, ou seja, tendo por objetivo generalizar os resultados qualitativos, ou aprofundar a compreensão dos resultados quantitativos, ou corroborar os resultados (qualitativos ou quantitativos) (Galvão; Pluye; Ricarte, 2017). Caracteriza-se também na sua integração do processo como integração, em que os enfoques experimental e educacional se conectaram inteiramente durante o seu desenvolvimento (Sampieri; Collado; Lucio, 2013).

Na primeira fase, a conceitual, ocorreram revisões bibliográficas relevantes às temáticas dos dois enfoques. Já na fase empírica metodológica experimental, foram realizados testes de análise por imagem utilizando o aplicativo REDGIM® e em fase posterior, empírica analítica, avaliou-se os resultados obtidos para possível aplicação em sala de aula. Enquanto que, no enfoque educacional, a fase empírica metodológica caracterizou-se por aplicações educacionais utilizando análise por imagem com auxílio de aplicativo e a fase empírica analítica avaliou a apreensão de conhecimentos químicos a partir de testes experimentais.

A fase inferencial caracterizou-se no enfoque experimental, por analisar a viabilidade dos experimentos para o ensino de Química, enquanto que, no enfoque

educacional, esta serviu para verificar se os objetivos estabelecidos foram alcançados. A cada aplicação, ao realizar inferências, modificou-se a fase empírica metodológica dos dois enfoques. Com característica de um processo iterativo, todas as análises realizadas durante a pesquisa, sejam qualitativas ou quantitativas, ocorreram simultaneamente. Por fim, aconteceu o processo de metainferências, isto é, a produção e aplicação de oficinas que resultaram na construção de um planejamento (Sampieri; Collado; Lucio, 2013). Na **figura 18**, ilustra-se o processo de desenho misto do tipo integração utilizado para facilitar a compreensão.

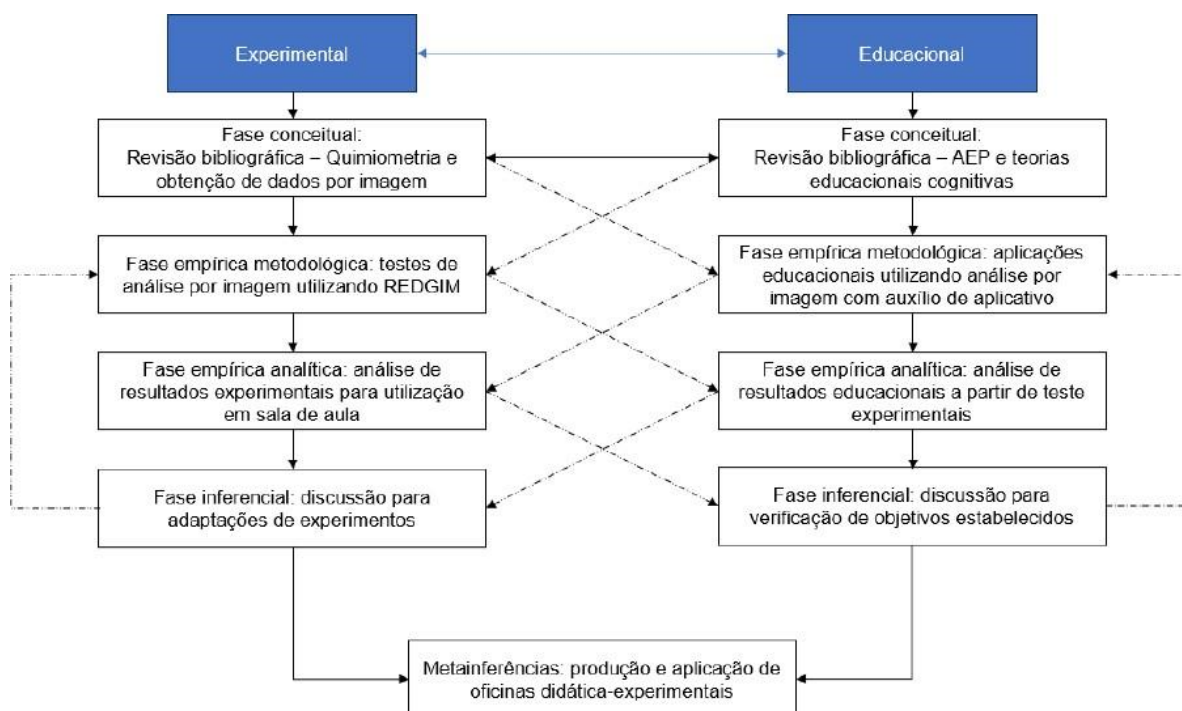


Figura 18. Processo de desenho misto de integração do presente trabalho.

Fonte: Adaptado de Sampieri; Collado; Lucio (2013); Teddlie; Tashakkori (2009); e Sampieri; Mendoza (2008).

Em relação à natureza, a pesquisa é classificada como aplicada, buscando solucionar problemas práticos ou oferecer soluções para questões do mundo real. Utilizando o conhecimento científico, o estudo se concentra em enfrentar desafios específicos e aprimorar práticas em áreas específicas. No contexto deste trabalho, os conhecimentos de quimiometria são aplicados em pesquisas de ensino para solucionar o problema concreto da dificuldade de absorção de problemas complexos por estudantes do ensino superior de Química (Sampieri; Collado; Lucio, 2013).

No que diz respeito aos objetivos, a pesquisa é caracterizada como descritiva, com foco na descrição e interpretação de uma situação, fenômeno ou grupo de

peessoas, sem a manipulação de variáveis. O objetivo central é observar e relatar fatos e características presentes em um determinado contexto, sem buscar estabelecer relações de causa e efeito entre as variáveis estudadas. Neste estudo, a ênfase está em identificar as diferentes habilidades e competências dos estudantes, bem como compreender a perspectiva dos estudantes de Química em relação ao processo de ensino-aprendizagem (Sampieri; Collado; Lucio, 2013).

No âmbito dos procedimentos adotados, este estudo se fundamenta na abordagem de pesquisa-intervenção. Esta estratégia encontra-se em acompanhar o cotidiano das práticas, criando um plano de problematização, inserida dentro de uma corrente emergente nas reflexões participativas, concentrando-se na investigação aprofundada da experiência coletiva em sua totalidade qualitativa. Desta forma, a análise empreendida assume uma natureza qualitativa, focalizando-se em microescalas da sociedade, conforme destacado por Rocha e Aguiar (2003). Neste trabalho, buscou-se descrever as características do público-alvo, explorando as relações aluno-aluno e professor-aluno, a fim de identificar tendências e padrões de respostas.

Considerando as caracterizações de pesquisa realizada, o presente estudo apresenta o delineamento pedagógico conforme mostra a **figura 19**. A estrutura e os procedimentos empregados foram organizados em oito etapas: (1) e (2) representam o enfoque experimental, enquanto, (3) a (8), representam o enfoque educacional.

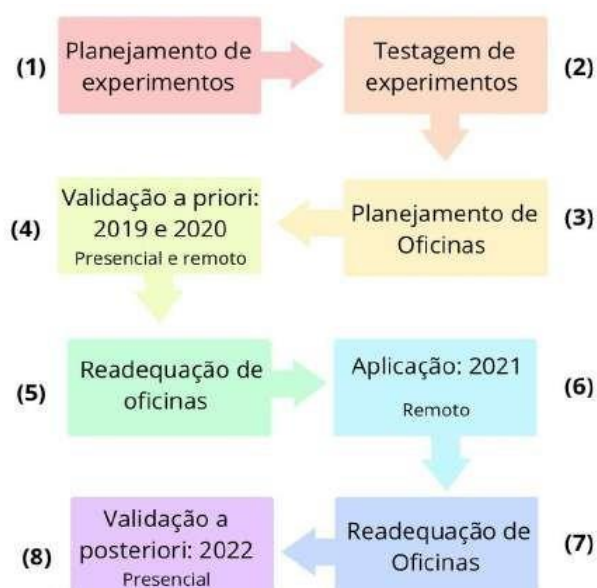


Figura 19. Delineamento pedagógico para o desenvolvimento da pesquisa.

Fonte: Acervo próprio (2023).

A figura descreve o processo de planejamento, execução e validação de experimentos educacionais: (1) No primeiro estágio, é realizado o planejamento dos experimentos, onde se organiza os percursos metodológicos a serem seguidos com base em experimentos previamente estabelecidos, os quais serão testados com o auxílio do REDGIM®. (2) Em seguida, ocorre a execução dos experimentos planejados, com o objetivo de selecionar aqueles mais adequados para aplicação em sala de aula. (3) No terceiro estágio, é feito o planejamento das oficinas educacionais, utilizando-se das análises realizadas na fase experimental. (4) Nessa etapa, realiza-se a validação a priori das oficinas, que foram conduzidas nos anos de 2019 e 2020. Os resultados obtidos nesta fase são analisados, e as oficinas são reformuladas conforme o público-alvo. (5) Após a análise dos resultados e as reformulações, as oficinas (6) são aplicadas no ano de 2021. (7) Em seguida, reavalia-se o que pode ser modificado com base nas análises das oficinas anteriores. (8) Ocorre a validação a posteriori dos experimentos e oficinas, considerando os resultados obtidos após sua aplicação.

As etapas experimentais e educacionais foram realizadas por integração, mesmo que apresentadas de maneira sequencial para facilitar a compreensão. Sempre que necessário, retornava-se a alguma fase anterior para aprimorar as aplicações educacionais (Sampieri; Collado; Lucio, 2013). Durante a readequação das oficinas, novos testes experimentais e validações por pares e/ou especialistas eram realizados. Além disso, durante os testes experimentais foram inseridos ensaios de inovação tecnológica em parceria com a empresa Vale e um professor do Programa de Pós-Graduação em Química sob regimento do edital do processo do Doutorado Acadêmico em Inovação - DAI (01/2019).

4.2. Metodologia da Fase Experimental

Nesta seção, serão delineados os procedimentos experimentais conduzidos pelos alunos durante a execução das oficinas didáticas. É importante destacar que, em grande parte das atividades, não foram fornecidos roteiros experimentais pré-determinados, e a busca por precisão analítica não era um objetivo central, deixando livre para os alunos escolherem as diretrizes metodológicas sob a mediação do pesquisador. O foco principal era avaliar a capacidade dos alunos em enfrentar

desafios e resolver problemas ao lidar com os conceitos abordados na temática, promovendo assim uma abordagem mais investigativa e autônoma no processo de aprendizado.

Os experimentos realizados nas oficinas didáticas estão sendo refeitos, considerando os parâmetros de análise adequados pelo pesquisador. Esses experimentos estão sendo gravados (vídeos instrucionais) e redigidos em formato de e-book para fins didáticos e de divulgação científica. Para uma pequena introdução a esses experimentos, segue o hiperlink de um vídeo compilado com alguns desses experimentos trabalhados ([https://drive.google.com/file/d/10ay8ghht-JI4UrA87EKXZs-Hp-QhZeQS/view?usp=drive link](https://drive.google.com/file/d/10ay8ghht-JI4UrA87EKXZs-Hp-QhZeQS/view?usp=drive_link)).

4.2.1. Testes para validação dos experimentos aplicados na oficina de 2022 utilizando o REDGIM®

4.2.1.1. Experimento para mostrar a função do modo comparativo (método de PCA do REDGIM®)

Inicialmente para os alunos terem contato com o aplicativo, foi realizado um tutorial utilizando o aplicativo pelo método da PCA. De uma forma mais acessível e para ajudar a interpretar os resultados obtidos, foram utilizadas balas coloridas como amostras para a realização da análise. O passo a passo desse experimento foi descrito aqui nessa pesquisa quando o REDGIM® foi apresentado no tópico de referencial teórico (tópico 3.6.6.1).

4.2.1.2. Experimento para mostrar a função do modo colorimétrico (método de regressão PLS) do REDGIM®

Nesta etapa, conduziu-se um experimento utilizando materiais acessíveis, visando proporcionar aos alunos uma compreensão prática da aplicação do método de regressão PLS por meio do aplicativo. Para isso, uma solução de suco em pó foi preparada com concentração de 25 g.L^{-1} . Em seguida, os alunos realizaram sucessivas diluições a partir dessa solução estoque para criar os cinco pontos padrões da curva analítica e uma amostra (com concentração conhecida pelos alunos) para ser prevista pelo aplicativo. Vale deixar em evidência que as concentrações de cada

ponto da curva e da amostra a ser analisada foram determinadas pelos alunos, sem o auxílio de um roteiro pré-estabelecido.

4.2.1.3. Experimento de construção da curva analítica do sulfato de cobre (CuSO₄) para analisar pelo REDGIM® e pelo espectrofotômetro

Esse procedimento foi desenvolvido tendo como referência o trabalho de Kuntzleman e Jacobson (2016). O experimento foi realizado em dois momentos: No primeiro momento, os alunos utilizaram o aplicativo para entender como funciona a previsão da concentração de soluções por meio do método da reflexão da luz formando a imagem digital. Assim, a curva analítica foi preparada incluindo o branco, pontos padrões e uma amostra a ser predita. Os alunos tiveram participação ativa na escolha das concentrações dessas soluções, que serviram como referência para as análises realizadas com o auxílio do REDGIM® por meio do método de regressão PLS. No outro momento, os alunos foram levados ao laboratório para a realização da mesma análise, porém utilizando o equipamento espectrofotômetro na região do UV-vis (DR 5000, HACH), para eles terem conhecimento da técnica vista na aula teórica.

4.2.1.4. Experimento de reconhecimento de padrões em óleos vegetais comestíveis

Esse experimento foi adaptado advindo do estudo de Poppi e Souza (2012). O experimento decorreu da seguinte maneira: Foram utilizadas doze amostras (quatro de azeite; quatro de um tipo de óleo vegetal comestível e quatro de outro tipo de óleo vegetal comestível). É importante ressaltar que os alunos tiveram a liberdade de escolher o material a ser analisado, incluindo os tipos de óleos vegetais comestíveis. Além disso, é importante deixar claro que qualquer tipo de óleo vegetal comestível poderia ser utilizado, como óleo de soja, canola, milho ou girassol. Essa flexibilidade permite uma maior diversidade nas amostras analisadas e contribui para uma abordagem mais abrangente dos experimentos. O propósito dessa prática foi averiguar padrões em amostras utilizadas e conseguir abordar as respectivas abordagens para explicação dos resultados por meio do método PCA utilizando o aplicativo.

4.2.1.5. Experimento de diferenciação de notas verdadeiras e notas falsas de dinheiro

Esse procedimento realizado teve como base o estudo de Vittorazzi e colaboradores (2020). Essa abordagem foi utilizada para mostrar aos alunos que o aplicativo pode ser utilizado para a resolução de problemas do cotidiano atrelado à Quimiometria. Foi realizada uma contextualização acerca da Química Forense sobre a falsificação de documentos e papel moeda e possíveis técnicas que são utilizadas para combater essa questão. A parte prática foi desempenhada da seguinte maneira: notas de dinheiro feitas em impressão a laser foram consideradas como falsas nos valores escolhidos pelos alunos e notas verdadeiras para ocorrer essa diferenciação pelo aplicativo. Foram utilizadas quatro notas falsificadas de um valor e quatro notas verdadeiras de outro valor, sendo agrupadas pelo reconhecimento de padrões e analisadas pelo REDGIM® com o método de PCA.

4.2.1.6. Experimento da escala de pH utilizando o aplicativo pelo método de reconhecimento de padrões

Foi desenvolvido e adaptado com base no artigo de Valderrama e colaboradores (2016). Para a realização dessa prática, foram utilizados produtos do cotidiano como: pasta de dente, produtos de limpeza, sabonete, sabão em pó, limão, vinagre, shampoo, bicarbonato de sódio (NaHCO_3), acetona, água oxigenada, HCl, NaOH e entre outros. Cada produto foi adicionado a um tubo de ensaio e, em seguida, completou-se com suco de repolho roxo, que foi utilizado como indicador de pH. Depois de todos esses passos realizados, os tubos de ensaio de colorações próximas foram dispostos lado a lado, até formar uma escala de pH e realizar o agrupamento dos pontos da escala pelo método da PCA utilizando o aplicativo REDGIM®.

4.2.1.7. Análise preditiva de concentração da resina supressora de pó de minério

Este experimento teve o objetivo de os alunos verem como a parte de inovação e tecnologia nas análises químicas podem estar ligados ao Ensino e a indústria. Como realizado nos experimentos anteriores, os alunos escolheram as concentrações das soluções que seriam utilizadas e, com isso, foi construída uma curva analítica utilizando a resina PET supressora de pó de minério, para predição da sua concentração. Os pontos da construção da curva foram: branco, pontos padrões

(concentração conhecidas pelo aplicativo) e amostra para predição da resina. A predição da concentração foi feita pelo método de regressão PLS utilizando o REDGIM®.

4.2.2. Testes para experimentos de inovação tecnológica por meio do REDGIM®

Leva-se em consideração, que essa pesquisa também apresenta parceria com o edital de Doutorado Acadêmico em Inovação, por esse motivo, para facilitar o processo de análise na Indústria, foi desenvolvida uma possível metodologia de análise por meio de imagens digitais para medida de propriedades físico-químicas de uma resina supressora de pó de minério. Para a obtenção das imagens, o aplicativo foi configurado no modo captura múltipla (onde toda a escala e amostra a ser predita se encontrou na mesma imagem). O *smartphone* utilizado foi o Samsung S9+ (câmera de 12 megapixels, f/2.4, estabilização óptica, resolução 4032x3024 pixels e sistema operacional Android 10 Samsung One UI 2.5. A captura da imagem foi realizada a partir do momento em que a câmera do dispositivo enquadrava o foco, utilizando o ROI de 80x80 pixels, com 2 variáveis latentes sugeridas pelo próprio aplicativo. Depois disso, os dados foram processados e visualizados diretamente na tela do dispositivo pelo REDGIM® na versão 2.2.0.00.

4.2.2.1. Predição de pH da resina PET despolimerizada

Foi realizada uma escala de pH (7; 8; 10; 12; 13; 14 e a amostra para ser predita) com a resina despolimerizada (com tonalidade transparente). A resina é uma patente proveniente de estudos realizados pelo laboratório de Físico-Química da UFES, com aplicação para supressão de pó de minério na Vale. Visto isso, a amostra foi cedida pelos pesquisadores para o desenvolvimento de uma metodologia para verificação do pH por um método que se utilize imagens digitais com auxílio do aplicativo REDGIM®.

Tendo em prática a elaboração da escala de pH, foi utilizada uma solução de 0,1 mol.L⁻¹ de hidróxido de sódio (NaOH) para aumentar a basicidade da resina até o último ponto da escala, levando em consideração que o pH era verificado com o pHmetro portátil (Akso® – AK90) e com a fita de medição de pH a cada ponto. Em seguida foi realizada a procura de um indicador de pH que mudasse de cor ao longo

da escala, para proporcionar mudança de tonalidade na amostra, com o objetivo de que o aplicativo pudesse prever o valor de pH pelas variáveis de RGB da imagem digital utilizando o método por regressão PLS. Deixou-se registrado que as amostras ficaram em tubos de ensaio para que pudesse captar a imagem da escala que foi criada. Para se ter o controle de qualidade da resina PET, mediu-se o pH, como foi dito anteriormente, da resina despolimerizada e a predição da concentração da resina polimerizada.

4.2.2.2. Predição da concentração da resina PET supressora de pó de minério

4.2.2.2.1. Construção da Curva Analítica

Na construção da curva analítica da resina PET polimerizada, foram utilizadas um branco, dez amostras para os pontos padrões da curva nas concentrações em massa/volume - (0,10%; 0,25%; 0,50%; 1,00%; 1,50%; 2,00%; 2,50%; 3,00%; 3,50% e 4,00%) e três amostras para a predição da concentração de acordo com a **figura 20**. Primeiramente foi feita a análise em um fotômetro (HANNA INSTRUMENTS® - HI83325-02), com comprimento de onda em 525nm, para comparação dos resultados obtidos utilizando o REDGIM®. Considerando que o propósito desta etapa foi desenvolver uma metodologia alternativa para prever a concentração da resina utilizando imagens digitais, é importante salientar que o foco não foi a quantificação de componentes específicos da resina, mas sim a verificação da concentração total como um todo. Isso se destina ao controle de qualidade relacionado à aplicação industrial da resina.

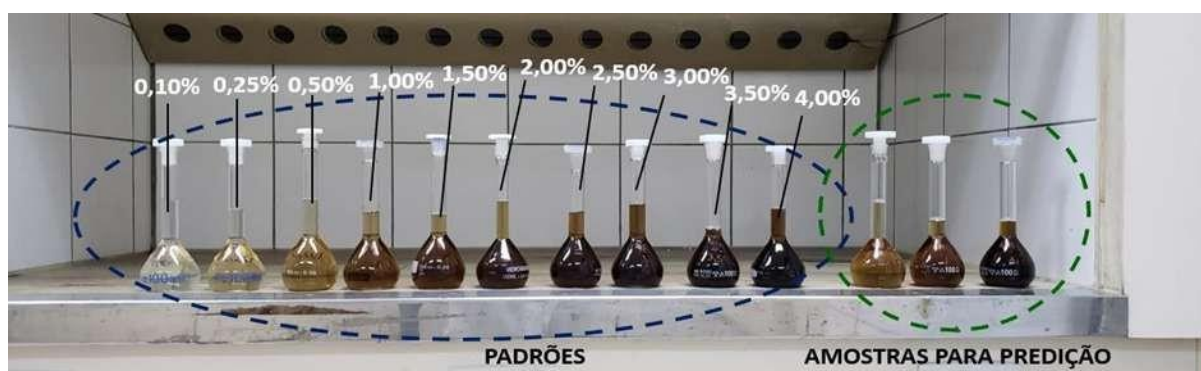


Figura 20. Soluções da curva analítica da resina PET supressora de pó.

Fonte: Acervo próprio (2021).

4.2.2.2.2. Análise dos dados empregando o REDGIM®

Para essa parte, o aplicativo foi colocado na opção captura única, na qual para cada ponto da curva analítica foi tomada uma foto. O smartphone utilizado foi o Samsung S9+ (câmera de 12 megapixels, f/2.4, estabilização óptica, resolução 4032x3024 pixels e sistema operacional Android 10 Samsung One UI 2.5. A captura das imagens foi realizada a partir do momento em que a câmera do dispositivo enquadrava o foco, utilizando o ROI de 80x80 pixels, com 3 variáveis latentes sugeridas pelo próprio aplicativo. Depois disso, os dados foram processados e visualizados diretamente na tela do dispositivo pelo REDGIM® na versão 2.2.0.00.

Para auxiliar na diminuição de interferentes que possam modificar os resultados das imagens, usou-se uma mini cabine fotográfica com dimensões de 24x24x22 com uma fita contendo 20 lâmpadas LED. Outro fator ajustado para que não houvesse influência no resultado das imagens, foi o recipiente utilizado para colocar as amostras no momento da tomada das fotos. Por isso usaram-se cubetas de quartzo com duas faces polidas e largura de 10mm, para diminuir os reflexos da luz ambiente na parede da vidraria, deixando assim uma superfície mais uniforme. O aparato montado pode ser visto na **figura 21**.



Figura 21. Sistema montado para tomada de fotos das amostras da resina.

Fonte: Acervo próprio (2021).

4.3. Metodologia da Fase Educacional

Neste tópico, serão apresentados o delineamento e o planejamento referente a organização das oficinas ocorridas nos anos de 2020, 2021 e 2022 junto com seus principais objetivos e temáticas abordadas, vinculadas às bases organizadoras da AEP. O público-alvo dessa pesquisa foram os alunos dos cursos de Licenciatura e Bacharelado em Química da UFES, *campus* Goiabeiras.

4.3.1. Planejamento inicial de oficinas

As oficinas foram aplicadas em três anos: em 2020 e 2021 de forma remota devido ao contexto pandêmico e em 2022 de forma presencial. A cada ano o planejamento era refeito modificando alguma estratégia, questões orientadoras, objetivos e dinâmicas. Diante disso, para um melhor entendimento do percurso realizado, a seguir será apresentada a descrição de cada planejamento das oficinas e seus respectivos objetivos gerais. O **quadro 2** destaca resumidamente o objetivo geral de cada oficina em cada ano de aplicação. Antes do início da aplicação da oficina em cada turma, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE – **Apêndice A**) foi apresentado aos participantes, juntamente com o registro no Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade, que incluiu o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE): 26881419.4.0000.5542. Os alunos foram devidamente informados sobre a coleta de dados e os objetivos da pesquisa, e concordaram em participar voluntariamente.

Quadro 2. Descrição do objetivo da oficina em cada ano de aplicação

Ano de aplicação da oficina	Objetivo
2020	Validação <i>a priori</i> - Verificar a técnica de análise por imagens digitais no contexto remoto para compreender as análises químicas pelo uso do aplicativo REDGIM®.
2021	Aplicações - Compreender conceitos relacionados à Quimiometria e aplicabilidade dos métodos quimiométricos no desenvolvimento de práticas acessíveis utilizando o aplicativo REDGIM®.
2022	Validação <i>a posteriori</i> - Compreender conceitos relacionados à Quimiometria e aplicabilidade dos métodos quimiométricos, validando alguns experimentos para suas adaptações no contexto de formação de professores.

Fonte: elaboração própria (2023).

4.3.2. Validação a priori do planejamento - turma de 2020

Nessa etapa do trabalho, o público-alvo foi composto por oito alunos do primeiro período do curso de bacharelado em Química da UFES, matriculados na disciplina de Química Geral I. Devido ao distanciamento social ocorrido no semestre de 2020/1, as aulas foram conduzidas de forma remota.

Inicialmente, foi entregue aos alunos um questionário inicial (**apêndice B**), para o levantamento dos seus conhecimentos prévios acerca de análises químicas e Quimiometria. A partir das respostas dadas, foi elaborado o escopo do planejamento da oficina didática das atividades experimentais, nos moldes da AEP, de maneira remota, por causa do isolamento social devido a pandemia da COVID-19 (Ufes, 2020). Dessa forma, a aplicação da oficina didática demandou quatro encontros virtuais, conforme o planejamento que se encontra no **apêndice C**, sendo realizada por meio da plataforma *Google Meet*. Deve-se salientar que o escopo do planejamento da oficina foi com base nas etapas determinadas pela AEP (Silva; Moura, 2018).

Diante disso, no primeiro momento da etapa de discussão prévia, foi apresentado o problema proposto decorrente de uma situação intrinsecamente vivenciada pelos alunos do curso de Química, naquele momento, relacionado à pandemia da COVID-19: *Como é possível utilizar recursos tecnológicos do cotidiano em análises químicas distantes do laboratório para a resolução de problemas específicos?*

Na apresentação do tema, perguntas como “o que são análises químicas?”, “como posso encontrá-las no espaço do cotidiano e para que serve?” foram levantadas para poder ajudar a construir uma linha de raciocínio e corrigir alguns conceitos errôneos que os alunos mostraram ter no questionário prévio. Em seguida, foi dialogado com alunos acerca de análises qualitativas e quantitativas e como podem ser realizadas, incluindo alguns métodos de análise por meio de instrumentos como a espectrofotometria na região do UV-vis, por exemplo.

Na etapa da organização do conhecimento, conforme proposto pela AEP, os alunos foram expostos de maneira simples a métodos alternativos de processos de análises químicas que utilizam imagens digitais por meio da Quimiometria. Essa etapa foi importante, pois foram formuladas algumas perguntas orientadoras à eles que podem ser visualizadas no **quadro 3**.

Quadro 3. Questões orientadoras feitas aos alunos no momento da organização do conhecimento

-“Em locais onde os investimentos em equipamentos químicos são baixos (principalmente em escolas de Ensino Médio ou comunidades distantes dos grandes centros urbanos) e sem acesso à internet, é possível realizar análises químicas? Se sim, como?”

-“Diante da grande expansão do uso de smartphones em nossa sociedade, trazendo para o campo da Química, é possível usar as imagens geradas por esses dispositivos na falta de equipamentos químicos?”

-“Como usar tecnologias de fácil acesso a favor dos alunos para a resolução de problemas que afetam os estudantes em sua formação acadêmica (relacionados com a pandemia e a falta de aulas práticas no laboratório)?”

Fonte: elaboração própria (2023).

Foram abordados conceitos relacionados à formação de imagens digitais, sistema RGB, bem como a leitura dessas imagens por dispositivos técnicos analíticos e suas aplicações em diferentes áreas. Além disso, foi fornecida uma visão geral sobre o tratamento dos dados obtidos por meio de um método quimiométrico, apresentando os principais conceitos nos campos da pesquisa e a teoria subjacente à regressão PLS e a construção de curva analítica.

No encerramento dessa etapa, os alunos foram apresentados ao aplicativo REDGIM®, no qual foram demonstradas a utilização de seus comandos. Como forma de registro para os alunos acompanharem o manuseio do REDGIM®, os professores da oficina produziram um vídeo explicando todos os passos das análises utilizando o aplicativo pelo método de regressão PLS e a interpretação dos dados.

Com o acompanhamento dos alunos ao longo de cada encontro, lhes foram concedidos como material de suporte, artigos científicos a respeito do uso do método e da técnica. Vale ressaltar que devido a não utilização do laboratório, os momentos de organização/desenvolvimento da atividade experimental e retorno ao grupo de trabalho foram realizados nas casas dos alunos por intermédio dos tutores quando solicitados, além das reuniões para discutir a respeito do andamento do experimento proposto. Durante essas etapas, cada grupo teve um período de três semanas para elaborar as diretrizes metodológicas experimentais e realizar as práticas.

Nos moldes da AEP, a oficina didática foi elaborada a partir dos três articuladores teóricos (problema proposto, objetivo experimental e diretrizes metodológicas), que foram dissolvidos e organizados ao longo das cinco etapas já mencionadas no referencial teórico. Logo, juntamente com os alunos, o objetivo experimental definido da AEP foi compreender as análises químicas por meio de

imagens digitais utilizando aplicativo de smartphone, além de desenvolver uma prática acessível para esse propósito. O experimento consistiu na utilização da análise multivariada por imagens para desenvolver uma curva analítica para a predição de soluções. Salienta-se que os fatores envolvidos como: o que analisar, os aportes teóricos e os aparatos adaptados que foram utilizados para a execução dos experimentos, incluindo a livre escolha dos materiais de análise, surgiram das discussões prévias e da organização das atividades realizadas pelos alunos, tendo a mediação do professor sem o auxílio de um roteiro pré-estabelecido.

Para registrar o que foi realizado na etapa de socialização, os alunos entregaram um relatório descrevendo suas atividades, juntamente com a apresentação oral dos slides que mostraram os resultados obtidos. Isso permitiu a troca de conhecimentos e uma análise coletiva dos experimentos realizados pelos grupos.

Após a apresentação dos resultados pelos alunos na etapa de socialização, o encontro seguinte foi reservado para a sistematização, onde ocorreu uma síntese das discussões dos trabalhos apresentados e das temáticas estudadas, além de *feedbacks* por parte dos alunos. Ao final do último encontro, um questionário final (**apêndice D**) foi enviado aos alunos por meio da plataforma online, visando obter suas opiniões sobre a utilização do REDGIM®, os conteúdos abordados e a metodologia empregada (AEP) durante os encontros. Essa avaliação permitiu uma análise mais aprofundada da percepção dos alunos em relação às atividades realizadas e auxiliou na avaliação do impacto da abordagem na dinâmica dos encontros. Os dados deste trabalho foram registrados e coletados por meio dos questionários online, slides das apresentações, relatos de conversas e gravação de áudio durante os encontros mediados com a permissão e consentimento dos alunos.

4.3.3. Aplicação da oficina - turmas de 2021

Essa versão da oficina, também foi realizada por via remota, totalizando 6 encontros, utilizando a plataforma Google *meet* e aplicada em três turmas no semestre letivo de 2021/1 nos cursos de Química da UFES nas seguintes disciplinas: Química Geral I (Bacharelado – dez alunos); Tecnologias Digitais para o Ensino de Química - TDEQ (Licenciatura – onze alunos) e Introdução à Ciência do Petróleo - ICP

(Bacharelado – seis alunos). As aplicações das oficinas foram realizadas em cada turma ao longo do semestre de forma separada

Visto os resultados da oficina anterior e as perspectivas do projeto para sua mudança, foi feito o seu planejamento para a aplicação no ano de 2021. Inicialmente foi elaborado um projeto de apresentação da versão reformulada da oficina para passar por uma validação por pares por pesquisadores da área e professores. Com os resultados da validação avaliados, as devidas alterações no escopo da oficina foram ajustadas, incluindo os objetivos geral e experimental. Por esse processo, o escopo da versão de 2021 está apresentada no **apêndice E**. Em comparação com a oficina de 2020, essa nova versão foi confeccionada pensando em abordar todos os métodos contemplados pelo aplicativo. Diante disso, nas etapas de discussão prévia e organização do conhecimento, foi implementado, além dos tópicos trabalhados anteriormente, as temáticas a respeito do reconhecimento de padrões, PCA e uma visão mais aprofundada acerca da regressão PLS por meio do REDGIM®.

Para montar uma sequência de encontros da oficina que fizesse mais sentido junto aos conhecimentos adquiridos ao longo das aulas, primeiramente foi entregue um questionário inicial aos alunos (**apêndice F**) para identificar o conhecimento prévio que apresentavam. Depois as perguntas orientadoras da oficina validada foram rearranjadas com novas problematizações visando alinhar e corrigir os conhecimentos prévios que os alunos traziam.

No primeiro encontro da oficina didática, foi apresentado a problematização, Introdução às análises químicas e preparo de soluções na etapa de Discussão Prévia, com perguntas orientadoras. No segundo encontro foi realizada a organização do conhecimento sobre conceitos e temáticas como introdução à espectroscopia, lei de *Lambert-Beer*, análises químicas e imagens digitais para resolução de problemas, sistema RGB, Introdução à Quimiometria com enfoque no reconhecimento de padrões e a PCA, foram trabalhados. Nesse momento, para uma melhor compreensão da ideia de reconhecimento de padrões, foi feita uma dinâmica para dar início aos conceitos de PCA. Foi mostrado um esquema (**figura 22**) de como era possível organizar as sequências de formas e figuras pelo desenho e assim os alunos tiveram que organizar as suas ideias e logo depois mostrar como eles conseguiram fazer e explicar o motivo da escolha.

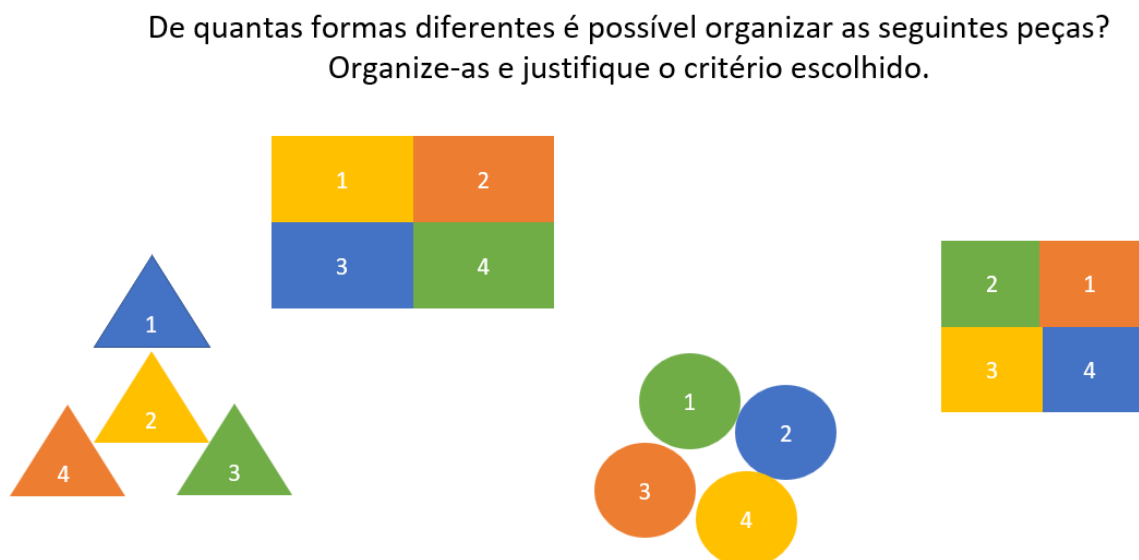


Figura 22. Apresentação da temática para iniciar os conceitos de reconhecimento de padrões.

Após toda troca de informações com os alunos e apresentação dessa parte do conteúdo, o REDGIM® foi apresentado à eles por meio do método da PCA e em seguida eles foram separados em dois grupos para darem prosseguimento às seguintes etapas para o preparo das diretrizes metodológicas. É importante deixar claro que a estrutura da oficina da versão de 2021 manteve-se a mesma da de 2020, com certas adequações devido às novas temáticas abordadas e a quantidade de encontros. Durante essas etapas, cada grupo teve um período de três semanas para elaborar as diretrizes metodológicas experimentais e realizar as práticas.

Logo, juntamente com os alunos, o objetivo experimental definido da AEP foi desenvolver práticas acessíveis com o uso do aplicativo a partir das análises utilizando a PCA, para compreender a empregabilidade do método quimiométrico. O experimento consistiu na utilização da análise multivariada por imagens para tratar das seguintes temáticas: (a) diferenciação de notas de banco (dinheiro) e (b) reconhecimento de padrões entre azeite (refinado) e óleos vegetais comestíveis, de uso doméstico, adquiridos nos comércios locais e conservados sob refrigeração doméstica. Os temas escolhidos tiveram como referência alguns trabalhos relacionados à essas temáticas (de Souza e Poppi, 2012; Helfer *et al.*, 2017 e Vittorazzi *et al.*, 2020). Portanto, os alunos organizaram os procedimentos experimentais adequados ao uso do aplicativo. Salienta-se novamente que os fatores

envolvidos como: o que analisar, os aportes teóricos e os aparatos adaptados que foram utilizados para a execução dos experimentos, incluindo a livre escolha dos materiais de análise, surgiram das discussões prévias e da organização das atividades realizadas pelos alunos, tendo a mediação do professor sem o auxílio de um roteiro pré-estabelecido.

As etapas de organização dos experimentos e trabalho em grupo, foram realizadas ao longo de três semanas. Na terceira aula da oficina, os alunos iniciaram a socialização dos resultados. Neste momento, apresentaram seus avanços em relação às diretrizes metodológicas para a solução do problema proposto, por meio de slides e registros fotográficos. Ao final da apresentação, cada grupo entregou um relatório por escrito sobre os resultados obtidos utilizando o método de PCA.

Para dar continuidade ao processo da oficina, na quarta aula foi retomada a organização do conhecimento para mediação do conteúdo sobre construção de curva analítica, regressão PLS e suas aplicações em Quimiometria e os comandos do aplicativo para utilizar nas análises. Ao final desse encontro, os alunos foram apresentados à análise pelo método de regressão PLS utilizando o REDGIM® e dando continuidade aos momentos da oficina, eles tiveram que desenvolver um experimento com aplicação desse método com as temáticas de predição da concentração de sucos em pó e concentração de misturas de óleos comestíveis.

O mesmo tempo de preparo dos experimentos foi dado aos alunos para o desenvolvimento das diretrizes metodológicas, e na etapa de socialização (quinto encontro), cada grupo apresentou seus resultados obtidos. Ao final desse encontro, os alunos entregaram um relatório por escrito da metodologia desenvolvida por eles com os resultados e discussões pertinentes.

No último encontro, na etapa de sistematização, foi realizada uma breve revisão de tudo o que foi trabalhado no decorrer da oficina e em seguida, os alunos deram seus feedbacks a respeito do que eles acharam sobre a condução da oficina e as temáticas abordadas. Para manter o registro de coleta de dados, foi entregue um questionário final (**apêndice G**) para os alunos responderem nesse momento. Todo esse planejamento da oficina de 2021 pode ser resumido de acordo com o esquema da **figura 23**.

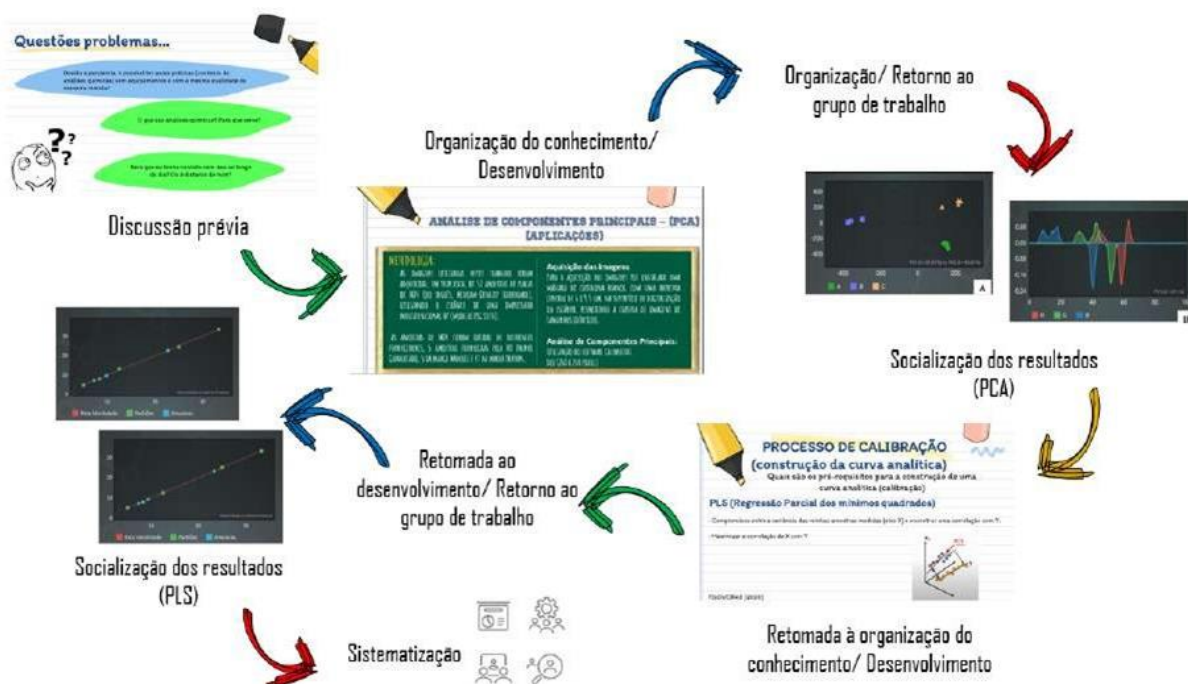


Figura 23. Esquema representativo sobre o planejamento da oficina didática do ano de 2021.

Fonte: Acervo próprio (2023)

4.3.4. Validação a posteriori da oficina – turma de 2022

Essa oficina foi aplicada com a turma de Pesquisa e Prática Pedagógica em Laboratório no Ensino de Química II (PPP2) no primeiro semestre de 2022, formato presencial, totalizando treze alunos participantes. Essa oficina seguiu os mesmos escopos da oficina anterior, porém com mais aulas experimentais e com objetivo de compreender a Quimiometria e sua aplicabilidade no contexto de formação de professores. Todo o percurso dessa aplicação pode ser visto no **apêndice H**. Como foi também uma sequência de aulas para a validação de alguns experimentos, o cronograma contemplou um total de catorze aulas, com uma carga horária de cinquenta e duas horas para a execução do que foi proposto, envolvendo as bases sólidas por trás dos momentos e dos aportes teórico-metodológicos da AEP.

Como a estrutura da oficina já estava organizada devido às aplicações anteriores, inicialmente foi entregue o questionário prévio (**apêndice F**) com a finalidade de saber o conhecimento que os alunos já apresentavam e em seguida deu-se início com a proposição do problema. A discussão prévia e a organização do conhecimento, foram realizadas da mesma forma que a oficina anterior, porém como foi realizada de forma presencial, na hora da apresentação do aplicativo, os próprios

alunos fizeram os experimentos para aprenderem as funções de cada método pelo uso do REDGIM®.

A oficina foi estruturada seguindo esses pontos distribuídos nas etapas da AEP:

1. Levantamento de conhecimentos prévios por meio de questionários e perguntas orientadoras; 2. Problematização, onde os desafios foram apresentados e discutidos; 3. Apresentação e organização do conhecimento, proporcionando a base teórica necessária para a realização dos experimentos e suas aplicações no cotidiano, trazendo as suas devidas contextualizações em situações problemas; 4. Aplicação do conhecimento com o desenvolvimento dos experimentos citados na metodologia experimental; 5. Socialização, discussão dos resultados encontrados com os demais grupos; 6. Sistematização das ideias e registros com debates acerca da Quimiometria aplicada ao ensino. Em todas as aulas da oficina, enfatizou-se a contextualização do assunto abordado e a aplicação prática dos experimentos no cotidiano dos alunos, por meio de situações-problema. A aplicação da oficina teve duração de maio de 2022 a julho de 2022.

Ao término desse processo, foi conduzida a entrega do questionário final (**Apêndice G**) e uma avaliação utilizando uma ficha com escala Likert para medir o grau de concordância dos participantes em relação com a metacognição e as inteligências analítica, criativa e prática (**Apêndice I**). A escala continha os seguintes valores: 1 - Discordo Plenamente; 2 - Discordo Muito; 3 - Discordo; 4 - Não Concordo, Nem Discordo; 5 - Concordo; 6 - Concordo Muito; 7 - Concordo plenamente (Likert, 1932).

As datas para a aplicação das aulas na oficina didática foram cuidadosamente organizadas para não comprometer as demais demandas das disciplinas. É importante ressaltar que a realização da oficina teve como objetivo validar planejamento didático de Ensino proposto para a pesquisa na formação inicial de professores.

Ao longo das aulas, foram utilizados diversos instrumentos de coleta de dados. Isso incluiu a ficha de metacognição desenvolvida especificamente para o propósito, um questionário inicial para identificar o conhecimento prévio dos alunos, um diário de bordo mantido pelo pesquisador, registros fotográficos, vídeos e gravações dos áudios das aulas. Além disso, ao final da oficina, os alunos responderam a um questionário

final para verificar o conhecimento adquirido e avaliar a maneira como a oficina foi conduzida em relação à sua realidade.

4.3.5. Tratamento e análise das informações

A partir dos registros coletados, foi realizada uma verificação do nível cognitivo dos estudantes. As avaliações de aprendizagem foram fundamentadas em dois níveis hierárquicos de conhecimento: ordem inferior (simples e/ou superficiais) e ordem superior (complexas), bem como em indicadores de desenvolvimento cognitivo, para os alunos participantes das oficinas de 2020 e 2021. Isso posto e junto ao desenvolvimento e ao aprimoramento de estudos, foi proposta uma avaliação metacognitiva pautada por indicadores cognitivos de desempenho referente à TIT, aos alunos de 2022.

Com base nas informações obtidas por meio dos questionários inicial e final e do diário de bordo do pesquisador, realizou-se uma análise na categorização e interpretação dos dados obtidos. Foi possível identificar indicativos do impacto da metodologia na formação dos estudantes, especialmente no que diz respeito aos seus conhecimentos prévios, motivação para aprender, autonomia, trabalho em equipe, criticidade e capacidade de resolver problemas com base em princípios científicos alinhados com sua realidade. Essa análise proporcionou uma compreensão mais profunda dos efeitos da metodologia utilizada, destacando suas contribuições para o desenvolvimento acadêmico e pessoal dos estudantes em diversos aspectos relevantes para a sua formação.

O tratamento e interpretação dos dados obtidos basearam-se na análise de conteúdo (AC), seguindo a metodologia proposta por Laurence Bardin (2016). A partir da sistematização de Bardin (2016), os dados foram tabulados de acordo com a técnica de análise utilizada. A etapa de pré-análise iniciou-se com uma leitura flutuante dos materiais, permitindo a sistematização e organização das ideias preliminares presentes no texto. Nesse processo, os resultados foram relacionados ao referencial teórico, identificando como estavam subsidiados pelas teorias.

Durante a etapa de codificação dos questionários finais, elaboraram-se indicadores, ou seja, elementos de marcação extraídos das mensagens dos grupos.

Foram selecionados os pontos mais relevantes, tratados como unidades de registros, alinhados com os objetivos da pesquisa. A partir disso, estruturaram-se categorias prévias para classificar e organizar os dados, estas são apresentadas no **quadro 4**.

Quadro 4. Definição de categorias *a priori* das perguntas dispostas no questionário final

Questões formuladas	Categorias Iniciais
1. Com o conhecimento adquirido até agora, explique o que você entendeu sobre a importância da Quimiometria.	Importância da Quimiometria (5.1.3.1.)
2. O que você entendeu acerca dos métodos: Análise de Componentes Principais (PCA) e Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS)?	Conceitos básicos da Quimiometria (5.1.3.2)
3. Qual sua opinião a respeito do aplicativo REDGIM para análises químicas com potencial para ser utilizado em aulas práticas na Universidade?	Uso do REDGIM (5.1.3.3.)
4. Qual sua opinião a respeito do modo como as aulas foram conduzidas, incluindo o tipo de metodologia empregada e a maneira de como os experimentos foram feitos?	Condução das aulas (5.1.3.4.)
5. Na sua perspectiva, como foram as suas aprendizagens por meio da Atividade Experimental Problematicada (AEP)?	AEP (5.1.3.5.)
Ponto reformulado	Categorial final
1. Integração Quimiometria, Tecnologia e AEP	Triangulação dos eixos centrais do projeto

Fonte: elaboração própria (2023)

Após a preparação do corpus textual seguindo as orientações da AC, as etapas de exploração do material e tratamento dos resultados foram conduzidas utilizando o *software* gratuito Iramuteq®, versão 0.7 Alpha 2, e o R versão 4.1.3 (Interface de R *pour les analyses multidimensionnelles de textes et de questionnaires*), desenvolvido por Pierre Ratinaud (2009), pertencente ao Laboratório de Estudos e Pesquisa Aplicada em Ciências Sociais, do francês, *Laboratoire d'études et de Recherches Appliquées en Sciences Sociales* (LERASS) da Universidade de Toulouse, França.

O Iramuteq® foi utilizado nesta pesquisa para a produção de dados que serviram de apoio para obter metainferências relacionadas à integração dos eixos Quimiometria, conhecimentos químicos e ensino. Primeiramente, o corpus textual foi preparado, o qual consiste no conjunto de textos a ser analisado pelo software. Esse corpus foi formado a partir dos questionários iniciais e finais preenchidos pelos alunos. As informações foram organizadas em categorias e subcategorias pré-definidas,

seguindo as orientações da AC. O corpus textual obtido foi estruturado em arquivos de bloco de notas com formato .txt e codificados em unicode UTF-8.

As respostas apresentadas pelos alunos foram transcritas separadamente, no formato de um corpus textual para subsequente análise de Classificação Hierárquica Descendente (CHD), análise de similitude e nuvem de palavras pelo *software* Iramuteq[®]. Assim, a análise e discussão ocorreu conforme o processamento e agrupamento de palavras dispostas nas respostas apresentadas pelos alunos por pergunta.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão dos resultados a serem apresentados a seguir, expõe-se a **figura 24**. Serão reportados apenas os resultados experimentais relacionados à inovação tecnológica pela resina supressora de pó de minério, visto que os demais experimentos realizados visavam o planejamento das oficinas e suas validações com os alunos, com base em experimentos já estabelecidos. No âmbito educacional, serão discutidos desde os conhecimentos prévios dos estudantes até as percepções após a realização das oficinas. Os indicadores obtidos irão fornecer um caminho para a construção de um planejamento didático-experimental para o Ensino de Química.

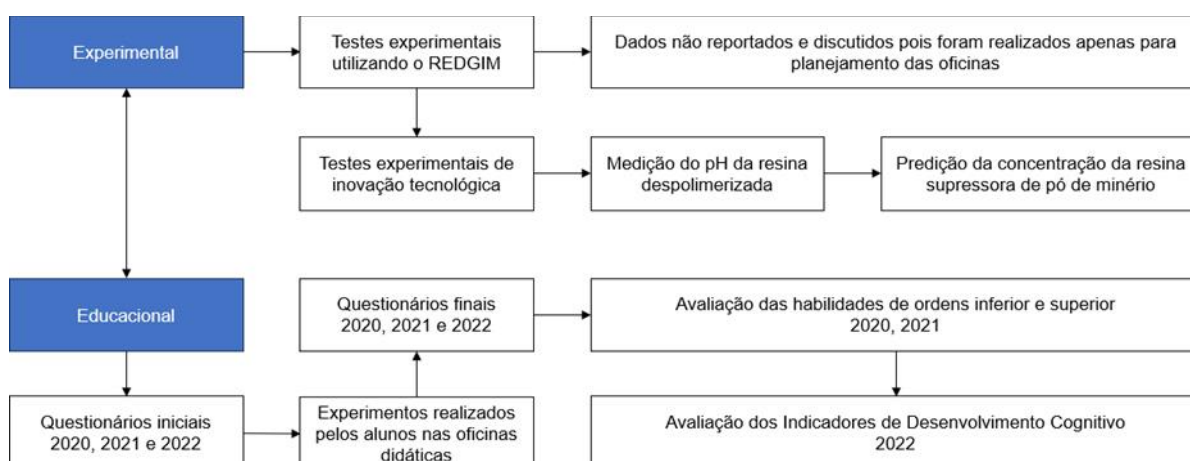


Figura 24. Processo de desenvolvimento dos resultados e discussão.

Fonte: Acervo próprio (2023).

5.1. Fase Educacional

Nessa sessão, deve-se levar em consideração que os resultados apresentados são referentes às aplicações das oficinas didáticas a partir de 2020. Vale salientar que o início do desenvolvimento do planejamento didático-experimental se deu no ano de 2019 na disciplina de PPP 2. Nessa etapa, foram dados os primeiros passos para esse trabalho, envolvendo o uso do aplicativo REDGIM®, em colaboração com uma pesquisa de Mestrado na área educacional. Essa pesquisa, conduzida por Oliveira (2020), abordou a transposição didática de processos oxidativos avançados na formação inicial de professores.

Para idealizar o planejamento, foram realizadas adaptações na estratégia metodológica de ensino utilizada. A literatura conta com diversos estudos que empregaram a AEP, entretanto, esses na maioria das vezes, se faz por meio de planos de aula ou sequências didáticas realizadas em um único conjunto de alunos, não mostrando a sua replicabilidade em anos posteriores com diferentes públicos acerca da mesma temática trabalhada ou somente com aplicações presenciais.

O estudo desta pesquisa detalha os resultados dos testes realizados nos anos de 2020 e 2021, destacando a viabilidade da aplicação remota da AEP. Ele analisa as habilidades adquiridas pelos alunos, evoluindo na abordagem adotada para o grupo de 2022. Nesse último ano de aplicação, procurou-se validar alguns experimentos e avaliar a metacognição em uma sequência de plano de ensino, envolvendo uma turma de licenciandos. Nessa instância, a metodologia aplicada foi se complementando com os ideais da disciplina trabalhada, gradualmente incorporando os momentos da AEP, englobando abordagens educacionais e experimentais. Logo, conseguiu-se ampliar a aplicação da AEP viabilizando sua incorporação na estruturação de planejamento ao decorrer do semestre com caráter didático-experimental.

Em um panorama mais amplo, a aplicação das oficinas didáticas nas turmas de graduação em Química (Licenciatura e Bacharelado) da UFES – *campus* Goiabeiras, permitiu o contato dos alunos com novas tecnologias (uso do aplicativo e os métodos de análise), o processo de ensino sendo conduzido por uma estratégia teórico-metodológica para a mediação dos conteúdos (AEP) e conhecimentos técnicos na área da química (aquisição de dados por imagens digitais, Quimiometria e entre outros). Desse modo, as oportunidades vivenciadas pelos alunos possibilitaram promover uma aprendizagem assimilando a teoria com a prática diante de situações reais, por meio de questionamentos, investigações e na busca de soluções de problemas, principalmente no contexto de ensino remoto durante a pandemia.

Desde a etapa da primeira aplicação até a última, alguns aspectos como as abordagens utilizadas e procedimentos de execução das oficinas, foram ajustadas ao longo das aulas conforme já comentado anteriormente. Em acordo com esse processo, pode-se dizer que as duas primeiras aplicações (2019 e 2020) com o REDGIM®, se adequam como uma validação *a priori* do desenvolvimento do planejamento didático-experimental. Esse contexto se destaca, uma vez que a

realização das oficinas teve como propósito principal posicionar o aplicativo como um suporte pedagógico para explorar o uso de tecnologias educacionais. O foco era apresentar uma alternativa viável para abordar o tema da espectrofotometria na região do UV-vis, proporcionando uma prática que envolve a verificação da técnica por meio da análise de imagens.

Visto a necessidade da inserção de outros assuntos que estão envolvidos pelo uso do REDGIM®, mais aulas foram inseridas na oficina didática nas outras aplicações (2021), para abranger de maneira prática os dois tipos de análise que o aplicativo proporciona. Sendo essa etapa chamada de aplicação do planejamento desenvolvido com enfoque no Ensino de Quimiometria. Por último, para fechar a formação do desenvolvimento do planejamento didático-experimental, a oficina de 2022 foi planejada para explorar a metacognição vinculada com todas as temáticas e métodos trabalhados, unindo a teoria com a prática como um processo de validação *a posteriori* do planejamento. Além disso, foi elaborado um método para realizar uma avaliação diagnóstica das habilidades e competências com base nas situações observadas durante a oficina pelos alunos. Para essa finalidade, foi desenvolvida uma ficha que avalia, de forma metacognitiva, as três inteligências - analítica, prática e criativa. Essa abordagem visa analisar o desempenho dos alunos diante das questões abordadas na oficina, considerando esses diferentes aspectos.

Em resumo, ao longo dos três anos de aplicação das oficinas, os alunos foram incentivados a participar ativamente da troca de informações, a colaborar em equipe e a aprimorar suas abordagens na resolução de problemas de maneira prática por meio da experimentação, conforme os ideais expostos da AS e da AEP. Essa abordagem empírica envolveu a exploração de temas transversais que se interligam com os princípios da Quimiometria. Outro ponto que pode ser comentado é a capacidade de que as oficinas possibilitaram aos alunos explorarem tópicos da Química, permitindo uma visão mais abrangente por diversas perspectivas e significados inerentes a todo o processo na construção do conhecimento.

5.1.1. Análise dos questionários iniciais de uma maneira geral das oficinas

As respostas apresentadas pelos estudantes no questionário prévio permitiram o agrupamento de informações relevantes a respeito do perfil desses participantes e do contexto educacional das cinco aplicações das oficinas. Este alinhamento inicial é importante para se entender algumas características marcantes que surgiram durante o processo de aprendizagem a partir da execução das oficinas. Além disso, estas informações puderam orientar melhor a dinâmica das aulas, possibilitando ajustes e aprofundamentos em determinadas ações.

A **figura 25** expõe o Diagrama de *Sunkey* sobre as interrelações existentes entre as aplicações (2020, 2021, 2022) das oficinas didáticas e as respectivas informações sobre o curso, sexo e idade dos participantes. O lado esquerdo do diagrama se refere aos anos que aconteceram as aplicações das oficinas, que por sua vez se interrelaciona com os componentes do curso, sexo e idade dos participantes, apontados no lado direito.

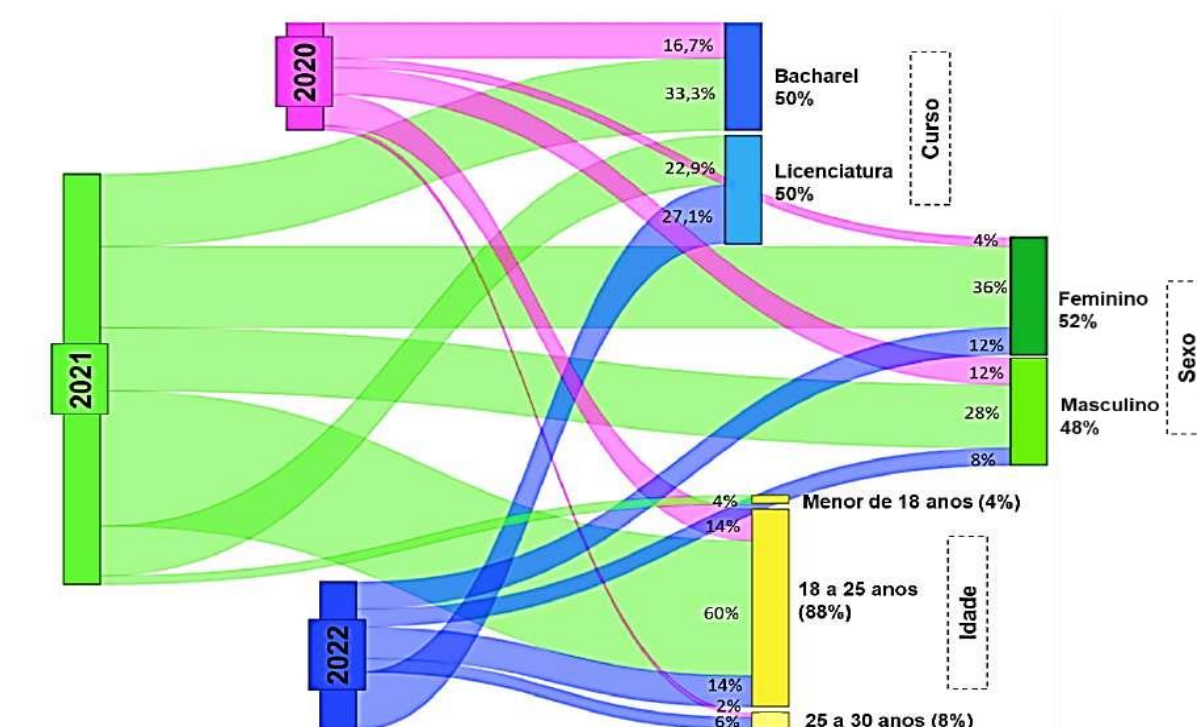


Figura 25. Diagrama de *Sunkey* das interrelações entre as aplicações (2020, 2021 e 2022) das oficinas didáticas e as respectivas informações sobre o curso, sexo e idade dos participantes.

Fonte: Acervo próprio (2023).

Na participação das oficinas ao longo dos três anos, teve-se um total de 48 alunos. Pelo diagrama, pode-se constatar que, na somatória das informações, 50% dos participantes das oficinas eram alunos do curso de Licenciatura em Química e 50% eram do Bacharelado, distribuídos em 48% do sexo masculino e 52% do sexo feminino. A maioria dos alunos continham a idade entre 18 e 25 anos (88%), sendo que as porcentagens restantes correspondiam aos participantes menores de 18 anos (4%) e com idade de 25 a 30 anos (8%).

As aplicações das oficinas didáticas aconteceram em diferentes momentos e disciplinas. A **figura 26** nos mostra a porcentagem dos alunos matriculados, que participaram da pesquisa, nas disciplinas de Química Geral I do curso de Bacharelado em Química nos anos de 2020 e 2021 (37,5%) em ICP, também do curso de Bacharelado no ano de 2021 (12,5%). Nas turmas de Licenciaturas, temos a porcentagem dos matriculados em TDEQ (22,9%) em 2021 e PPP 2 (27,1%) no ano de 2022.

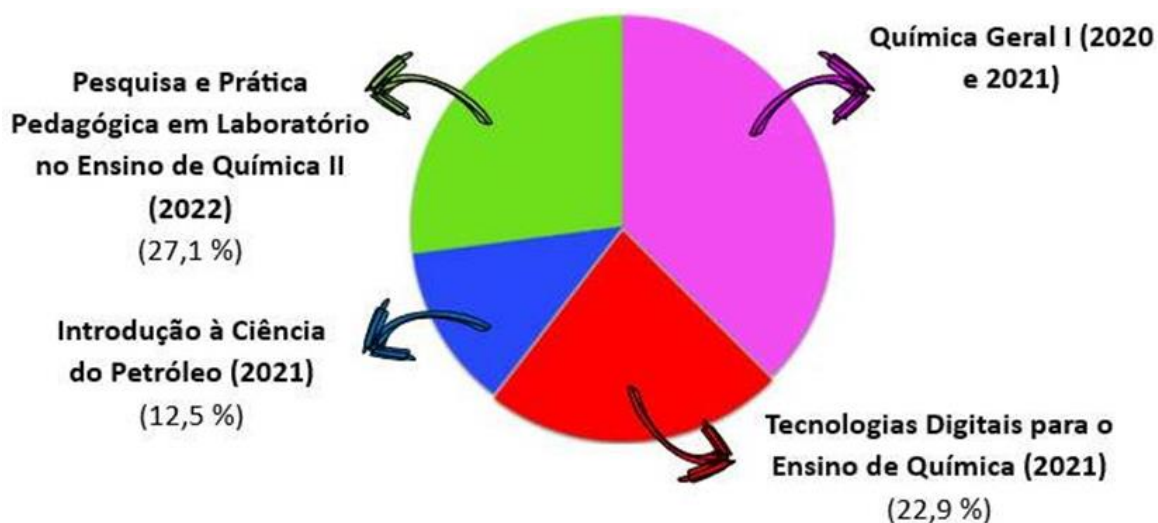


Figura 26. Disciplinas que os participantes das oficinas didáticas estavam matriculados.

Fonte: Acervo próprio (2023).

De acordo com a grade curricular dos cursos de Química da UFES, a disciplina de Química Geral I é ofertada nos cursos de Bacharelado e Licenciatura no 1º período. Em relação às disciplinas de TDEQ e PPP 2, são ofertadas para o curso de Licenciatura no 1º e 7º períodos, respectivamente. Por último, a disciplina de ICP é ofertada ao curso de Bacharelado no 6º período do curso. Portanto, por também terem alunos que estavam no início do curso, muitos destes alunos ainda não tinham tido

contato com alguns assuntos químicos referentes a parte de laboratório, instrumentação ou princípios de técnicas que são empregadas em análises químicas, por serem discutidos ao decorrer do curso. Cabe deixar em evidência que quando as oficinas foram aplicadas, os alunos participantes das disciplinas do 1º semestre do curso, ainda não tinham tido aulas práticas nos laboratórios da Universidade por estarem em ensino remoto devido a pandemia.

Neste sentido, pela análise das respostas dos questionários iniciais, estes alunos tinham pouco conhecimento prévio acerca dos conceitos mobilizados com a oficina. Apenas 20% dos participantes das oficinas aplicadas nos anos de 2020 e 2021 (alunos do primeiro período) tinham experiência em iniciação científica (IC), e um pouco mais da metade, cerca de 52,5%, demonstraram ouvir falar sobre alguns instrumentos analíticos (potenciômetro, espectrofotômetro de absorção molecular na região UV-vis, espectrômetro na região do infravermelho, espectrômetro de massas e de ressonância magnética nuclear (RMN). Ainda nesta discussão, 60% dos alunos informaram saber realizar algum tipo de cálculo simples de concentração ou diluição no preparo de solução.

Em contrapartida, os alunos que participaram da oficina em 2021 e 2022 que estavam cursando as disciplinas de ICP e PPP2, respectivamente, já estavam mais avançados no curso. Eles já tinham experiências em IC, ou já haviam tido contato com alguns conceitos químicos explorados durante a oficina, além de já terem alunos que estavam em sua segunda graduação na área. Visto isso, todos souberam informar algum instrumento de análise química e sabiam realizar cálculos que são utilizados para o preparo de soluções.

A **figura 27 (A)** ilustra a distribuição geral das experiências dos alunos em IC. Nota-se que a maioria dos alunos, 76% deles, não possuíam esta experiência ou contato com alguma pesquisa. O restante das porcentagens indicou a participação em pesquisas nas grandes áreas da química: Ensino de Química (12%); Inorgânica (4%); Orgânica (4%); Analítica (2%) e Físico - Química (2%). Adicionalmente a **figura 27 (B)** mostra que a maioria dos alunos (79,2%) estava cursando pela primeira vez a graduação, (12,5%) já tinham alguma formação complementar como curso técnico e (8,3%) já possuíam graduação e/ou pós-graduação.

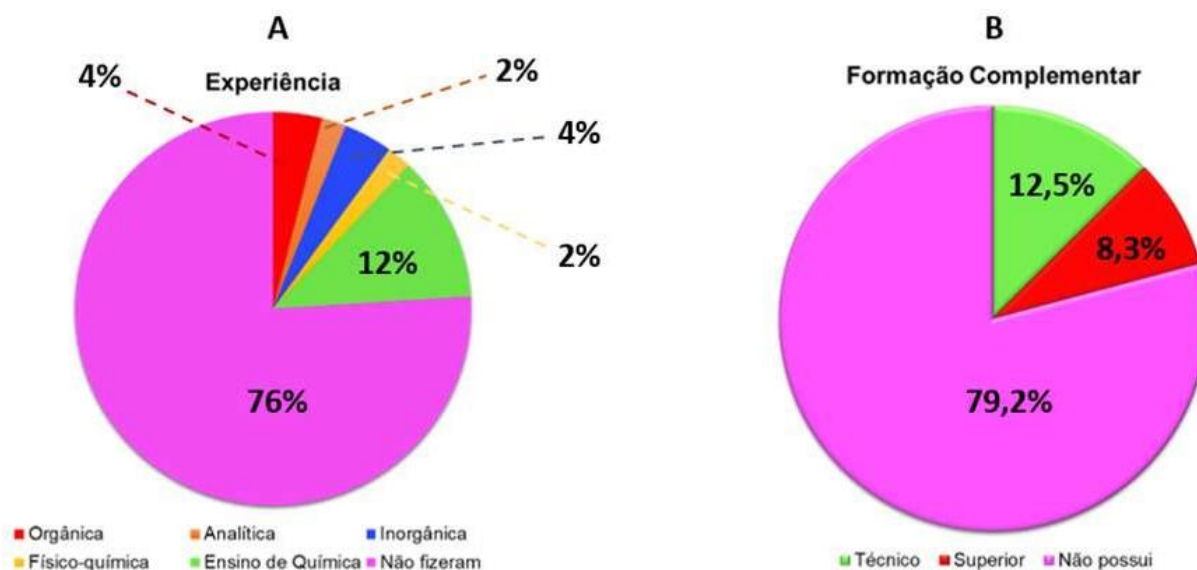


Figura 27. Percentual de participantes das oficinas (2020, 2021, 2022) que possuem (A) Experiência em IC nas grandes áreas da química; e (B) Formação acadêmica adicional.

Fonte: Acervo próprio (2023).

Nesse viés, para análise do conhecimento prévio que os alunos traziam, foi aplicado perguntas também com os temas que contemplavam a oficina como por exemplo, análises químicas, imagens digitais e quimiometria. A importância da aplicação desse questionário prévio foi para o pesquisador ter uma direção no momento da problematização pertinente a cada temática e usar a experiência dos alunos para a condução da oficina. Pivatto (2014) disserta em um panorama, que as explicações referentes aos fenômenos estudados por parte dos alunos, representam conhecimentos prévios que devem ser identificados e considerados pelos professores.

Pela temática relacionada às análises químicas, uma das questões referente ao questionário inicial, junto às respostas dos alunos, pode ser vista no **quadro 5**. Para que não haja a identificação dos alunos pelos nomes, foi colocado A₁₋₂₀₂₀, A₂₋₂₀₂₀, A₃₋₂₀₂₀ ... referente ao Aluno 1, Aluno 2, Aluno 3 e o ano de participação.

Quadro 5. Respostas do questionário inicial referente a pergunta: “Onde e como você observa as análises químicas no seu cotidiano e na sociedade?” dos alunos de 2020

A1-2020 : “O único local que tive a possibilidade de observar de perto algumas dessas análises, foi no LabPetro da UFES, mas foi algo superficial. Acredito que as análises demonstradas são de extrema importância, uma vez que o nosso cotidiano é lotado de coisas derivadas do petróleo (plástico, gasolina, colas, tintas etc...)”.

A2-2020 : “Em formas de tratar rios e solos afetados por metais pesados”.

A3-2020: “Nos desenvolvimentos tecnológicos? Só pensei nisso”.

A4-2020: “Observo no dia a dia, no caso por exemplo de um churrasco em casa, de como acontece toda aquela queima do carvão, todo aquele processo que necessita do gás oxigênio para se alimentar”.

A5-2020: “Na hora de cozinhar com a queima do gás de cozinha, na ferrugem que é a oxidação do metal, na nossa respiração, no motor dos carros, nas estações de tratamento de água e esgoto”.

A6-2020: “Análises químicas laboratoriais envolvendo: Composição química de alimentos, do solo e de água”.

A7-2020: “Acho que tudo um pouco de química, então para onde a gente olha dá pra ver a química acontecer desde uma água que colocamos para ferver até um produto de pele por exemplo”.

A8-2020: “Não sei”.

Fonte: elaboração própria (2020) – respostas dos alunos.

Ao avaliar os conhecimentos prévios dos alunos, observou-se que alguns (incluindo também os do 1º período em 2021 que participaram da oficina), a respeito das respostas dadas, confundiram o termo de análise química com as abordagens de transformações químicas e físicas das substâncias ou não souberam expressar a opinião. Isso pode ser visualizado na nuvem de palavras feita com essas respostas, no qual um dos termos que mais se destaca é o “*Não sei*” (**figura 28**).

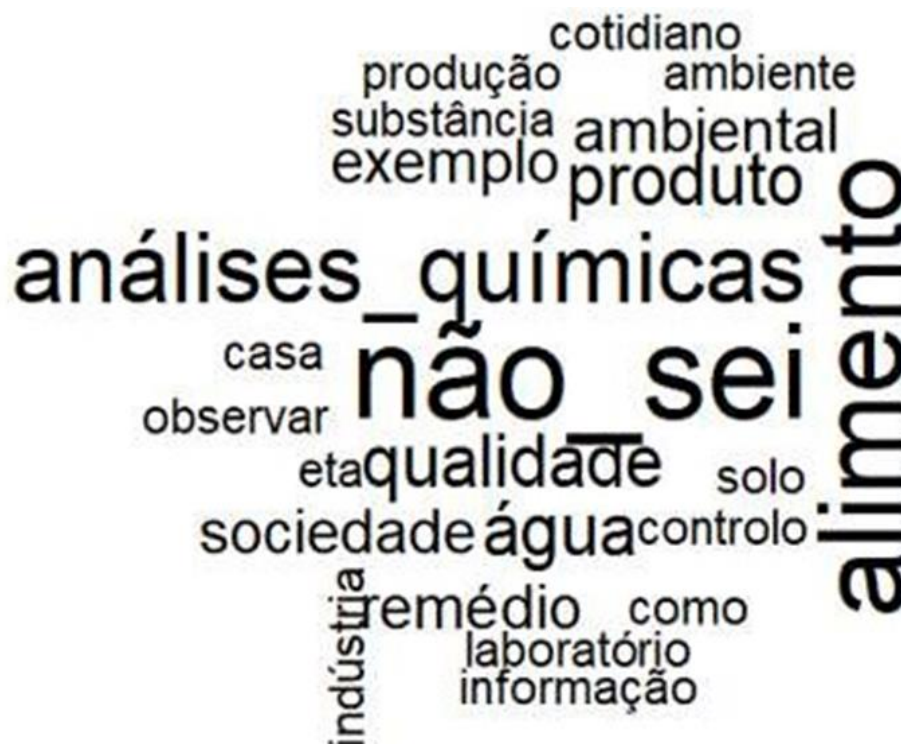


Figura 28. Nuvem de palavras sobre as respostas dos alunos em relação a perguntas: “Onde e como você observa as análises químicas no seu cotidiano e na sociedade?”

Fonte: Acervo próprio (2023) – dados da pesquisa

Esses dados obtidos, antes do início da mediação das aulas na etapa de discussão prévia e organização do conhecimento, se deu justamente para poder analisar alguns conceitos que os discentes já traziam consigo. O intuito dessa etapa foi justamente poder ver em quais pontos e assuntos da oficina deveriam ser mais aprofundados, para que os conteúdos fossem organizados de maneira a fazer sentido ao aluno.

Ao longo de nossa jornada, adquirimos experiências por meio das vivências cotidianas, que nos moldam como cidadãos. Neste caso, cada indivíduo leva consigo de modo único uma série de fatores como: relacionamento social, econômico, pessoal, visões diferentes do mundo e do cotidiano. Juntamente a todos esses fatores, o conhecimento prévio que vem sendo adquirido a cada instante nessa gama de situações, faz com que a pessoa relacione essas estruturas com o novo conhecimento adquirido para se tornar significativo (Boso *et al.*, 2010). Então a visão que os alunos tiveram a respeito de análises químicas até a aplicação do projeto, foi em torno do conhecimento que eles estruturaram ao longo de seu percurso escolar.

Neste questionário inicial também tiveram algumas perguntas específicas para identificar as concepções prévias dos alunos sobre os conceitos relacionados à Quimiometria. Dentre as respostas, mais de 80% dos alunos destacaram que não sabiam nada a respeito ou nunca ouviram falar, porém, uma resposta chamou atenção, como por exemplo, a do aluno A₁₄₋₂₀₂₁ no qual afirmou que:

“A Quimiometria utiliza informações matemáticas para interpretar dados químicos, desde avaliações quantitativas ou até mesmo qualitativas. Existem vários métodos quimiométricos (supervisionados ou não supervisionados) que devem ser utilizados de acordo com o objetivo da análise, como por exemplo PCA, PLS-DA, HCA, dentre outros.”

Esta afirmativa demonstrou que, por um lado, o aluno conhece o principal propósito da Quimiometria, que é a área que desenvolve métodos apropriados para lidar com a extensa quantidade de informações digitais advindos das análises (voltamogramas, cromatogramas, espectros etc.) de cada amostras (objeto) (Ferreira, 2022). Portanto, pode-se levar em consideração que provavelmente esse aluno já deve ter tido contato com a área relacionada a esse assunto.

Por outra visão, tiveram alunos que citaram exemplos das aplicações dessa grande área. A Quimiometria abrange o campo de reconhecimento de padrões, que possui como funcionalidades detectar falhas em processos industriais, determinar a origem ou qualidade de produtos industrializados, identificar metabólitos marcadores na medicina, dentre outros (Ferreira, 2022). Como exemplo, o aluno A₉₋₂₀₂₂ que explicou que :

“A Quimiometria tem aplicação vasta em análises químicas. Podem ser usadas para identificar ou prever adulterações em alimentos, combustíveis, drogas, medicamentos, entre outros. Além disso, também pode ser usado como diagnóstico de triagem para identificação de diferentes doenças, tais como câncer ou também para COVID-19.”

No questionário, havia uma pergunta que questionava aos participantes o seguinte: *“Como podemos fazer o uso de imagens digitais na Química?”*. Em relação ao uso de imagens digitais como ferramenta de ensino, alguns alunos defenderam que as imagens digitais auxiliam na compreensão dos conceitos que são explicados no Ensino de Química, ou visualizados pelos experimentos, ou situações, a fim de

deixar a química menos abstrata. Porém, destaca-se aqui a resposta de um aluno do primeiro período que trouxe o seu argumento voltado para o uso de reagentes:

A5-2020: "... substituindo a necessidade de usar substâncias em todas as análises feitas".

Essa fala vai de encontro com uma das vertentes da química verde e que pode influenciar pelo uso de análise por imagens digitais, que propicia o menor consumo de reagentes químicos (Pagno *et al.*, 2017; Damasceno *et al.*, 2015).

Já em relação ao reconhecimento de padrões e regressão PLS, tiveram alunos que explicaram que as imagens digitais podem ser empregadas para o reconhecimento de padrões ou regressão, por meio de suas propriedades. Para a relevância das imagens para desenvolvimento da química, outros alunos não souberam informar sobre as aplicações das imagens digitais, contudo, destacaram a relevância delas para o avanço e desenvolvimento da química, mas tiveram também alunos que não responderam nada.

Como processo de um pesquisador em formação e ainda trabalhando com alunos no início da formação acadêmica, é relevante procurar saber a respeito da familiarização deles com os conteúdos abordados na Química e as temáticas que se conversam ao longo do curso e que são utilizadas em outras disciplinas. Refletindo sobre isso, o educador que incorpora essa abordagem de construir uma conexão com a forma como os alunos constroem e estruturam o conhecimento, cria um ambiente que estimula a geração de reflexões, debates e questionamentos na sala de aula. Essa dinâmica contribui para a abertura à troca de informações, demonstrando, desse modo, a flexibilidade tanto por parte do professor quanto por parte dos alunos. (Schein; Coelho, 2006).

Com base nas discussões anteriores, foi possível estabelecer condições apropriadas para um melhor direcionamento das próximas etapas da oficina. O conhecimento prévio do aluno pode ser utilizado como ponte para conduzir as próximas atividades didáticas e tornar a aprendizagem mais significativa.

5.1.2. Análise de experimentos realizados por estudantes durante oficinas didáticas

Nesse tópico apresenta-se os resultados dos experimentos realizados diante das diretrizes propostas pelos alunos nas oficinas. Em primeira instância nos resultados obtidos na oficina de 2020, somente foi abordado o método de regressão PLS. Nas oficinas de 2021, primeiramente serão mostrados os resultados realizados pelo método de PCA e depois serão mostrados os resultados dos experimentos desenvolvidos pelos alunos da regressão PLS. Por último, na oficina de 2022, serão mostrados alguns experimentos que os alunos realizaram por ambos os métodos.

5.1.2.1. Oficina de 2020

Após a coleta dos dados do questionário inicial, foram estruturadas as aulas da oficina com questões orientadores para cada tema abordado. Diante disso, no primeiro momento da etapa de discussão prévia foi apresentada a problemática no contexto dos alunos de Química: *“Como é possível utilizar recursos tecnológicos do cotidiano em análises químicas distantes do laboratório para a resolução de problemas específicos?”*. Esse problema proposto foi escolhido pois no momento da aplicação da oficina, os alunos tiveram as aulas práticas comprometidas devido ao isolamento social ocasionado pela pandemia. Um dos objetivos da utilização de problemas é auxiliar na construção do conhecimento científico de modo que incentive o aluno a participar ativamente do seu processo de aprendizagem, envolvendo processos de reflexão e incentivando seu raciocínio crítico (Mori; Cunha, 2020).

Na apresentação do tema, perguntas como *“o que são análises Químicas?”*; *“como posso encontrá-las no espaço do cotidiano e para que serve?”* foram levantadas para poder ajustar uma construção de uma linha de raciocínio e corrigir alguns conceitos errados que os alunos mostraram ter no questionário prévio. A intenção das perguntas dialogadas feita junto aos alunos, tem o intuito de mostrar que o assunto estudado, pode ser assimilado com o seu cotidiano e sua futura profissão.

Na visão Freiriana, para que aconteça a assimilação do novo assunto como contexto de alfabetização científica, é necessário que cada indivíduo participante do momento da mediação do conteúdo, seja ambientado em um problema envolvendo

uma conjectura na qual ele esteja inserido. Essa concepção da premissa da contextualização, parte do princípio de refletir e investigar a realidade onde estão imersos. Isso repercute na promoção de um melhor entendimento das ideias para tomada de decisões e no aprimoramento do senso de argumentação no desenvolvimento de ideias por diferentes olhares e aspectos (Aires; Lambach, 2010).

Ainda na etapa de organização do conhecimento, um dos assuntos discutidos foi o preparo de soluções aquosas e os cálculos envolvidos. Essa temática foi abordada na oficina devido aos alunos estarem no primeiro semestre do curso fazendo a disciplina de Química Geral I, tópico esse que já se encontra na ementa da disciplina prática. Para um maior significado relativo ao conhecimento que lhes estava sendo apresentado, nesse momento abordou-se a respeito de técnicas analíticas que se utilizam de soluções aquosas para fazer análises, com um enfoque maior na técnica de espectrofotometria na região do UV-vis. Como as aulas da oficina se passaram no período do ensino remoto adotado pela Universidade, foi apresentado aos alunos no segundo encontro, à técnica de análise por imagens digitais utilizando *smartphones* como uma alternativa para a espectrofotometria.

Nessa etapa, o principal objetivo foi mostrar aos alunos que existem alternativas que possam ser utilizadas para a realização de análises colorimétricas e substituídas na ausência de equipamentos. Outro fator também apresentado como vantagem da alternativa é que existem disponíveis aplicativos de smartphones que fazem o tratamento dos dados recolhidos sem precisar de outros softwares e de maneira gratuita.

No último momento de organização do conhecimento endossada pela AEP, de uma maneira simples e sutil, foi exposto aos alunos a respeito de como são realizadas análises químicas utilizando imagens digitais, conceitos sobre o sistema RGB, sua leitura por dispositivos técnicos analíticos e diversas aplicações em diferentes áreas. Outro olhar apresentado nessa etapa, foi sobre o tratamento dos dados obtidos realizados por métodos quimiométricos, apresentando os principais conceitos acerca dos campos de pesquisa, a teoria da regressão PLS e como preparar uma curva analítica para gerar um bom modelo de análise.

No encerramento dessa etapa, o aplicativo REDGIM® foi apresentado aos alunos, evidenciando como são feitas as análises e como são utilizados os seus

comandos. Como forma de registro para entregar aos alunos, o mediador da oficina confeccionou um vídeo explicando todos os passos das análises utilizando o aplicativo e na interpretação dos dados. Diante disso, os alunos tiveram um prazo de três semanas (etapas de organização/execução da atividade experimental e retorno de trabalho ao grupo) para desenvolver um experimento tendo como objetivo experimental: *“Compreender as análises químicas por meio de imagens digitais utilizando aplicativo de smartphone”*.

Com o objetivo de examinar essa fase, procedeu-se à triangulação da temática de análises químicas, a metodologia utilizada e o uso do aplicativo. Isso permitiu identificar a conexão entre as análises químicas realizadas e os conhecimentos da quimiometria, bem como o progresso pessoal dos estudantes, tanto individualmente quanto em conjunto, a partir do uso de tecnologias digitais atreladas à metodologia AEP.

Os estudantes foram orientados a se dividir em dois grupos e elaboraram um experimento abrangendo os temas trabalhados ao longo das aulas da oficina, colocando em prática os conhecimentos adquiridos. Sendo assim, cada grupo trouxe soluções para responder à problemática proposta por meio de experimentos, cada um com suas diretrizes metodológicas, utilizando o REDGIM® como instrumento analítico sob o olhar de investigação.

O primeiro grupo apresentou seus resultados evidenciando as diluições, a autenticidade e a efetividade do aplicativo para a previsão de concentrações de soluções aquosas. Logo, o que eles propuseram foi a predição da concentração de soluções de KMnO_4 (permanganato de potássio) pelo aplicativo, ou seja, eles fizeram o preparo de uma curva analítica utilizando o branco, sucessivas diluições do permanganato como padrões e amostras que eles prepararam para o REDGIM® prever a concentração.

Na etapa de socialização ocorreu a apresentação dos resultados referente aos experimentos desenvolvidos. Visto isso, eles deram início às diretrizes metodológicas utilizando os seguintes materiais: comprimidos de KMnO_4 97%, 8 garrafas de plástico de 500 mL, copo medidor culinário, água e garrafa PET de 2 litros. O próprio grupo delineou o procedimento construído sem o auxílio de um roteiro pré-estabelecido, ou seja, as concentrações, os materiais utilizados e os pontos trabalhados na curva

analítica foram escolhidos por eles. Deixando claro também que os comprimidos de KMnO_4 para a realização das análises, foram adquiridos em farmácias pelos alunos.

Para o preparo das soluções, o grupo dissolveu 200 mg de KMnO_4 97% em 1 litro de água e em seguida, foi realizado os cálculos para o preparo das outras diluições. Os cálculos para a elaboração da curva analítica foram conduzidos conforme a **equação 5**, e as concentrações associadas a cada ponto dessa curva, juntamente com os procedimentos de preparação, estão detalhadas no **quadro 6**. Adicionalmente, na **figura 29**, são apresentadas as soluções componentes destinadas à análise.

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2 \quad (5)$$

Onde:

M_1 - Molaridade inicial

V_1 - Volume inicial

M_2 - Molaridade final

V_2 - Volume final

Quadro 6. Valores referentes a cada ponto da curva analítica preparada por diluição e as amostras que os alunos fizeram para confirmar com o REDGIM®

Concentração molar da solução estoque utilizando 200 mg de KMnO_4 (97%) em 1 litro de água: **$1,26 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$**

- 1º ponto padrão da curva : 400 mL da solução estoque + 100 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $1,008 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$);
- 2º ponto padrão da curva : 300 mL da solução estoque + 200 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $7,56 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$);
- 3º ponto padrão da curva : 200 mL da solução estoque + 300 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $5,04 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$);
- 4º ponto padrão da curva : 100 mL da solução estoque + 400 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $2,52 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$);
- 5º ponto padrão da curva : 50 mL da solução estoque + 450 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $1,26 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$);

As duas amostras a serem analisadas, que eles prepararam para confirmar com o aplicativo, foram feitas da seguinte maneira:

- **Amostra 1:** 350 mL da solução estoque + 150 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $8,82 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$);
- **Amostra 2:** 250 mL da solução estoque + 250 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $6,3 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$);

Fonte: Dado obtido pelos alunos (2020)



Figura 29: Foto das soluções de KMnO_4 da curva analítica preparada pelos alunos do grupo 1.

Fonte: Obtido pelos alunos (2020).

Em segmento pelas análises, o grupo tirou uma foto das soluções e ajustaram o tamanho do ROI nas configurações iniciar as análises com o REDGIM®, separando cada função dos pontos da curva no aplicativo: branco, pontos de calibração (padrões) e as amostras de predição para testar a eficiência do modelo planejado. Após inseridos os dados no aplicativo, os alunos otimizaram o número de VL, na etapa de validação cruzada, escolhendo o que apresentou o menor valor de RMSECV para dar continuidade a análise utilizando o método de regressão PLS. Como pode ser visto, o eixo x do gráfico da **figura 30** é concernente ao número de VL e o eixo y é correspondente ao RMSECV. Durante a apresentação na etapa de socialização, o

grupo justificou que foi escolhido VL=4, por apresentar o menor erro médio de validação cruzada, tendo o valor de 0,00000.

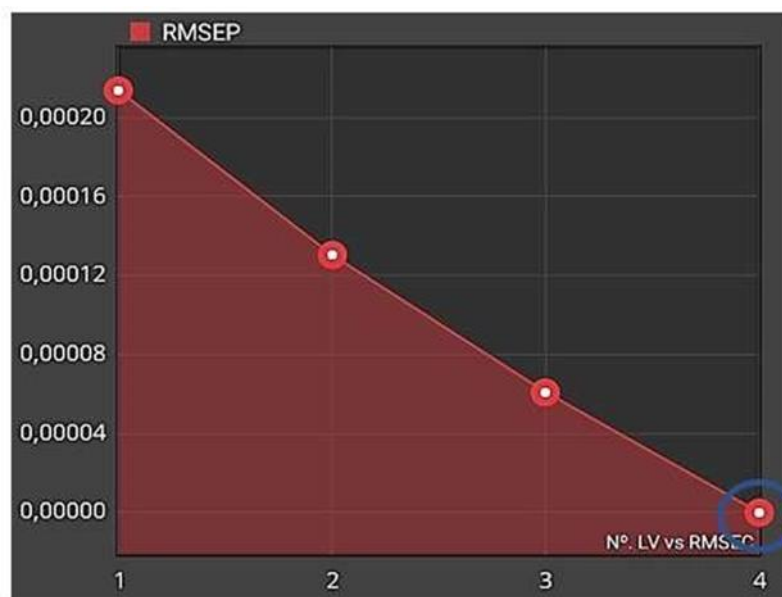


Figura 30. Otimização da escolha do número de variáveis latentes por validação cruzada por meio do método *leave-one-out*.

Fonte: Obtido pelos alunos (2020).

Em seguida, foi gerada a reta da curva analítica objetivando os valores previstos das amostras pelo aplicativo como mostrado na **figura 31**, tendo como valores previstos $0,001 \text{ mol.L}^{-1}$ para ambas as amostras. Como pode ser visto, os alunos mostraram durante a apresentação que os valores previstos pelo aplicativo, não condizem com os valores esperados por eles. Dessa forma foi possível notar que os resultados das amostras foram diferentes, pois o valor esperado da amostra 1 seria algo próximo ou igual a $8,82 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$ e para a amostra 2 seria uma concentração de $6,3 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$, gerando um coeficiente de correlação igual a 1, o SEC igual a $6,41 \times 10^{-18}$, erro relativo e RMSEP iguais a zero.



Figura 31. Reta de regressão linear gerada pelo aplicativo, mostrando valores reais versus valores previstos e evidenciando a previsão da concentração de duas amostras, junto aos parâmetros de desempenho do modelo.

Fonte: Obtido pelos alunos (2020).

Então na etapa de socialização, eles relataram a respeito de como foi o momento do retorno ao grupo de trabalho e puderam expor suas ideias a respeito da investigação de todo o processo realizado. Esse momento destaca a relação citada no início da discussão dessa etapa do trabalho em equipe e da troca de experiências, pois eles, em conjunto, levantaram hipóteses dos principais motivos da diferença dos resultados esperados e os obtidos pelo aplicativo.

O grupo mostrou que o erro pode ter vindo dos valores escolhidos para a construção da curva analítica serem muito próximos, e que com isso, o aplicativo acabaria arredondando os valores das concentrações das amostras. Também foi levantada a questão sobre a coloração das soluções de um ponto da curva para o outro estarem muito fortes, não havendo assim alteração significativa de mudança na tonalidade, o que pode ter acarretado como possível interferência para o aplicativo. Por último, os alunos mostraram como argumento diante da “falha” dos resultados, a escolha da região de interesse mal localizada na foto, tendo como interferência a luminosidade em excesso ou regiões de sombra para análise. O ponto relacionado com o retorno ao grupo de trabalho e a discussão efetiva entre os integrantes do grupo é de suma importância, pois é com a troca de informações acerca dos resultados adquiridos diante das diretrizes metodológicas propostas, que é retificada uma

estruturação dos argumentos. Isso é de grande valia, porque pode-se avaliar com mais cautela cada informação envolvida.

No contexto da experimentação, os alunos têm a oportunidade de expor e fundamentar seus argumentos, examinando os dados e chegando a uma conclusão coerente. Ao vivenciar uma proposta de investigação, o aluno tem a oportunidade de explorar diversas possibilidades e abordar hipóteses, colocando-as em prática e participando de discussões colaborativas. Isso permite que eles aprendam e argumentem sobre tópicos relacionados às diretrizes propostas e aos resultados, desenvolvendo sua cognição e autonomia (Suart; Marcondes, 2008).

Após analisar os resultados, o grupo procedeu à troca e avaliação das informações obtidas, resultando na reorganização e modificação de algumas etapas do procedimento de forma investigativa, permitindo identificar as possíveis fontes de erro. Como resultado, na segunda tentativa, os alunos decidiram reduzir as concentrações e intensidades das colorações dos pontos da curva, alterando a quantidade de massa utilizada. Com o objetivo de evitar os arredondamentos nos valores de cada ponto da curva analítica, os alunos optaram por colocar os dados no aplicativo com as concentrações sem as casas decimais, inserindo apenas os valores inteiros. Em consonância com essas alterações, o grupo preparou as soluções conforme indicado no **quadro 7**.

Quadro 7. Valores das concentrações de cada ponto da curva analítica e amostras obtidas na segunda tentativa para usar com o REDGIM®

Concentração molar da solução estoque utilizando 200 mg de KMnO_4 (97%) em 1 litro de água:
 $6,33 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$

- 1º ponto padrão da curva → 400 mL da solução estoque + 100 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $50,64 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$);
- 2º ponto padrão da curva → 300 mL da solução estoque + 200 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $37,98 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$);
- 3º ponto padrão da curva → 200 mL da solução estoque + 300 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $25,32 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$);
- 4º ponto padrão da curva → 100 mL da solução estoque + 400 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $12,66 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$);
- 5º ponto padrão da curva → 50 mL da solução estoque + 450 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $6,33 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$);

As duas amostras a serem analisadas, que eles prepararam para confirmar com o aplicativo, foram feitas da seguinte maneira:

- **Amostra 1:** 350 mL da solução estoque + 150 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $44,31 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$);
- **Amostra 2:** 250 mL da solução estoque + 250 mL de água = volume final de 500 mL (concentração molar de $31,65 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$);

Fonte: obtido pelos alunos (2020)

Depois dos cálculos de cada ponto da curva serem realizados e avaliados, foram preparadas as soluções e as consequentes diluições. Em seguida, uma fotografia das soluções foi tomada (**figura 32**) para analisar no aplicativo.



Figura 32. Foto das soluções de KMnO_4 (curva analítica) preparadas para a segunda tentativa.

Fonte: Obtido pelos alunos (2020).

Os alunos inseriram os dados no REDGIM® em seus respectivos pontos e definiram as regiões de interesse para posterior análise e otimização do processo, para a seleção das VLs (**figura 33**). Assim, o grupo selecionou 4 variáveis latentes, considerando que apresentava o menor erro de RMSECV no eixo y, aproximando-se de zero e, portanto, minimizando o erro. Em seguida, foi gerada a curva analítica como resultado final passível de análise (**figura 34**).



Figura 33. Otimização na escolha do número das VLs da segunda tentativa.

Fonte: Obtido pelos alunos (2020).



Figura 34. Reta de regressão linear gerada pelo aplicativo com os valores reais *versus* valores previstos, evidenciando a previsão da concentração das duas amostras junto aos parâmetros de desempenho gerados pelo modelo da segunda tentativa.

Fonte: Obtido pelos alunos (2020).

Verificando a reta gerada, pode-se observar uma aproximação entre os valores esperados e dos valores preditos pelo aplicativo. Os valores esperados das amostras eram, respectivamente, de $44,31 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ e de $31,65 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$, enquanto os valores preditos pelo REDGIM® para as amostras de teste foram de $42,02 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ e $29,926 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$. No entanto, os alunos identificaram que os resultados não foram precisos devido ao uso de materiais sem rigor volumétrico ou de medidas durante a execução do experimento, o que pode ter causado pequenas variações na concentração das soluções.

Durante o momento de socialização, na presença do mediador e professores responsáveis pela disciplina, foi possível discutir a possibilidade dos resultados obtidos na segunda tentativa terem sido influenciados pelo fato do grupo não ter inserido as casas decimais no aplicativo para evitar arredondamentos. Apesar dos resultados apresentarem uma certa tendência em relação à previsão das amostras, o aspecto a ser valorizado nesse processo foi a capacidade demonstrada pelos alunos de promover/desenvolver estratégias e metodologias ao longo do estudo. Antes do início das aulas, o grupo não tinha experiência com esse tipo de tecnologia, tampouco com a preparação e cálculos de soluções. No momento de socialização, eles conseguiram levantar pontos importantes, apresentando os possíveis erros e justificativas embasadas nas análises.

Os alunos do primeiro grupo tiveram a oportunidade de vivenciar uma experiência prática fora dos laboratórios da Universidade, mesmo que tenham realizado algumas alterações nos valores das concentrações e não tenham obtido resultados como esperados. Essa experiência foi possível graças ao uso do aplicativo, que é um *software* de fácil acesso, de baixo custo, rápida obtenção de dados e fácil análise, sendo como possível alternativa para suprir a falta de instrumentos de laboratório. Os resultados obtidos, tanto na primeira tentativa quanto na segunda, foram apresentados perante o outro grupo de alunos e os professores presentes. Como forma de registro, os alunos apresentaram suas experiências no formato de slides.

Bizzo (1998) *apud* Silva; Moura (2018, p. 32), destaca, no aspecto cognitivo e pedagógico, que tentar apontar os motivos pelos quais os resultados deram diferentes do esperado, é de maior valor do que alcançar o resultado já conhecido. Segundo o autor, quando o próprio aluno identifica algo inesperado, isso demonstra sua compreensão dos objetivos iniciais do projeto e a sua capacidade de articular suas observações com seu conhecimento prévio.

Nesse contexto, as experiências e vivências do aluno ganham significado, pois são utilizadas a seu favor. Portanto, o que pode ser considerado um “erro” em termos gerais não deve ser simplesmente descartado, mas sim encarado como um subsídio para promover reflexão, questionamento e oportunidades de aprendizagem. Consequentemente, os erros em atividades experimentais devem ser considerados na formação do conhecimento e na interpretação dos fenômenos científicos aos quais os alunos estão expostos. Essa abordagem reconhece a importância do erro como parte do processo de aprendizagem, incentivando os alunos a refletirem para uma melhor compreensão dos conceitos estudados. Ao invés de serem vistos como falhas, os erros são percebidos como oportunidades de crescimento e descoberta. Essa perspectiva valoriza a construção ativa do conhecimento e promove um ambiente de aprendizagem enriquecedor (Silva; Moura, 2018).

No que diz respeito ao segundo grupo, os estudantes também abordaram a elaboração de uma curva analítica para a previsão de amostras de teste, relacionadas a diferentes colorações de soluções de suco em pó, nos sabores de goiaba e pêssego. Para a preparação das soluções, eles empregaram instrumentos como um copo

medidor de cozinha, copos de vidro para os recipientes, copo de liquidificador para marcar as medidas, água e pacotes de suco em pó artificial (**figura 35**).



Figura 35. Alguns materiais utilizados para o preparo das soluções.

Fonte: Obtido pelos alunos (2020).

Os alunos determinaram os valores para cada ponto da curva analítica segundo o procedimento apresentado no **quadro 8**. Em seguida, eles montaram a curva para tirar as fotos (**figura 36**) das soluções e dar continuidade às análises utilizando o aplicativo.

Quadro 8. Valores referentes a cada ponto da curva analítica preparada por diluição e as amostras de suco para confirmar a concentração com o aplicativo REDGIM® (suco em pó de goiaba)

Concentração comum da solução estoque utilizando 25 gramas do suco artificial em pó em 1 litro de água: **25 g.L⁻¹**

- 1º ponto padrão da curva → 50 mL da solução estoque + 250 mL de água = volume final de 300 mL (concentração comum de 4,17 g.L⁻¹);

- 2º ponto padrão da curva → 100 mL da solução estoque + 200 mL de água = volume final de 300 mL (concentração comum de 8,33 g.L⁻¹);

- 3º ponto padrão da curva → 150 mL da solução estoque + 150 mL de água = volume final de 300 mL (concentração comum de 12,5 g.L⁻¹);

4º ponto padrão da curva → 200 mL da solução estoque + 100 mL de água = volume final de 300 mL (concentração comum de 16,7 g.L⁻¹);

5º ponto padrão da curva → 250 mL da solução estoque + 50 mL de água = volume final de 300 mL

(concentração comum de $20,8 \text{ g.L}^{-1}$);

As duas amostras a serem analisadas, que eles prepararam para confirmar com o aplicativo, foram feitas da seguinte maneira:

- **Amostra 1:** 80 mL da solução estoque + 220 mL de água = volume final de 300 mL (concentração comum de $6,67 \text{ g.L}^{-1}$);
- **Amostra 2:** 125 mL da solução estoque + 175 mL de água = volume final de 300 mL (concentração comum de $10,42 \text{ g.L}^{-1}$);

Fonte: obtido pelos alunos (2020).



Figura 36. Foto das soluções de suco artificial em pó de goiaba, (curva analítica), preparadas.

Fonte: Obtido pelos alunos (2020).

Após a preparação das soluções, o grupo direcionou sua atenção para a identificação das melhores regiões de interesse a serem analisadas, e posicionou os pontos correspondentes a cada etapa da curva analítica: branco, padrões e amostras para predição. Em seguida, durante a otimização dos dados, a equipe considerou a escolha do número de VL para o melhor agrupamento das variáveis envolvidas no processo. O grupo justificou a escolha de $VL=4$, pois esse foi o ponto no qual o RMSECV se aproximou de zero, visando minimizar os possíveis erros de previsão. Por último, o aplicativo gerou a curva analítica junto aos valores de previsão das amostras e as características de desempenho do modelo construído pelos alunos (figura 37).



Figura 37. Reta de regressão linear gerada pelo aplicativo com os valores reais *versus* valores previstos, evidenciando a previsão da concentração das duas amostras junto aos parâmetros de desempenho gerados pelo segundo grupo.

Fonte: Obtido pelos alunos (2020).

Diante dos resultados vistos pela reta obtida, as amostras previstas pelo aplicativo não coincidiram com os valores esperados pelos integrantes do grupo. Eles esperavam as soluções nas concentrações de $6,67 \text{ g.L}^{-1}$ e $10,42 \text{ g.L}^{-1}$, respectivamente, e obtiveram resultados de $12,954 \text{ g.L}^{-1}$ e $13,1 \text{ g.L}^{-1}$. Nesse processo, principalmente expresso pelas diretrizes e concernências da AEP, os alunos elencaram algumas possíveis justificativas para a diferença entre os resultados esperados e previstos, como: “interferência do fundo que pode alterar a leitura das regiões de interesse e influência na geração dos histogramas de RGB”; “regiões de interesse mal localizadas”; “diferença na espessura dos copos dos padrões e das amostras testes” e possíveis erros de atualização do REDGIM® (versão V1.20.2) diante o sistema operacional *Android*. Todos esses fatores foram relatados durante a apresentação dos slides, na etapa de socialização, como pode ser visto na **figura 38**.

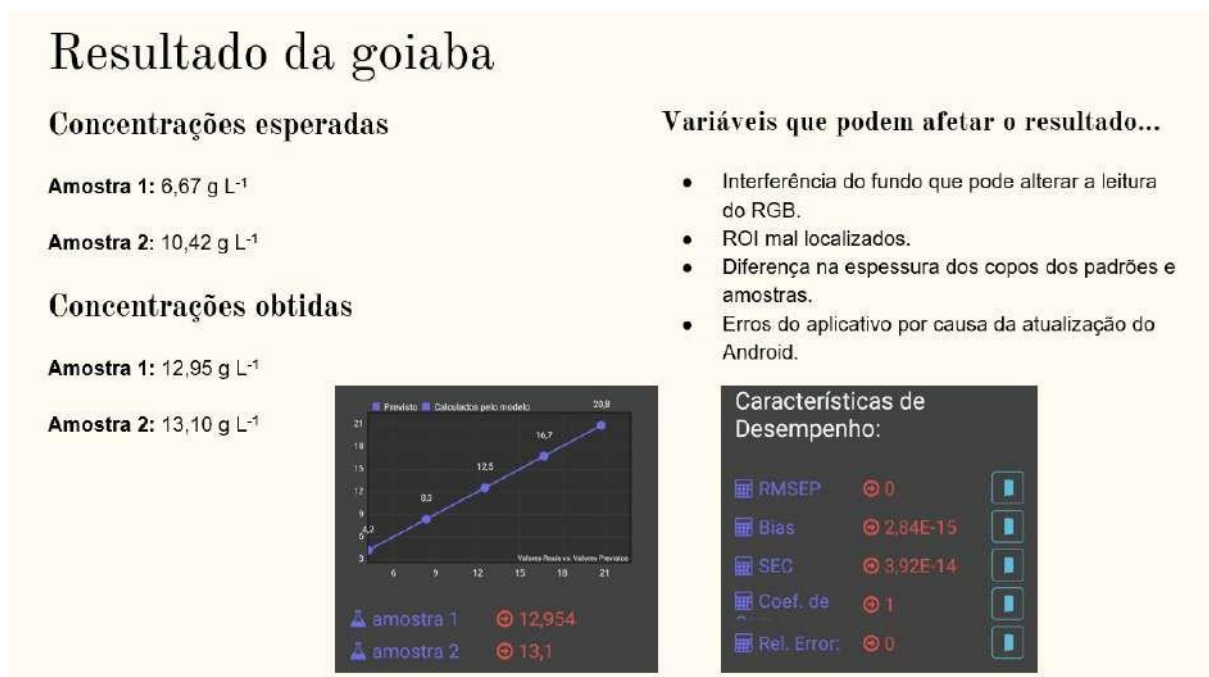


Figura 38. Slide da apresentação do segundo grupo acerca dos resultados alcançados

Fonte: Obtido pelos alunos (2020).

Mais uma vez, torna-se evidente a importância das atividades colaborativas que se alinham aos procedimentos investigativos para a resolução de problemas. Ao exercitar uma abordagem cognitivista e construtivista, valorizando o conhecimento individual e as ideologias de cada aluno durante as aulas experimentais, estimula-se a participação ativa dos alunos no processo de construção do conhecimento de forma colaborativa. Nesse contexto, o professor assume o papel de mediador, buscando a participação ativa dos alunos na abordagem de situações-problema e ampliando seu protagonismo na sala de aula. Isso contribui para o aprimoramento da capacidade de previsão de respostas, formulação e teste de hipóteses, além de promover debates embasados por argumentações sólidas, com o objetivo de estruturar e alcançar o significado dos conteúdos estudados de maneira exploratória, estabelecendo conexões entre as informações adquiridas em todos os processos formativos (Suart; Marcondes, 2009).

Nas perspectivas dos resultados obtidos, o segundo grupo também resolveu fazer outra leva de preparo de soluções, suco artificial em pó de pêssego, que apresenta coloração diferente da anterior. Os alunos prepararam a 1 litro de solução estoque na concentração de 25 g.L⁻¹ e os pontos padrões da curva analítica (**figura 39**) nas mesmas concentrações do que as soluções do suco de goiaba e com o

mesmo volume final (300 mL). Para as amostras teste com o intuito do REDGIM® prever, foram preparadas da seguinte forma: Amostra 1: $2,08 \text{ g.L}^{-1}$ (25 mL de solução estoque + 275 mL de água) e Amostra 2: $13,33 \text{ g.L}^{-1}$ (160 mL de solução estoque + 140 mL de água).



Figura 39. Foto das soluções de suco artificial de pêssago, (curva analítica), preparadas – segunda tentativa.

Fonte: Obtido pelos alunos (2020).

As regiões de interesse foram selecionadas e, em seguida, os valores de concentração relativos a cada ponto da curva foram inseridos no aplicativo. Um aspecto interessante observado no grupo 2 em comparação ao grupo 1 foi a abordagem utilizada para capturar a imagem para análise, com uma visão superior das soluções. A fim de minimizar interferências do fundo do recipiente para uma melhor análise, um papel foi colocado para reduzir as possíveis influências. Após a inserção dos dados no REDGIM®, os alunos passaram pela etapa de otimização e optaram por utilizar $VL=4$, devido à menor tendência do erro médio quadrático de calibração cruzada. Ao finalizar essa etapa, um modelo foi gerado, resultando em uma curva de regressão analítica, conforme observado na **figura 40**.



Figura 40. Reta analítica gerada pelo aplicativo com os valores reais x valores previstos, evidenciando a previsão das duas amostras e desempenho do modelo de regressão dos alunos do segundo grupo relativo ao suco de pêssego.

Fonte: obtido pelos alunos (2020).

De acordo com os valores observados, os resultados das amostras de previsão geradas pelo aplicativo não coincidiram com os valores esperados. Neste contexto, uma análise minuciosa dos possíveis fatores que puderam estar interferindo na exatidão dos resultados, foi conduzida pelo grupo. Dentre as considerações levantadas, destacam-se aspectos como "erros de atualização do sistema operacional Android do smartphone utilizado", "discrepâncias na espessura dos recipientes utilizados para os pontos padrões da curva e as amostras", bem como a "influência da luminosidade solar durante o momento da coleta de dados", considerando-se, ainda, a presença de fatores ambientais que não puderam ser plenamente controlados.

Como resultado dessa análise, foi possível inferir que tais divergências podem ser atribuídas a variáveis externas que afetaram o processo de medição e, conseqüentemente, a precisão dos resultados. No entanto, é importante ressaltar que, mesmo diante dessas adversidades, o grupo concluiu que, em virtude das circunstâncias impostas pela pandemia, é viável a realização de aulas experimentais por meio da aplicação de técnicas analíticas em espaços não tradicionais de laboratórios. Essa constatação evidencia a adaptação e resiliência do ensino, bem

como a relevância da exploração de metodologias alternativas que permitam o desenvolvimento do conhecimento científico, mesmo em contextos adversos.

Ao analisar globalmente todos os experimentos apresentados pelos dois grupos, é fundamental valorizar a essência do processo de aprendizagem vivenciado pelos alunos e a construção de conhecimento que ocorreu. Cada grupo expôs suas conclusões e ressaltou a importância das experiências vivenciadas e dos experimentos realizados para a formação acadêmica inicial. Alguns alunos compartilharam relatos sobre o contato pela primeira vez com aulas práticas ou com procedimentos realizados em laboratórios. Embora alguns estudantes já tenham concluído cursos técnicos profissionalizantes e tenham tido experiência anterior com a preparação e análise de soluções por espectrofotometria UV-vis, eles expressaram interesse e apreciação pela técnica de análise por imagem, a qual desconheciam anteriormente.

Além desses depoimentos, o momento de sintetizar as ideias revelou-se especialmente interessante, pois permitiu observar as diferentes abordagens experimentais adotadas por cada grupo, como variações de concentração, diferentes cores, diluições e utilização de massas distintas. Nessa fase de conclusão das ideias, os professores tiveram a oportunidade de evidenciar a riqueza de detalhes apresentada pelos alunos ao justificar por que certos experimentos não obtiveram sucesso. Foi observado que cada grupo levantou temáticas não abordadas pelo outro, e vice-versa. Além disso, cada grupo explorou e demonstrou o uso de diferentes unidades de concentração, como mol.L^{-1} e g.L^{-1} . Essa diversidade de abordagens enriqueceu o processo de discussão e evidenciou a variedade de perspectivas e compreensões sobre os conceitos estudados.

Diante dos resultados obtidos, é possível inferir que os alunos foram capazes de elevar suas habilidades, transitando as de ordem inferiores para as de ordem superiores, ao desenvolverem suas próprias diretrizes metodológicas utilizando da flexibilidade cognitiva. Com base nos estudos de Zoller e colaboradores (2005), os autores mostram que um dos princípios da Educação Química deve ser o desenvolvimento das capacidades dos alunos de raciocinar de maneira crítica e construir estruturas conceituais sobre as temáticas e processos da Ciência. Vale salientar que esse argumento também corrobora com os ideais de David Ausubel acerca da AS (Moreira, 2006).

5.1.2.2. Oficinas de 2021

Nesse tópico serão dispostos os resultados de alguns experimentos com suas respectivas descrições, os quais os alunos desenvolveram durante as oficinas de 2021 e realizaram a apresentação na etapa de socialização em suas turmas. Partindo do pressuposto que as aplicações foram centradas para o ensino de Quimiometria por meio do uso de imagens digitais, entende-se que a proposta viabilizou a exploração de métodos quimiométricos que o REDGIM® aborda (PCA e regressão PLS).

5.1.2.2.1. Análises pelo método comparativo no REDGIM® (PCA)

Uma das abordagens exploradas referente ao reconhecimento de padrões, com o objetivo de capacitar os alunos a criar e desenvolver metodologias de análise utilizando o aplicativo, foi a diferenciação entre notas de dinheiro com base em seu perfil. Na área da Química Forense, uma das áreas de estudo abordadas diz respeito à falsificação de cédulas de dinheiro, um problema persistente em muitos países, incluindo o nosso. Para enfrentar essa questão, uma das estratégias desenvolvidas por pesquisadores envolve a obtenção do perfil químico das cédulas ou por análise dos pigmentos e tintas utilizados, contribuindo para o processo de detecção da falsificação por meio de métodos e técnicas que exploram várias regiões do espectro, permitindo uma análise rápida e não destrutiva da amostra (Romão *et. al*, 2011; Lehmann, 2019).

Nesse contexto, um grupo de alunos que cursaram a disciplina de ICP simulou e apresentou os resultados obtidos a partir do experimento proposto por eles na diferenciação de notas falsas e verdadeiras de dinheiro utilizando o aplicativo. Inicialmente foi realizado um processo de contextualização a respeito de como ocorreu o surgimento do dinheiro, partes que compõem uma cédula de dinheiro, curiosidades sobre apreensão às notas falsas em cada região do Brasil, métodos de identificação de notas falsas e como a teoria da PCA pode auxiliar ao longo das análises.

Em seguida, o grupo afirmou que o objetivo do experimento foi a diferenciação entre notas falsas e verdadeiras (nos valores de 2, 10 e 50 reais (R\$)) utilizando o aplicativo REDGIM®. Como materiais e acessórios utilizados para a realização do experimento, os integrantes fizeram o uso de um smartphone modelo Moto G9 Plus para a captura das imagens, uma folha de papel para contabilizar como o branco no

aplicativo, quatro (4) cédulas falsas impressas a laser e quatro (4) cédulas de dinheiro autênticas dos respectivos valores citados. Na configuração do aplicativo para o tamanho do ROI, foi configurado no REDGIM® a medida 80x80 pixels.

Os alunos fizeram um planejamento antes de começarem as análises, em relação às condições de luminosidade para adquirirem as fotos, como pode ser visto na figura 41. Eles verificaram que as melhores condições para diminuir os interferentes e ruídos dos resultados obtidos das imagens, foram aquelas que utilizaram fonte de luz artificial associada a pouca luminosidade natural. A região da marca d'água foi a faixa de estudo das cédulas de onde se obteve as informações para o aplicativo.

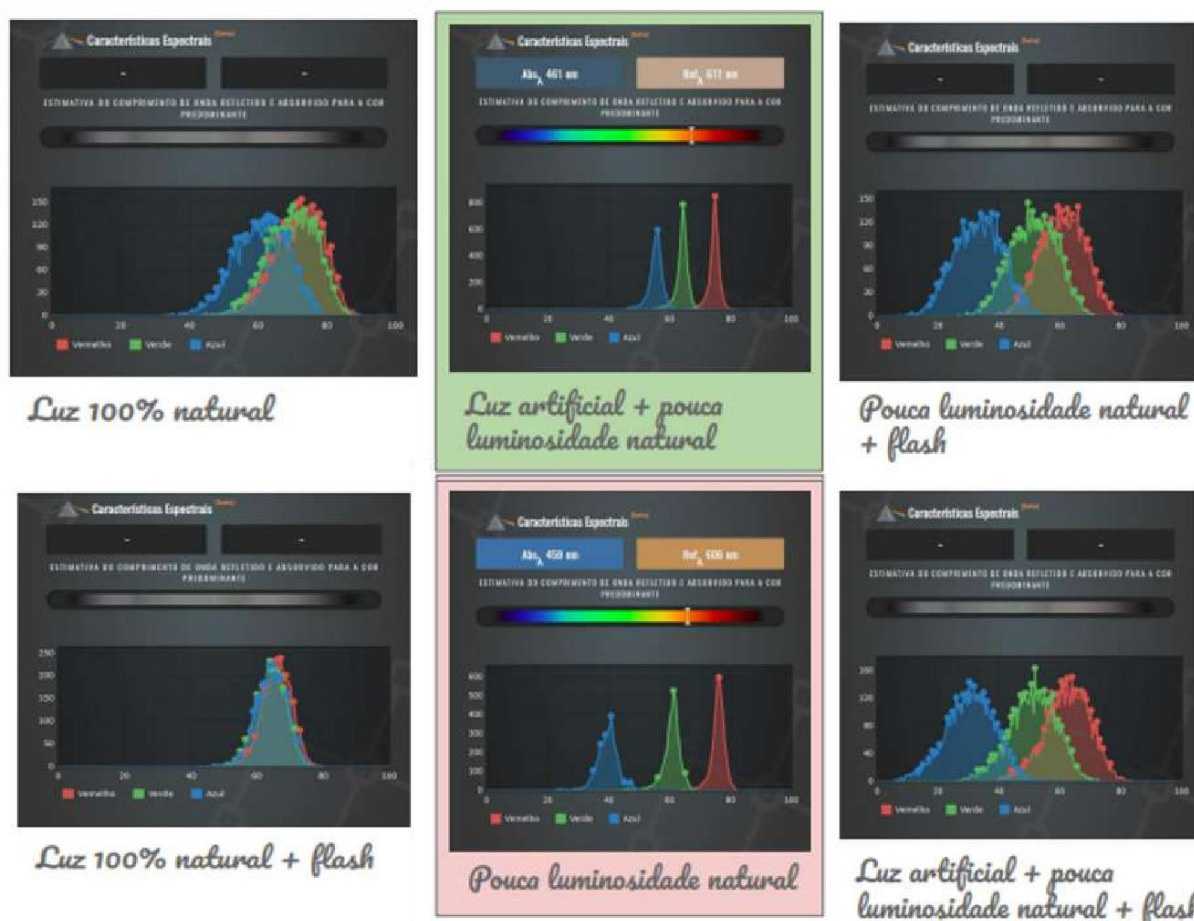


Figura 41. Planejamento acerca das condições de luminosidade.

Fonte: Autoria dos alunos de ICP (2021).

A primeira análise feita pelo grupo foi das cédulas de 2 reais (R\$), com variância explicativa de 35,1 e 27,4% pela PC1 (primeira componente principal) e PC2 (segunda componente principal), respectivamente, de acordo com a **tabela 1**. Isso significa que foi atribuído 62,5% de variância acumulada (somatório das variâncias explicativas

relativas às duas componentes principais). Diante dos resultados em relação ao reconhecimento de padrões entre as cédulas, o aplicativo gerou o gráfico de *scores* para verificar a distribuição referente às amostras falsas e verdadeiras de acordo com a PC1 (eixo x) e PC2 (eixo y) como apontado na **figura 42 A**.

Tabela 1. Resultados das variâncias explicativas e variâncias acumuladas da análise das cédulas de 2 reais (R\$)

COMPONENTE PRINCIPAL (PC)	VARIÂNCIA EXPLICATIVA (%)	VARIÂNCIA ACUMULADA (%)
PC1	35,1	35,1
PC2	27,4	62,5
PC3	14,3	76,8
PC4	10,1	86,9
PC5	5,8	92,7
+ 3 PC's	7,3	100

Fonte: autoria dos alunos de ICP (2021).

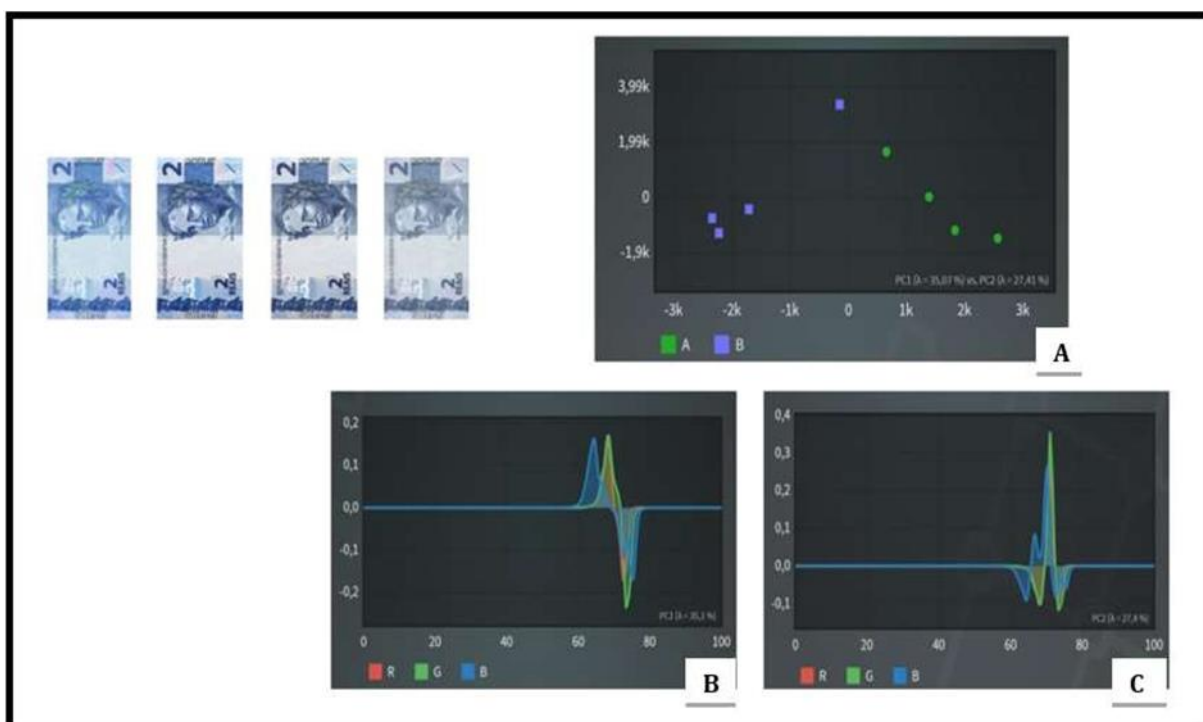


Figura 42. (A) - Gráfico de *scores* das cédulas de 2 reais (R\$) – grupamento A (verde) (cédulas verdadeiras) e grupamento B (ilás) (cédulas falsas). (B e C) - Gráficos de *loadings* das cédulas de 2 reais (R\$) - PC1 (B) e PC2 (C).

Fonte: Autoria dos alunos de ICP (2021).

Observando o gráfico de *scores*, os alunos explicaram da seguinte maneira durante a etapa de socialização:

“... do lado do quadrante positivo (lado direito) da PC1, encontram-se as amostras das cédulas verdadeiras. Em relação ao quadrante negativo (lado esquerdo) da PC1, estão as amostras das cédulas falsas agrupadas”.

Nesse contexto os alunos puderam comprovar a autenticidade da análise, utilizando o REDGIM®, mostrando a separação das cédulas falsificadas e verdadeiras devido ao padrão de similaridade entre elas. Com isso, pelo gráfico de *scores*, pode-se concluir que a PC1 foi suficiente para mostrar a distinção entre as amostras verdadeiras e falsas.

Na mesma interface do aplicativo, também foi gerado os gráficos de *loadings* (**figura 42 B e 42 C**), para evidenciar qual variável teve maior influência para que as amostras ficassem mais próximas ou afastadas umas das outras, pelas perspectivas da PC1 (**figura 42 B**) e da PC2 (**figura 42 C**). Os alunos expuseram que as variáveis dos canais (G) e (B) foram as que apresentaram maior influência para que as amostras verdadeiras ficassem alocadas no quadrante positivo da PC1, e que o canal (G) foi a variável mais relevante para que as amostras não verdadeiras ficassem agrupadas no quadrante negativo da PC1.

Em seguida, na mesma concepção, o grupo apresentou os resultados obtidos com as amostras relacionadas às cédulas falsas e verdadeiras de 10 reais (R\$). Consoante a isso, observou-se que pela PC1 e pela PC2 foram obtidas as variâncias explicativas de 52,7% e 28,3%, respectivamente, totalizando o valor de 81% como variância acumulada, de acordo com a **tabela 2**.

Tabela 2. Resultados das variâncias explicativas e variâncias acumuladas da análise das cédulas de 10 reais (R\$)

COMPONENTE PRINCIPAL (PC)	VARIÂNCIA EXPLICATIVA (%)	VARIÂNCIA ACUMULADA (%)
PC1	52,7	52,7
PC2	28,3	81,0
PC3	9,1	90,1
PC4	5,6	95,7
PC5	2,7	98,4
+ 3 PC's	1,6	100

Fonte: Autoria dos alunos de ICP (2021).

Na **figura 43 A** pode ser visto o agrupamento das amostras pelo gráfico de scores, no qual é possível discriminar as amostras falsas das verdadeiras. Analisando a PC1, os alunos relataram que duas amostras das cédulas falsas e todas as amostras das cédulas verdadeiras ficaram retidas no quadrante positivo, porém em uma conjectura mais apurada, a avaliação dos resultados somente pela PC1 não foi possível, fazendo assim a análise também pela PC2. Logo ao averiguar o desfecho obtido, os alunos relataram que diante à PC2 foi viável concluir a organização das amostras em grupos, onde as cédulas verdadeiras se concentraram agrupadas na parte inferior (negativa) e as cédulas falsificadas se concentraram na parte superior (positiva).

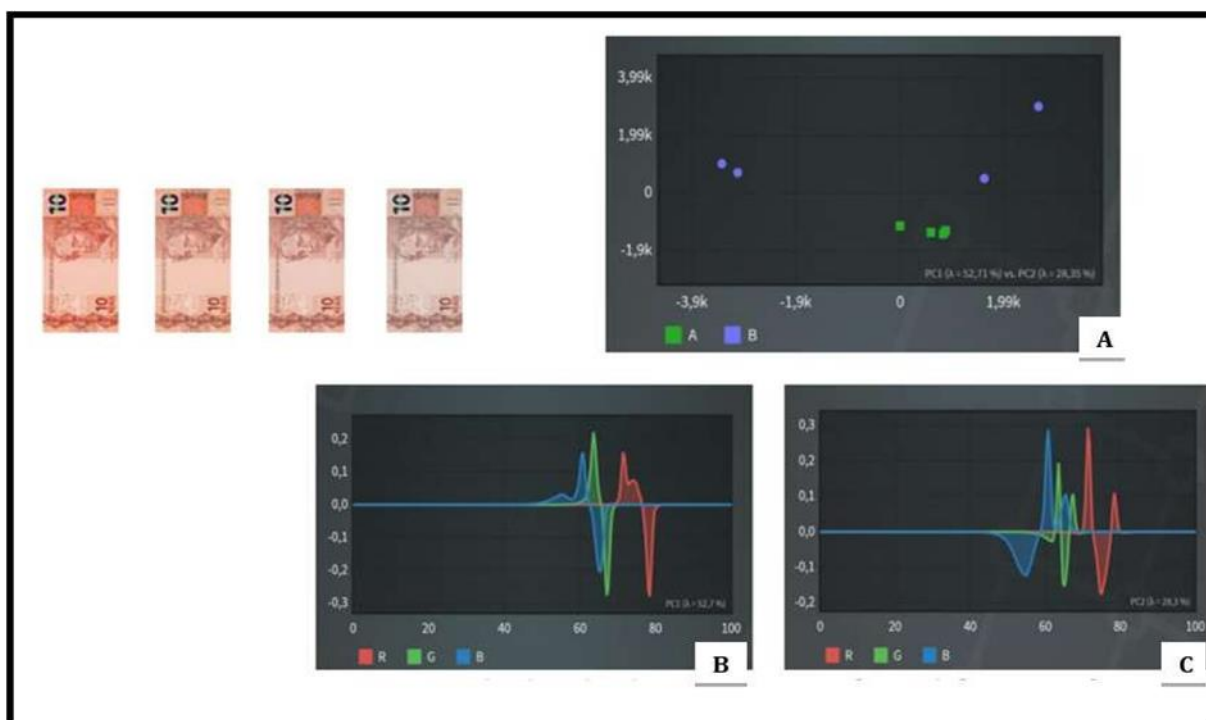


Figura 43. (A) - Gráfico de scores das cédulas de 10 reais (R\$) – grupamento A (verde) (cédulas verdadeiras) e grupamento B (lilás) (cédulas falsas). (B e C) - Gráficos de loadings das cédulas de 10 reais (R\$) – PC1 (B) e PC2 (C).

Fonte: Autoria dos alunos de ICP (2021).

Observando a **figura 43 B**, referente ao gráfico de loadings pela visão da PC1, os alunos puderam concluir que o canal da variável (G) foi a que mais interferiu para que as amostras verdadeiras ficassem alocadas no quadrante positivo, pois foi o canal de maior intensidade em relação ao canal de (B) e (R). Por outro lado, os canais de (G) e (R) tiveram uma influência maior para que as duas amostras das cédulas falsas ficassem no quadrante negativo. Em relação ao gráfico de loadings da PC2 (**figura 43**

C), pode-se perceber que as variáveis que mais tiveram influência para que as amostras falsas ficassem na parte superior foram as variáveis (B) e (R) e as variáveis de maior intensidade que contribuíram para que as amostras verdadeiras ficassem na parte inferior, foram os canais (G) e (R).

Por último, os integrantes do grupo fizeram as análises para as cédulas de 50 reais (R\$) e as informações obtidas das variâncias explicativas foram de 34,9% e 24,2%, respectivamente, para PC1 e PC2. Logo, os alunos conseguiram uma variância acumulada de 59,1% para suas análises das cédulas, como consta na **tabela 3**.

Tabela 3. Resultados das variâncias explicativas e variâncias acumuladas da análise das cédulas de 50 reais (R\$)

COMPONENTE PRINCIPAL (PC)	VARIÂNCIA EXPLICATIVA (%)	VARIÂNCIA ACUMULADA (%)
PC1	34,9	34,9
PC2	24,2	59,1
PC3	14,2	73,3
PC4	13,0	86,3
PC5	8,0	94,3
+ 3 PC's	5,7	100

Fonte: Autoria dos alunos de ICP (2021).

Observando a **figura 44 A**, os alunos evidenciaram que ao analisar o gráfico de scores pela PC1 não seria plausível a evidência da separação dos grupos formados, pois ambos os quadrantes (positivo e negativo), há amostras das cédulas verdadeiras e das falsas. Em contrapartida, vendo os resultados pela PC2, os alunos explicitaram de maneira argumentativa que foi possível o agrupamento das amostras verdadeiras e falsas. Pela perspectiva da segunda componente principal, as amostras de cédulas falsas ficaram na parte superior e na parte inferior, da mesma PC, se concentraram as amostras das cédulas verdadeiras.

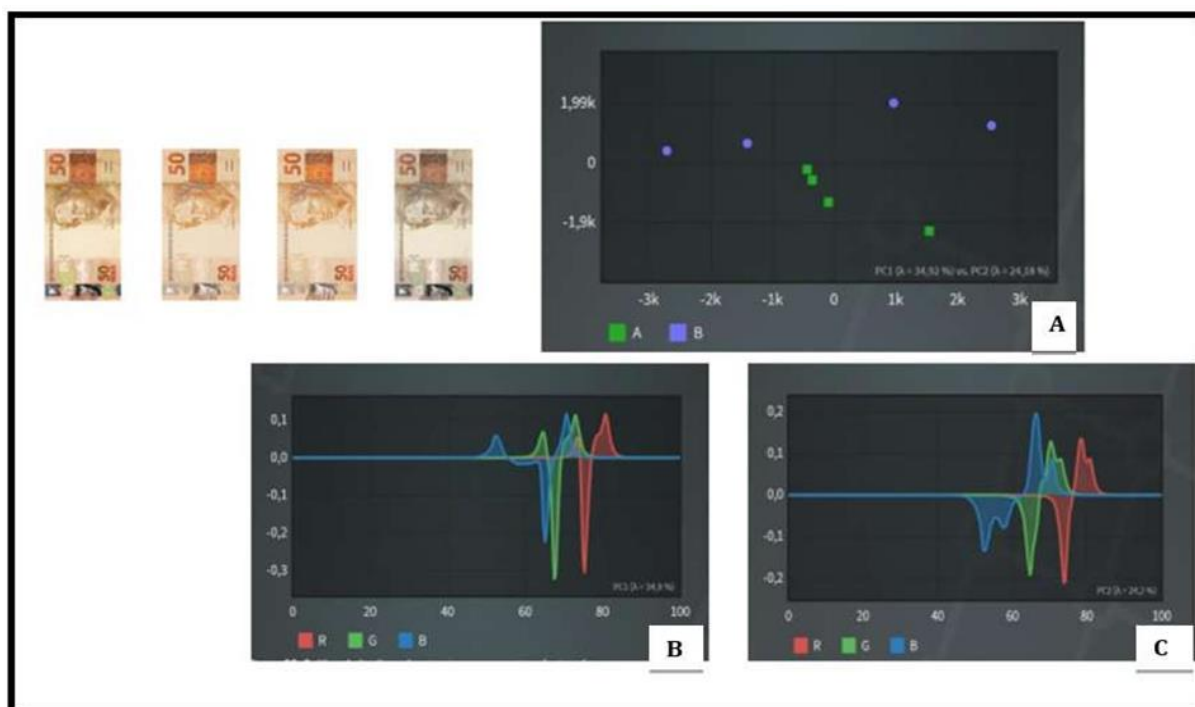


Figura 44. (A) - Gráfico de scores das cédulas de 50 reais (R\$) – grupamento A (verde) (cédulas verdadeiras) e grupamento B (lilás) (cédulas falsas). (B e C) - Gráficos de loadings das cédulas de 50 reais (R\$) – PC1 (B) e PC2 (C).

Fonte: Autoria dos alunos de ICP (2021).

No gráfico de *loadings* da PC1 (**figura 44 B**), as variáveis de (R), (G) e (B) apresentaram influência proporcional para que algumas amostras de ambos os grupos ficassem no quadrante positivo, porém quando se averigua as variáveis (canais (G) e (R)), os alunos notaram que elas tiveram maior influência para que uma maior quantidade das amostras dos dois grupos ficasse no quadrante negativo. De fato, isso pode ter ocorrido pela maior intensidade dos dois canais para a direção do quadrante negativo. Em vista do gráfico de *loadings* da PC2 (**figura 44 C**), os alunos relataram que o canal (B) preponderou para que as amostras falsas ficassem mais agrupadas na parte superior, enquanto os canais (G) e (R) tiveram mais influência para que as amostras das cédulas verdadeiras ficassem alocadas na parte inferior.

Por todos esses resultados obtidos pelo grupo, os alunos puderam expor na prática os conhecimentos adquiridos a respeito do reconhecimento de padrões pelo método da PCA, além de trocarem informações relevantes com os integrantes do outro grupo pela experiência proporcionada pela AEP. Esse processo também salientou a possibilidade de construir significados e exercer o desenvolvimento de autonomia nos alunos, como proposto pelos subsídios que embasam a AEP (Silva;

Moura, 2018). Outro relato que os alunos destacaram ao longo da apresentação, foi que é possível a verificação de análises utilizando tecnologias portáteis longe do ambiente de laboratório, fazendo o uso de um *smartphone*, na resolução de problemas do cotidiano da vivência de cada um.

Na AS, Moreira (2006) já aborda o que Ausubel trazia em sua teoria, de que o aprendiz não é um receptor passivo. O sujeito em questão deve recorrer aos significados previamente já estabelecidos por ele mesmo para compreender e internalizar os novos significados do que está sendo aprendido. Dessa forma, resultando em uma alteração em sua estrutura cognitiva, reorganizando assim seu conhecimento por meio de uma reconciliação integradora

Em outra perspectiva para aplicação do planejamento, na turma de TDEQ, um grupo de alunos apresentou acerca do reconhecimento de padrões em óleos vegetais comestíveis. Durante a apresentação, eles retomaram uma breve contextualização sobre os conceitos introdutórios de Quimiometria junto a PCA. Outro ponto relevante em referência à apresentação no momento da etapa de socialização desse grupo, foi acerca de informações e curiosidades a respeito do consumo de azeite de oliva no Brasil junto com a demanda da alta procura do produto que os alunos trouxeram.

No geral, os triglicerídeos são chamados de óleos quando estão no estado líquido à temperatura ambiente (20°C) e podem ser denominados como azeites, quando são provenientes de polpa de frutos (de oliva, de dendê, etc.) (Jorge, 2009). Nesse quesito, a diferença entre o azeite e os óleos vegetais comestíveis, além da coloração e do odor, é a presença de alto teores de ácidos graxos monoinsaturados e outros compostos característicos da polpa do fruto (Varela; Ruiz-Roso, 2000 *apud* Fernandes, 2016).

Um triglicerídeo é uma molécula lipídica que consiste em três ácidos graxos ligados a uma molécula de glicerol, como observa-se na **figura 45**. Nos óleos, os ácidos graxos correspondem a aproximadamente 94 a 96% da composição química. Apesar das variações decorrentes da fonte vegetal utilizada na produção, os óleos vegetais exibem uma diversidade de ácidos graxos. Esses ácidos graxos podem apresentar distintas estruturas químicas, influenciadas pela origem do vegetal, resultando na incorporação de grupos funcionais como hidroxilas, epóxidos ou cetonas, bem como em ligações duplas ou triplas. Essas modificações podem

acarretar mudanças nas propriedades físico-químicas dos óleos (Güner, Yagci e Erciyes, 2006).

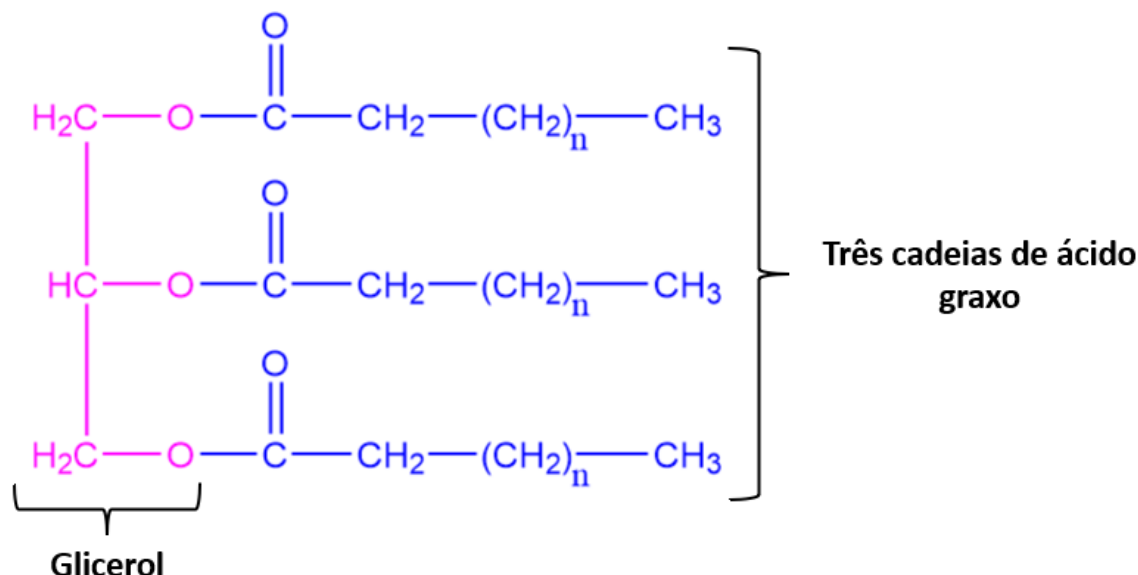


Figura 45. Estrutura geral dos triglicerídeos.

Fonte: Adaptado de Jun *et al.* (2016).

Considerando os fundamentos químicos abordados e a vasta literatura que trata dos óleos vegetais, os alunos também destacaram a relevância da análise de óleos vegetais comestíveis. Esse enfoque se deve em grande parte à constatação de uma prevalente problemática: a frequente adulteração em azeites de oliva. Além disso, apresentaram também as dificuldades enfrentadas em análises de óleos vegetais comestíveis, estudos sobre técnicas espectroscópicas para esse propósito, tais como métodos auxiliares para identificação de padrões entre as amostras utilizando a PCA com dados de infravermelho médio (Souza e Poppi, 2012) e a elaboração de um planejamento experimental para a determinação e quantificação de óleo de soja em azeite de oliva extravirgem usando um espectroscópio portátil Raman (Barros *et al.*, 2021). Em seguida os alunos relataram o objetivo do experimento proposto por eles, ao qual se configurou no reconhecimento de padrões entre as amostras de azeite e óleos vegetais comestíveis utilizando o método de PCA com o auxílio do REDGIM®.

O experimento decorreu da seguinte maneira: foram utilizadas doze amostras (quatro de azeite; quatro de óleo de girassol e quatro de óleo de algodão). É

importante ressaltar que os alunos tiveram a liberdade de escolher o material a ser analisado, incluindo os tipos de óleos vegetais comestíveis. Além disso, vale destacar que qualquer tipo de óleo vegetal comestível poderia ser utilizado, como óleo de soja, canola ou milho. Essa flexibilidade permitiu uma maior diversidade nas amostras analisadas e contribuiu para uma abordagem mais abrangente dos experimentos.

Para uma melhor percepção da análise feita pelos alunos, durante a apresentação, eles mostraram um vídeo de como eles realizaram todo o processo utilizando o aplicativo. De acordo com os resultados obtidos, o grupo mostrou as porcentagens das variâncias explicativas respectivas às duas componentes principais nos valores de 37,1% e 30,5%, tendo como variância acumulada o valor de 67,6% de acordo com a **tabela 4**. Com isso, foi possível descrever mais de 50% dos dados favorecendo a análise dos agrupamentos das amostras de azeite, óleo de girassol e óleo de algodão, que podem ser vistos na **figura 46 A** pelo gráfico de *scores* junto ao gráfico de *loadings* (**figura 46 B e 46 C**), mostrando as variáveis que influenciam na distribuição das amostras.

Tabela 4. Resultados das variâncias explicativas e variâncias acumuladas da análise de reconhecimentos de padrões entre as amostras de azeite , óleo de algodão e óleo de girassol

COMPONENTE PRINCIPAL (PC)	VARIÂNCIA EXPLICATIVA (%)	VARIÂNCIA ACUMULADA (%)
PC1	37,1	37,1
PC2	30,5	67,6
PC3	8,2	75,8
PC4	7,0	82,8
PC5	6,1	88,9
+ 7 PC's	11,1	100

Fonte: Autoria dos alunos de ICP (2021).

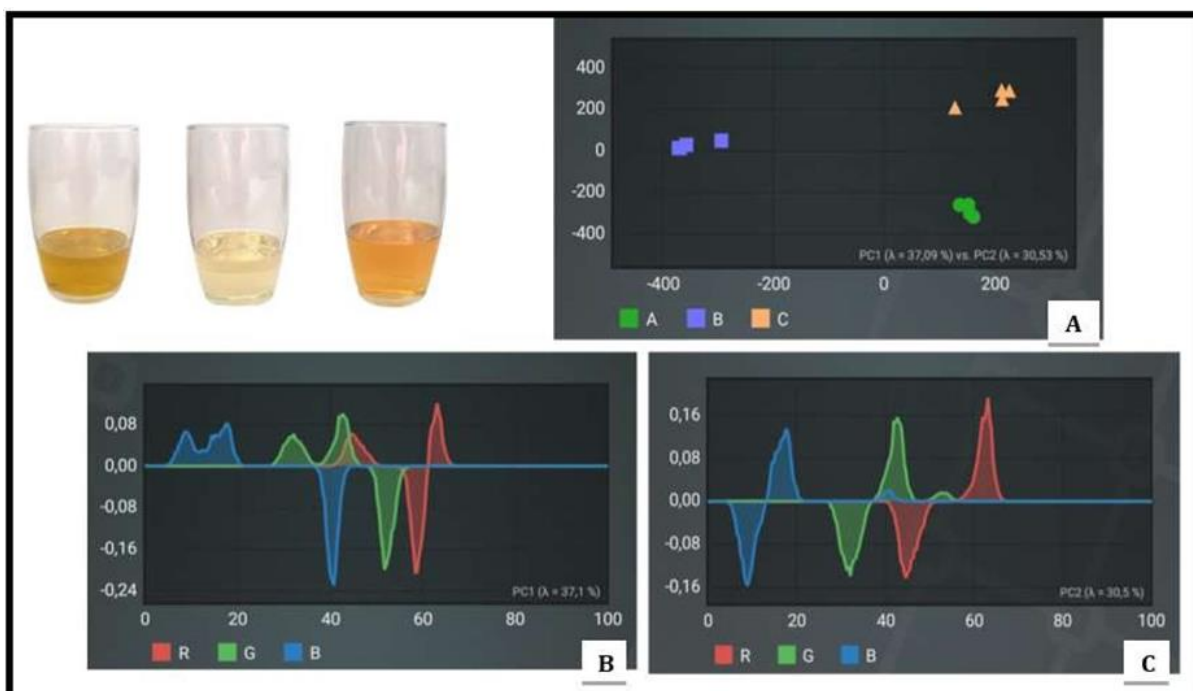


Figura 46. (A) - Gráfico de scores das amostras de azeite e óleos vegetais comestíveis – grupamento A (verde) (azeite), grupamento B (lilás) (óleo de girassol) e grupamento C (laranja) (óleo de algodão). (B e C) - Gráficos de loadings das amostras de azeite e óleos vegetais comestíveis – PC1 (B) e PC2 (C).

Fonte: Autoria dos alunos de TDEQ (2021).

Pelo gráfico de *scores* (**figura 46 A**) os alunos apresentaram a análise trazendo bons resultados, pois as amostras ficaram agrupadas de acordo com a sua origem. Pela PC1, é visto que ocorreu a separação em dois grupos no quadrante positivo e um grupo no quadrante negativo. Com isso, as amostras de azeite (grupo A) e as amostras de óleo de algodão (grupo C) ficaram no quadrante positivo e as amostras de óleo de girassol (grupo B) ficaram no quadrante negativo. Por outro lado, observando a análise do gráfico de *scores* pela visão da PC2, os integrantes do grupo mostraram que as amostras de azeite (grupo A) se localizaram na parte inferior e as amostras de óleo de algodão (grupo C) e óleo de girassol (grupo B) se localizaram na parte superior.

Com relação aos gráficos de *loadings* (**figura 46 B**), notou-se que o canal (R) teve intensidade um pouco maior do que os canais (G) e (B), mesmo assim, os três canais tiveram influência para que as amostras de azeite e de óleo de algodão ficassem no quadrante positivo. Nesse mesmo sentido, o canal (B) apresentou uma intensidade um pouco maior do que os canais (G) e (R), porém as três variáveis

influenciaram para que as amostras de óleo de girassol ficassem do lado negativo da PC1. Pelo olhar da PC2 no gráfico de *loadings* (**figura 46 C**), os alunos relataram que as amostras de óleo de girassol e óleo de algodão ficaram agrupadas na parte superior sob maior influência do canal (R), mas também com contribuição dos canais (G) e (B) por estarem com intensidades semelhantes. Quanto às amostras de azeite estarem alocadas na parte inferior, o grupo mostrou que praticamente teve influência também dos três canais (R), (G) e (B) por estarem com intensidades similares.

Por fim, os alunos concluíram que é possível fazer o reconhecimento de padrões entre as amostras de azeite e óleos vegetais comestíveis utilizando imagens digitais por meio do REDGIM® de maneira fácil, prática e de baixo custo em relação às técnicas e métodos já estabelecidos, respondendo o problema proposto. Após a apresentação desses resultados, o grupo também realizou o levantamento de alguns tópicos que apresenta potencialidade de serem discutidos futuramente, como a respeito da identificação dos óleos por colorimetria e a mudança de coloração das amostras quando se altera o azeite com óleo de soja, por exemplo. Isso mostra que um ensino contextualizado e com a utilização de recursos acessíveis pode ajudar na promoção do saber científico por meio da experimentação, havendo um diálogo entre os questionamentos, teoria e prática (Luca; Del Pino, 2021).

Na turma de Química Geral I, um grupo de alunos buscou desenvolver uma metodologia para o reconhecimento de padrões entre amostras de azeite e gordura de porco por meio de misturas com as suas devidas proporções. Inicialmente na etapa de socialização, os alunos apresentaram uma breve introdução sobre Quimiometria, PCA e como esse método pode ser utilizado para auxiliar na resolução de problemas. Em seguida foi apresentada a própria metodologia para a realização do experimento que pode ser vista pelo esquema da **figura 47**.

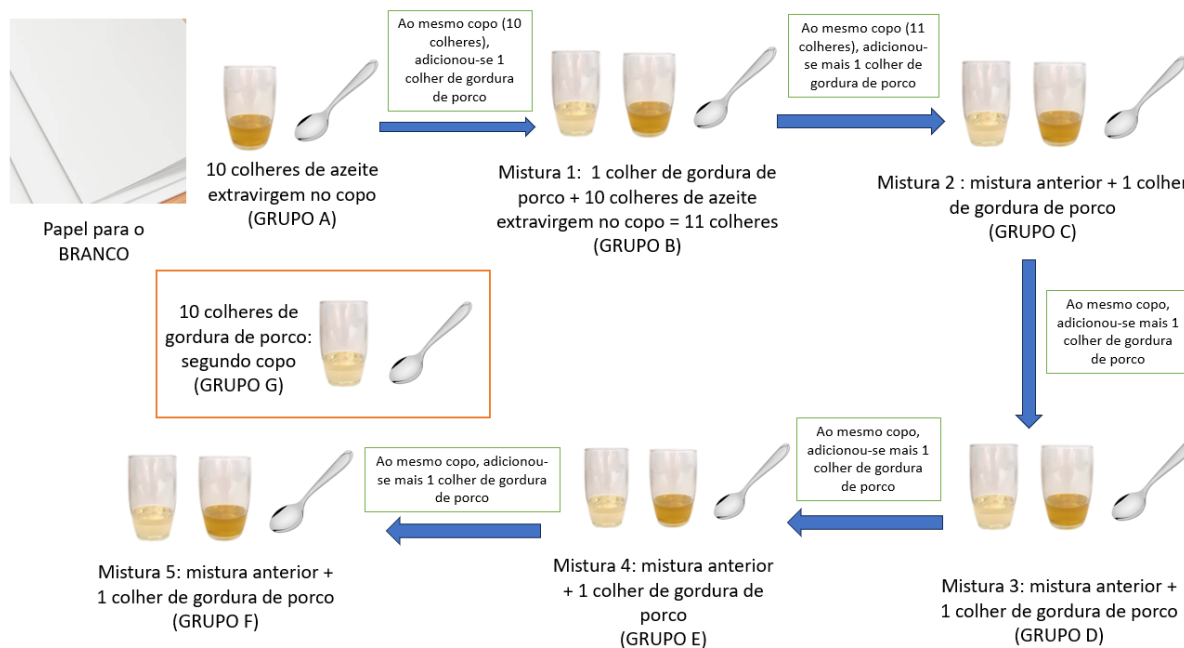


Figura 47. Metodologia de análise desenvolvida pelo grupo sobre o reconhecimento de padrões nas misturas de gordura de porco e azeite.

Fonte: Acervo próprio (2021).

Eles organizaram da seguinte forma: tirou-se a fotografia do branco e foi registrado no aplicativo, em seguida eles adicionaram 10 colheres de azeite em um copo e tiraram foto duas vezes, de pontos diferentes dessa amostra, contabilizando como se fossem duas amostras e adicionaram ao grupo A. Nesse mesmo copo, foi adicionado 1 colher de gordura de porco, originando a mistura (1 gordura / 10 azeite), tirando duas fotos e adicionando ao grupo B. Fez-se assim sucessivamente entre colocando mais gordura no mesmo copo de azeite, tirando fotos e adicionando ao respectivo grupo. Isso foi realizado até os alunos colocarem 5 colheres de gordura, ou seja, adicionando uma colher de gordura na mistura anterior, sendo do grupo B ao F. Para o grupo G, pegou-se outro copo e foram colocadas 10 colheres de gordura de porco e foram tiraram-se as respectivas fotos.

Ao longo da apresentação, os alunos falaram que o aplicativo permite a criação dos gráficos de scores pelos eixos das duas primeiras componentes principais, nas quais exprimem as maiores porcentagens. No caso de análises por imagem, o grupo de alunos deixou claro que as variáveis utilizadas nas análises foram as intensidades de R, G e B dos pixels do ROI escolhido. Todo esse processo na tomada das fotos

para o processamento dos dados no aplicativo, foram realizados em luz natural (utilizando a luz do sol), ou seja, as fotos foram tiradas em ambiente aberto. De acordo com a **tabela 5**, é possível verificar que os valores das variâncias explicativas para as duas primeiras componentes principais foram de 23,7% e 16,8% respectivamente, tendo como variância acumulada o valor de 40,5%.

Tabela 5. Resultados das variâncias explicativas e variâncias acumuladas da análise de reconhecimentos de padrões entre as amostras de azeite e gordura de porco

COMPONENTE PRINCIPAL (PC)	VARIÂNCIA EXPLICATIVA (%)	VARIÂNCIA ACUMULADA (%)
PC1	23,7	23,7
PC2	16,8	40,5
PC3	11,3	51,8
PC4	10,8	62,6
PC5	8,6	71,2
+ 9 PC's	28,8	100

Fonte: Autoria dos alunos de Química Geral I (2021).

Pelo valor obtido da variância acumulada ser inferior a 50%, não foi possível extrair as informações de maneira adequada, para se obter o agrupamento das amostras. Isso pode ser verificado no gráfico de *scores* pela **figura 48 A**, que evidencia uma desorganização das amostras, isto é, apresentando uma aparência dispersa entre elas e pelos gráficos de *loadings* (**figura 48 B e C**) que destaca as variáveis que mais influenciaram para o agrupamento das amostras.



Figura 48. Gráficos de *scores* (A) e de *loadings* (B e C) referente às amostras utilizadas para análise com o REDGIM®.

Fonte: autoria dos alunos de Química Geral I (2021).

Mediante a explicação dos resultados, os alunos levantaram algumas hipóteses sobre possíveis interferentes que possam ter vindo influenciar nas análises. Eles alegaram sobre a formação de sombras na imagem, devido ao ângulo que as fotos foram tiradas e, ainda, relataram sobre a aparência da amostra. Isso pode ter sido levado em consideração frente aos seus olhares, porque durante a adição de gordura de porco no azeite, a amostra tornava-se cada vez menos homogênea, apresentando um aspecto não límpido com irregularidades, promovendo também alteração de coloração, dificultando assim a captura das imagens pelo aplicativo. Outro fator que pode ter influenciado nos resultados, está relacionado aos volumes e proporções empregados em cada mistura. Cada volume utilizado para os agrupamentos das amostras foi ficando progressivamente maior em comparação com o grupo anterior, o que pode ter contribuído para as variações observadas nas respostas. Durante a apresentação, os alunos ainda ressaltaram:

“Para resultados mais claros, a PC1, por exemplo, deveria deter grande parte das informações, ou seja, a maior porcentagem da variância explicativa. Além disso, preferencialmente, a variância acumulada pelo somatório das duas PC's deveria alcançar uma porcentagem acima de 50%”.

Ao serem instigados a refletir sobre os erros cometidos, tanto o professor quanto os alunos tiveram a oportunidade de reexaminar conceitos previamente estabelecidos, evitando uma mera reprodução de métodos. Esse processo, por sua vez, promoveu uma ruptura nas barreiras epistemológicas. Posteriormente, os alunos puderam aprofundar os seus conhecimentos, resultado da abordagem empirista que envolveu a formulação e testagem de hipóteses (Bachelard, 1996).

Além de verificarem as hipóteses e diretrizes metodológicas que desenvolveram, os alunos apresentaram um resumo do trabalho de Almeida e colaboradores (2010), para complementar o assunto, intitulado: "O uso de HCA e PCA para detectar adulteração em azeite de oliva por óleo de girassol por meio da espectroscopia de massas com ionização *electrospray*". Essa parte teve como objetivo de mostrar aos outros alunos as aplicabilidades dessa área por outras técnicas. É importante deixar em evidência que os alunos dessa disciplina estavam vendo esses métodos e técnicas de análise pela primeira vez, visto que eles eram alunos do primeiro período do curso de Bacharelado em Química.

Em suma, dos resultados obtidos pelos alunos, mesmo que distantes do esperado, eles conseguiram analisar possíveis fatores que puderam ter contribuído para a ocorrência de erros. Além disso, visto pelas respostas das análises dos experimentos, os alunos investigaram as escolhas feitas em relação aos materiais e procedimentos adotados, demonstrando um enfoque reflexivo em vez de meramente reprodutivo, promovendo a possibilidade do desenvolvimento de sua autonomia. Assim, é importante destacar que esse procedimento adquire significância ao considerarmos a elaboração das próprias diretrizes metodológicas, por parte dos alunos, para um tema apresentado pela primeira vez a eles e de maneira remota, distante do espaço do laboratório.

De maneira sucinta aqui explicitado, os outros grupos das turmas também realizaram os experimentos acerca da PCA por meio das temáticas da diferenciação de notas de dinheiro e reconhecimento de padrões entre azeite e óleos vegetais comestíveis. Na **figura 49**, é possível observar alguns dos slides que os alunos das turmas apresentaram na etapa de socialização, junto as suas metodologias propostas e os resultados.



Figura 49. Compilação das apresentações dos resultados dos outros alunos acerca das análises propostas por eles.

Fonte: Autoria dos alunos participantes das oficinas de 2021.

Durante a fase de socialização dos resultados, foi notável observar a maneira como as ideias foram apresentadas e a disponibilidade dos alunos em contribuir ao longo desse processo. A construção da metodologia seguiu uma abordagem guiada e mediada pelo pesquisador, entretanto, todas as concepções e interpretações originaram-se dos próprios alunos. Isso incluiu a formulação dos planos experimentais e a exploração das variáveis que poderiam impactar nos desfechos finais. Os alunos compartilharam seus experimentos em diferentes estágios, evoluindo gradualmente para uma ideia mais consolidada. Esse processo se assemelhou a um planejamento experimental, com manipulação de fatores como luminosidade, tamanho da região de interesse e amostras utilizadas. Além disso, os alunos sustentaram argumentos fundamentados sobre os resultados obtidos, considerando suas características distintas, e exploraram de forma criteriosa as fontes de erro.

Cooper e colaboradores (2008) relatam o quanto a aprendizagem realizada de forma colaborativa na resolução de problemas contribui para a construção do conhecimento. Os autores concluíram que a realização de trabalhos com grupos colaborativos é uma ferramenta de grande valia que pode levar a melhorias na capacidade de resolução de problemas promovendo criticidade e troca de argumentação.

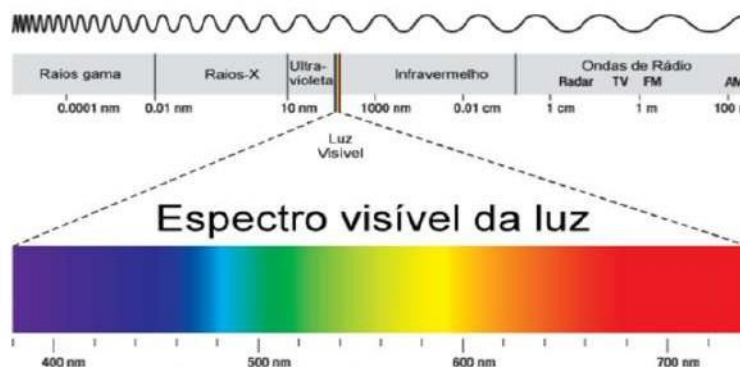
Após a conclusão das apresentações dos resultados por parte dos alunos, a aula subsequente marcou o início da etapa de organização do conhecimento relacionado à regressão PLS e à construção da curva analítica. Esse processo permitiu a transferência e mediação do conhecimento adquirido para as etapas posteriores da AEP. Portanto, no próximo segmento, serão apresentados os resultados dos experimentos conduzidos pelos alunos, os quais empregaram o aplicativo por meio do método colorimétrico utilizando a regressão PLS.

5.1.2.2.2. Análises pelo método colorimétrico no REDGIM® (Regressão PLS)

A partir dos resultados obtidos pelo grupo de alunos no contexto da disciplina de ICP, foi executada a construção de uma curva analítica utilizando suco em pó artificial como material, preparando as soluções e realizando diluições sequenciais para predição da concentração com o REDGIM®. Durante a apresentação, os alunos iniciaram contextualizando o espectro eletromagnético, com destaque para a faixa do

espectro UV-visível (**figura 50**). Essa introdução proporcionou a base para explorar a região visível e a forma como percebemos as cores, culminando na discussão dos corantes, como pôde ser visto nos slides apresentados na etapa de socialização.

INTRODUÇÃO



2

Figura 50. Slide inicial do grupo para introdução dos assuntos abordados.

Fonte: Slide dos alunos (2021).

Após a conclusão da apresentação e a devida introdução aos tópicos pertinentes, os alunos procederam à explicação detalhada da técnica de regressão PLS, discorrendo sobre a maneira pela qual é possível tratar os dados químicos derivados do espectro. Nesse contexto, os estudantes enfatizaram os processos matemáticos e estatísticos subjacentes, ilustrando o conceito da decomposição das matrizes envolvidas e descrevendo a metodologia de seleção das variáveis latentes.

Logo em seguida, o grupo apresentou os materiais empregados e delineou o método de análise adotado. Além de exibir os componentes utilizados no processo de análise, o grupo elaborou um dispositivo com a ajuda de suportes e iluminação artificial para captura das imagens, conforme ilustrado na **figura 51**. Para as análises, foi utilizado iluminação 100% artificial, com a configuração do ROI de 100x100 pixels e a propriedade de predição das soluções sendo em g.L^{-1} .

PARTE EXPERIMENTAL - materiais e métodos

Materiais:

- Folha A4;
- Jarra medidora 1L;
- Suporte porta coador de café individual;
- Balança;
- Luminária com lâmpada Led;
- *Smartphone*;
- Suco em pó (sabores utilizados: uva e salada de frutas);
- Gelatina (Sabor utilizado: limão).

Ilustração esquemática do método utilizado:



5

Figura 51. Slide do grupo mostrando os materiais utilizados para as análises.

Fonte: Autoria dos alunos – ICP (2021).

Para a construção dos pontos da curva analítica, o grupo foi diluindo o suco em pó artificial de uva em água e fazendo cinco pontos padrões da curva e três amostras para o aplicativo prever. Os valores utilizados para as concentrações que os alunos prepararam como padrões da curva analítica foram de: $33,3 \text{ g.L}^{-1}$; $25,0 \text{ g.L}^{-1}$; $12,5 \text{ g.L}^{-1}$; $8,33 \text{ g.L}^{-1}$ e $5,00 \text{ g.L}^{-1}$. Em seguida, o grupo mostrou que foram preparadas três amostras de suco para o aplicativo prever a concentração e mostrando os valores alcançados no uso de 2 VL, conforme mostra a compilação desses dados na **figura 52**.

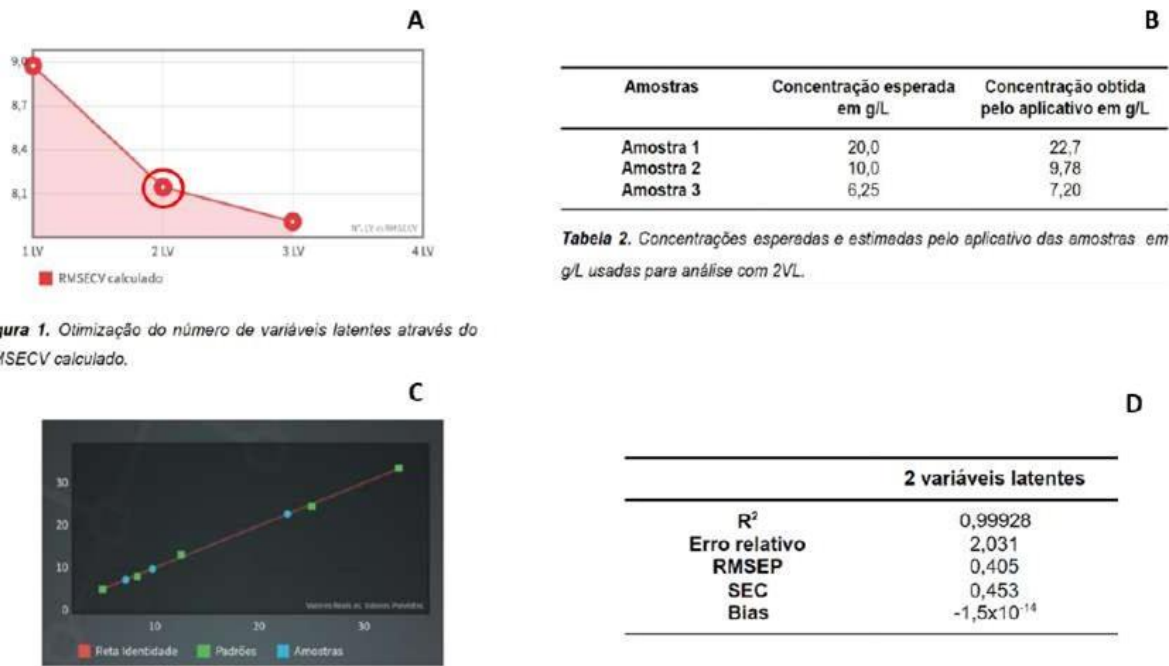


Figura 52. Compilação dos dados expostos nos slides de apresentação do grupo: (A). Escolha de 2 VL; (B). Valores das concentrações das amostras estimadas pelo aplicativo; (C). Reta de regressão linear gerada pelo aplicativo e (D). Parâmetros de desempenho gerados.

Fonte: Resultado obtidos pelos alunos (2021).

Diante dos resultados apresentados, observa-se que, mesmo ao conduzirem essas análises em seus ambientes domiciliares, utilizando recursos próprios, alguns resultados previstos pelo aplicativo se aproximaram dos valores esperados. Imersos na resolução de problemas e na exploração de métodos investigativos, aguçando a curiosidade, o grupo optou por manipular o número de VL, alterando para 3, resultando nos seguintes dados, conforme ilustrado na **figura 53**.

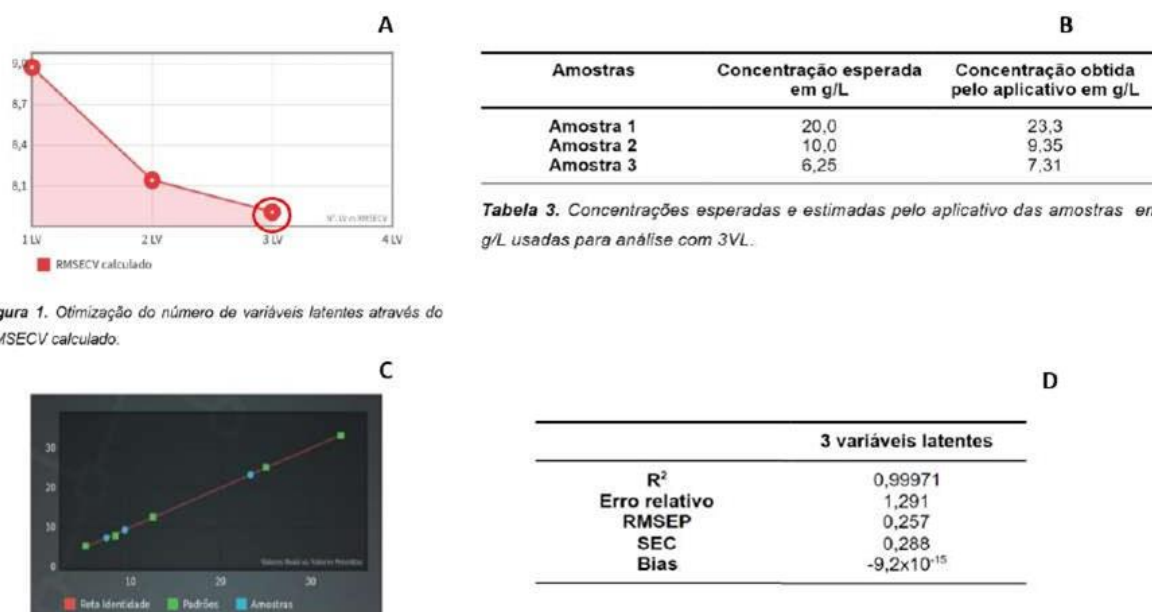


Figura 53. Compilação dos dados expostos nos slides de apresentação do grupo: (A). Escolha de 3 VL; (B). Valores das concentrações das amostras estimadas pelo aplicativo; (C). Reta de regressão linear gerada pelo aplicativo e (D). Parâmetros de desempenho gerados.

Fonte: Resultado obtidos pelos alunos (2021).

Durante a exposição, os alunos abordaram os processos de elaboração da metodologia, bem como discutiram diversos fatores que poderiam influenciar, incluindo um aspecto de curiosidade relacionado às VLs. Eles apresentaram a justificativa de manter os resultados agrupados por um valor fixo de VL, especificamente igual a 2, argumentando que essa escolha se baseou no número de pontos da curva analítica, mas quiseram mostrar também como os resultados se comportam utilizando VL=3.

O processo de ensino torna-se significativo quando é capaz de despertar o interesse daquele que se propõe a aprender. Sendo assim, a aprendizagem significativa nesse contexto estabelece uma relação entre o sujeito que está aprendendo e algo a ser descoberto/aprendido, principalmente estimulando o processo autônomo (Silva; Moura, 2018).

Esse mesmo grupo, além de criar aparatos para conseguir tirar as fotos da melhor forma possível, como demonstrado anteriormente, apresentou resultados também na predição das soluções variando a cor do suco utilizado e utilizando gelatina em pó. Portanto pode-se dizer que eles foram testando e colocando em prova os

conhecimentos adquiridos de forma intuitiva e não limitada, não sendo hermeticamente fechados.

Outro grupo de alunos desenvolveu uma metodologia para prever a concentração de misturas de óleos vegetais comestíveis e azeite. Ao primeiro passo, eles apresentaram sobre a teoria e respectivas elucidações da regressão PLS e em seguida, mostraram a metodologia proposta, como pode ser visto na **figura 54**.

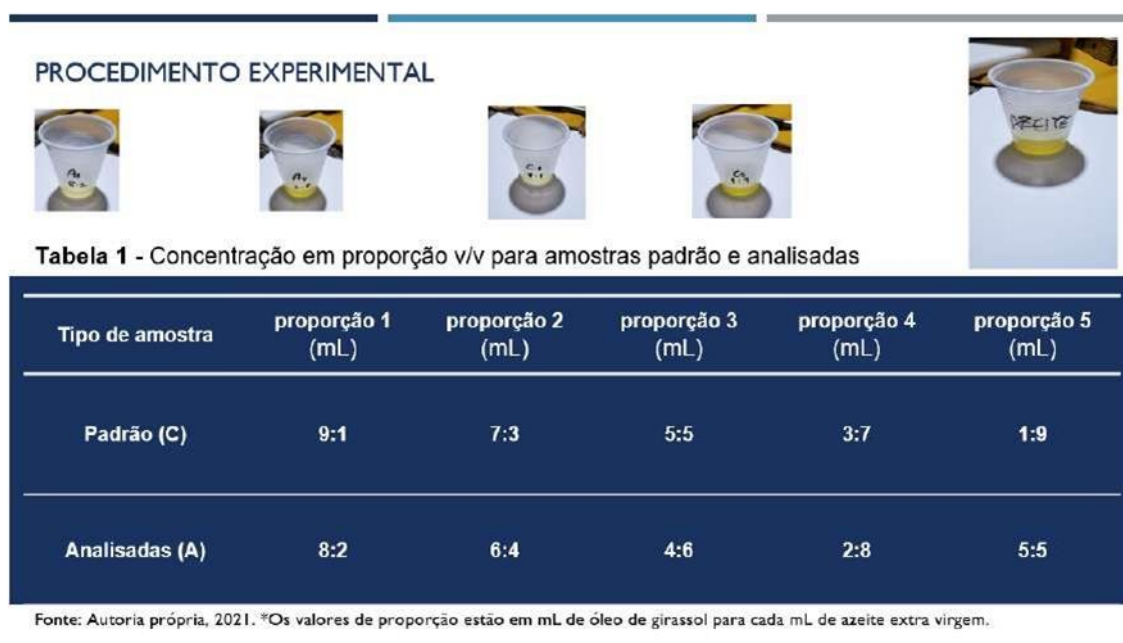


Figura 54. Slide da apresentação dos alunos para mostrar a metodologia de análise proposta.

Fonte: Acervo dos alunos - ICP (2021).

Nos resultados, os alunos destacaram potenciais fontes de erro ou influência nas análises, conduzindo uma investigação aprofundada sobre a metodologia empregada. O grupo realizou ajustes nas proporções e conduziu novas análises através do aplicativo, explorando assim a sua própria metodologia de forma interativa. Na **figura 55** é possível visualizar algumas dessas análises de forma resumida.



Figura 55. Seleção de alguns resultados diante das análises realizadas pelos alunos.

Fonte: Resultados obtidos pelos alunos (2021).

Em outra turma, na etapa de socialização, outros alunos também apresentaram seus resultados concernentes às suas diretrizes metodológicas desenvolvidas. Fizeram uma curva analítica com 5 pontos padrões (2 g.L⁻¹; 3 g.L⁻¹; 4 g.L⁻¹; 6 g.L⁻¹ e 8 g.L⁻¹), sendo com duas amostras nas concentrações de 5 g.L⁻¹ e 7 g.L⁻¹, respectivamente para o aplicativo prever. Nos slides foi possível notar a riqueza de detalhes sobre como os alunos produziram as etapas e o que cada efeito poderia influenciar nas análises, como o fato de terem usados materiais não precisos para medida dos volumes, utilização de água não filtrada e entre outros, conforme a **figura 56**.



Figura 56. Slides da apresentação dos alunos explicando a metodologia proposta com o suco de limão.

Fonte: Acervo dos alunos – Química Geral I (2021).

Cada detalhe minucioso da apresentação, expresso de maneira precisa pelos alunos, permitiu destacar o sincretismo e o significado dos conhecimentos adquiridos de maneira prática e tangível. Um aluno em particular mencionou durante a apresentação:

“Escolhemos o ROI com tamanho 80x80 pixels, pois significa que que analisaremos 80 pixels de comprimento por 80 pixels de largura, tendo um total de 6400 pixels. Lembrando que dentro de cada pixel existe a intensidade de R, de G e de B que são as variáveis, os dados extraídos da imagem”.

Os resultados obtidos foram avaliados pela escolha de $VL=2$ e pela **figura 57** foi possível notar que os valores esperados pelo grupo das concentrações das amostras foram muito próximos aos estimados pelo aplicativo. A amostra 1 predita pelo aplicativo foi de $6,495\text{ g.L}^{-1}$ e da amostra 2 teve o valor previsto de $4,196$.

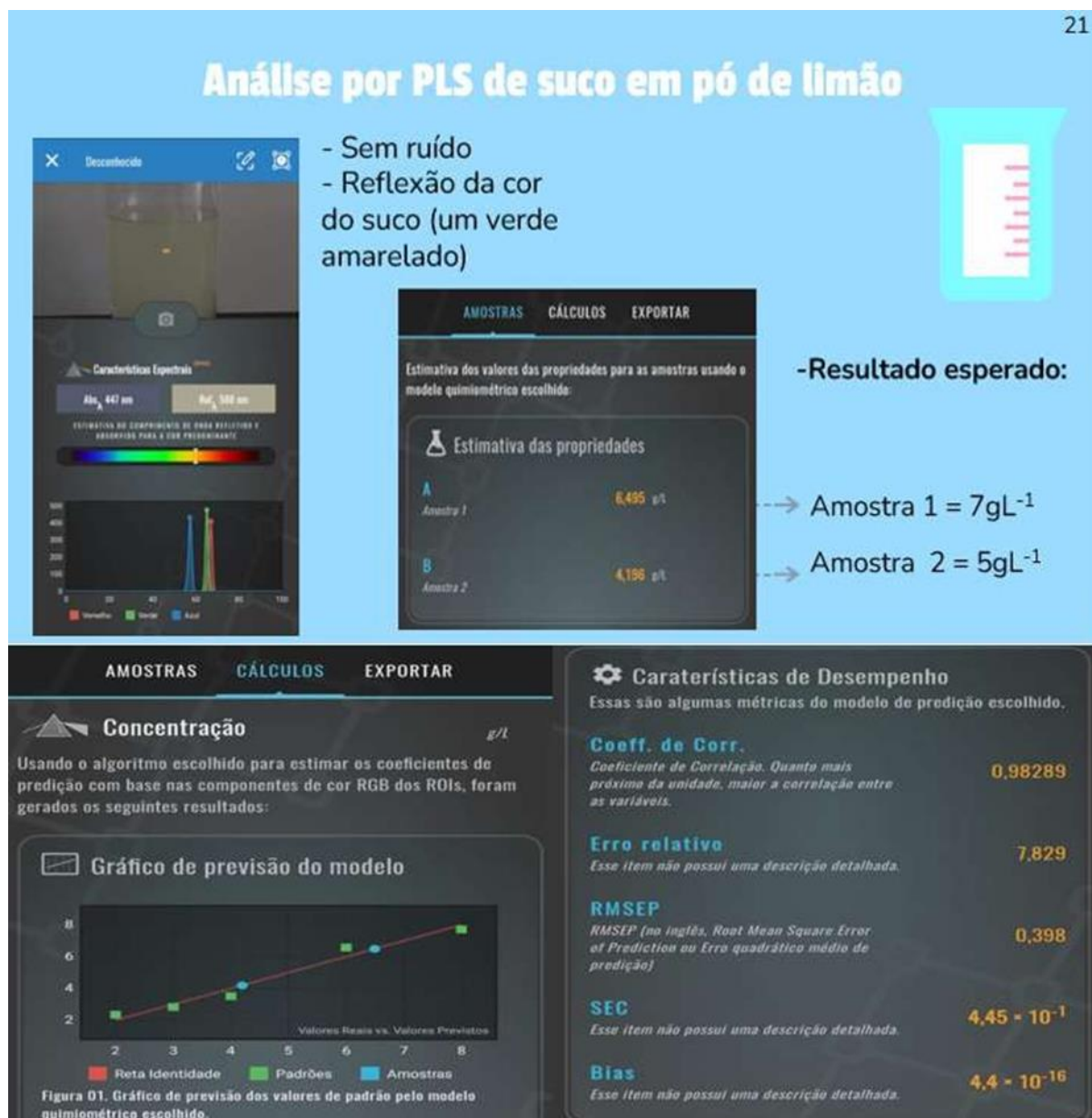


Figura 57. Slide da comprovação dos valores encontrados.

Fonte: Acervo dos alunos – Química Geral I (2021).

Esse grupo conduziu uma segunda série de experimentos, variando o tipo de suco utilizado, e todas as concentrações da curva analítica foram ajustadas e testadas para validar suas hipóteses, conforme ilustrado na **figura 58**. Nessa nova análise, eles fizeram 5 pontos padrões para a curva analítica nas concentrações de 1 g.L^{-1} ; 2 g.L^{-1} ; 3 g.L^{-1} ; 4 g.L^{-1} e 5 g.L^{-1} , sendo com duas amostras nas concentrações de $2,5\text{ g.L}^{-1}$ e $4,5\text{ g.L}^{-1}$, respectivamente para o aplicativo prever. Como resultados estimados pelo aplicativo, a primeira amostra teve seu valor previsto de $2,553\text{ g.L}^{-1}$ e a segunda amostra teve seu valor estimado de $4,487\text{ g.L}^{-1}$, ou seja, muito próximo dos valores esperados pelos alunos.



Figura 58. Resultados expostos das novas análises desenvolvidas pelo grupo.

Fonte: Acervo dos alunos – Química Geral I (2021).

O processo de aprimoramento experimental para a resolução do problema proposto demonstra o comprometimento dos alunos em explorar de forma abrangente as complexidades das técnicas e métodos empregados. Esse empenho reflete sua disposição em aprofundar seus conhecimentos e habilidades, evidenciando uma abordagem para a organização de suas hipóteses e dedicada à busca de soluções.

Ao final das oficinas, quando os alunos estavam falando sobre as suas experiências, uma fala que me chamou a atenção foi sobre:

"De início, quando toda a ideia e proposta nos foi explicada e apresentada alegando que teríamos que montar nossas próprias metodologias, para mim foi assustador, pois nunca havia feito isso. Mas com as conduções e mediação do pesquisador, agora eu consigo ver o quão enriquecedor e interessante foram as abordagens utilizadas para a condução da oficina e me mostrou o quanto sou capaz".

Com essa observação por parte do aluno, torna-se evidente o quão promissor é incentivar o potencial individual de cada estudante em sala de aula. É importante estimulá-los a desempenhar um papel ativo na construção do próprio processo de aprendizagem, promovendo uma participação mais efetiva e rompendo com o papel de mero espectador passivo. Gonçalves e Goi (2022), reforçam que a experimentação

delineada por investigação incentiva o aluno a buscar ou construir novas representações ou novos procedimentos para adequando a sua realidade. Nessa perspectiva, auxilia no desenvolvimento da capacidade intelectual de cada indivíduo.

Como visto de uma maneira geral perante todos os resultados dos experimentos apresentados pelos alunos participantes de 2021, eles não ficaram presos a roteiros pré-estabelecidos, além de que nas apresentações todos os grupos trouxeram mais de uma análise nem que seja mudando as concentrações ou o reagente utilizado. Essas atitudes refletem o espírito investigativo e a capacidade dos alunos de explorar variáveis e adaptar suas metodologias de acordo com os desafios e objetivos propostos.

5.1.2.3. Oficina de 2022

Como a oficina de 2022 ocorreu de maneira presencial em uma turma de licenciandos, as problematizações e os contextos dos experimentos foram complementados para o viés da formação de professores. Dessa maneira, a oficina foi estruturada para ocorrer uma validação (testagem de experimentos) com os alunos, conforme citados na metodologia. Neste tópico serão abordados alguns momentos práticos referentes aos experimentos que os alunos realizaram no laboratório na disciplina de PPP 2.

Após a mediação das temáticas base para compreender os conceitos de Quimiometria, os alunos começaram a estudar sobre o método de reconhecimento de padrões (PCA) e em seguida eles foram apresentados ao REDGIM® para aprender a manusear os comandos do aplicativo. Como era o primeiro contato dos alunos com esse tipo de análise e o objetivo era aprender como utilizar o aplicativo no modo comparativo e a interpretar os resultados obtidos, eles foram divididos em grupos e lhes foram entregues balas coloridas para aprenderem a aplicação do método, conforme a **figura 59**.



Figura 59. Grupos de alunos aprendendo a utilizar o aplicativo de maneira prática pelo método da PCA.
Fonte: Acervo próprio (2022).

Nesse momento os alunos expuseram as suas dúvidas e questionamentos acerca da interpretação das análises, extração de dados pelo ROI, variáveis que influenciam nos resultados e como esse tipo de tecnologia pode ser aplicada em aulas práticas experimentais. Nesse âmbito, desde uma prática simples e com a utilização de materiais de baixo custo, os alunos puderam integrar os momentos da estratégia teórico-metodológica, AEP, para a resolução do problema que lhes foi apresentado no início.

Na aula subsequente da oficina, após a organização e estruturação das ideias e dos dados provenientes da primeira atividade prática, os estudantes foram introduzidos ao segundo método explorado pelo aplicativo, a regressão PLS. Nesse ponto, os alunos iniciaram sua interação com essa abordagem metodológica, ampliando assim o escopo de sua compreensão e experiência com as funcionalidades oferecidas pelo aplicativo. Cada grupo então desenvolveu uma curva analítica utilizando suco em pó artificial e foram elaborando os próprios valores das concentrações, conforme na **figura 60**.

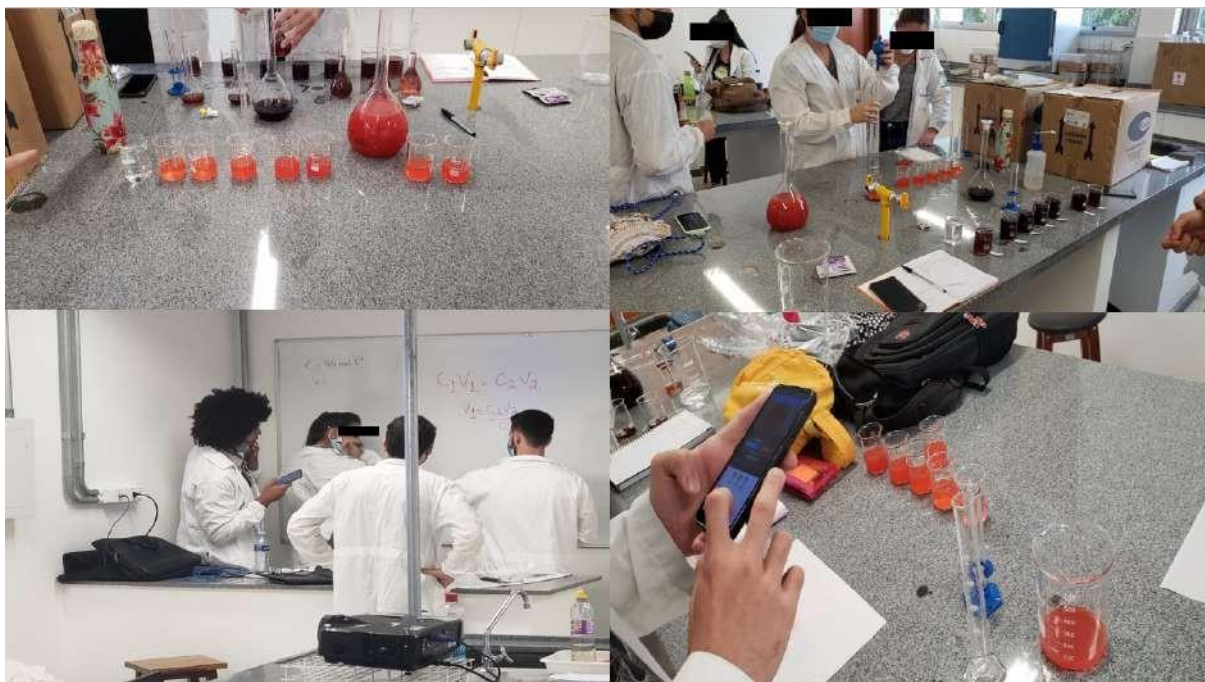


Figura 60. Processos da aula prática acerca da elaboração do procedimento proposto para usar a regressão PLS.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Com as discussões dessa aula foi possível notar a curiosidade acerca da temática, os pontos que são envolvidos nas análises e a justificativa dos erros diante os experimentos, criando a possibilidade de eles estarem mais participativos e autônomos na construção do conhecimento. Visto isso, na aula seguinte, deu-se início a abordagem da utilização do REDGIM® como uma ferramenta alternativa à técnica de espectrofotometria na região do UV-vis, e assim, os alunos foram inseridos no contexto sobre a Lei de Lambert Beer junto às problemáticas e discussões sobre o assunto. Logo, eles viram a utilização do aplicativo como uma técnica complementar à da absorção molecular. Para a parte prática desta aula, um experimento foi realizado com base no artigo de Kuntzleman e Jacobson (2016) na construção de uma curva analítica utilizando o sulfato de cobre (CuSO_4), conforme a **figura 61**.



Figura 61. Preparo das soluções de CuSO_4 para análise no aplicativo.

Fonte: Acervo próprio (2022).

É possível notar na figura que os alunos desenvolveram técnicas para minimizarem possíveis erros durante as análises para tirar as fotos colocando uma folha em branco de fundo. São processos simples como esse, diante a tomada de decisões, que são levados em consideração para contornar os problemas que possam surgir.

Aproveitando essa mesma temática, surgiu a oportunidade de os alunos terem uma aula prática sobre espectrofotometria na região do UV-vis no Laboratório do Núcleo de Competências em Química do Petróleo - NCQP (LabPetro) e assim, na aula seguinte, os alunos puderam manusear o equipamento para realizar as análises diante a obtenção dos espectros (**figura 62**). Nesse momento, os alunos foram expostos sobre a comparação de ambas as análises (pelo equipamento e pelo aplicativo), explicitando as particularidades que são envolvidas em cada análise, os cuidados e os fatores que influenciam. Essa aula em específico foi um diferencial para os alunos, pois como eles são do curso de Licenciatura, os métodos de análise instrumental não são abordados na grade curricular.

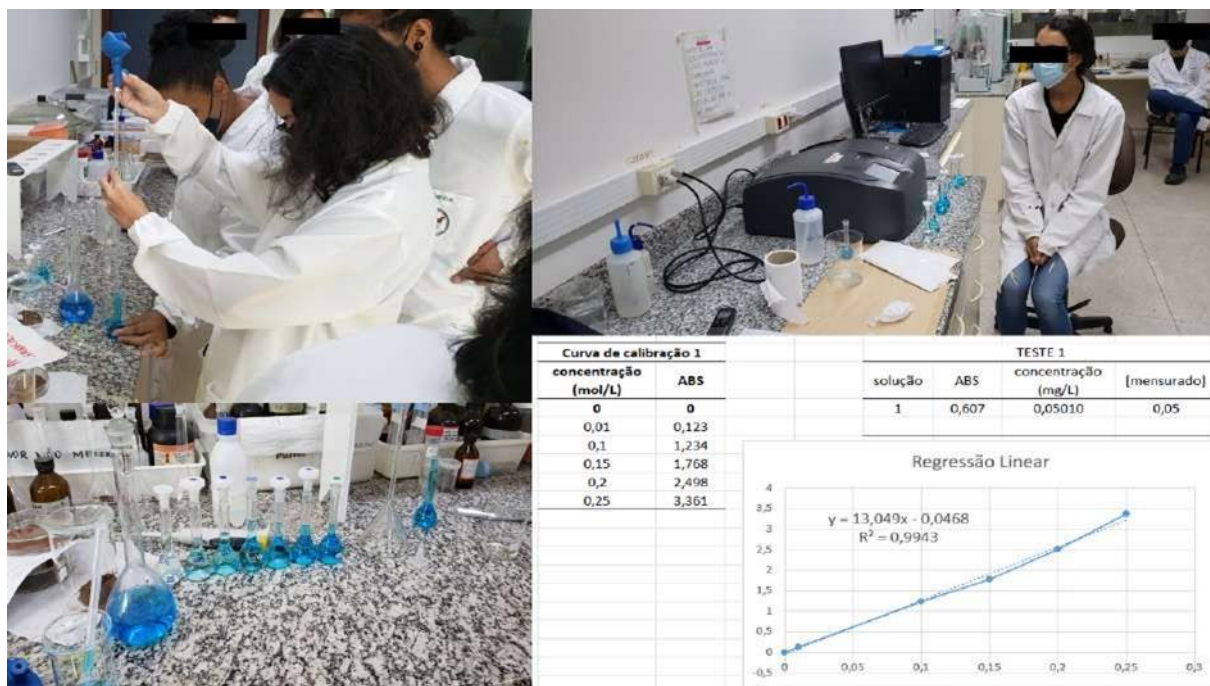


Figura 62. Aula prática acerca do manuseio do equipamento do espectrofotômetro UV-vis.

Fonte: Acervo próprio (2020).

É notável que a conexão entre os conhecimentos específicos da área e os aspectos pedagógicos nos programas de formação de professores tem se revelado como um desafio em constante evolução, que tem sido objeto de investigação ao longo do tempo. Essa dinâmica é diretamente influenciada pelas modificações curriculares orientadas pelos documentos que regem as diretrizes dos cursos, bem como pela crescente tendência de pesquisas voltadas ao Ensino de Química, com o propósito de fomentar uma abordagem reflexiva e problematizadora na prática educacional (Calixto; Kiouranis, 2017). Por isso da inserção de temas como a Quimiometria e as análises químicas como temas do saber científico para futuros profissionais.

Prosseguindo com a planificação das aulas, após os estudantes serem expostos a uma aplicação da regressão PLS, outras sessões abordaram um experimento focalizado na identificação de padrões na criação de uma escala de pH (1 a 14), em consonância com o trabalho de Valderrama e colaboradores (2016), com algumas adaptações. Inicialmente, a aula foi contextualizada sobre medição de pH, explorando sua relevância em situações cotidianas e sua relação direta com exemplos práticos da nossa vivência.

No momento da realização do experimento, procedeu-se à construção de uma escala de pH, empregando produtos comuns, como *shampoo*, pasta de dente, sabonete, agentes de limpeza, alvejante, vinagre, suco de limão e entre outros, além de utilizar NaOH (1 mol.L^{-1}) e HCl (1 mol.L^{-1}), representando os extremos da escala. Para facilitar o agrupamento dos valores da escala, todas as amostras foram adicionadas com um indicador de repolho roxo, conforme ilustrado na **figura 63**.



Figura 63. Construção da escala de pH com os produtos do cotidiano usando indicador de repolho roxo.

Fonte: Acervo próprio (2022).

No decorrer da análise, os alunos engajaram em discussões e intercâmbio de ideias à medida que suas hipóteses eram submetidas a testes empíricos, aplicando estratégias concretas para a obtenção dos resultados almejados. A **figura 64** ilustra o momento em que os estudantes estavam estruturando o agrupamento das amostras com base nas cores, com o propósito de analisar a tendência de acidez e basicidade utilizando o aplicativo.

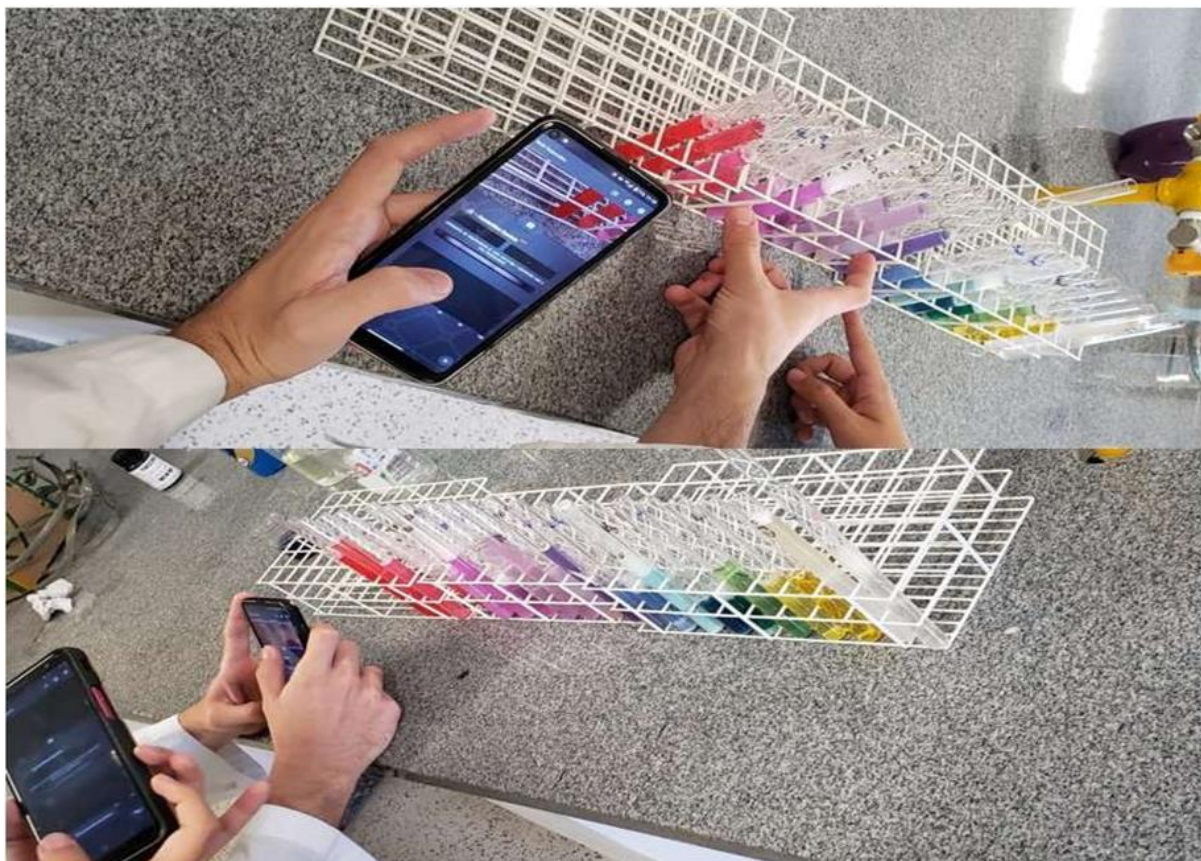


Figura 64. Procedimento para análise do reconhecimento de padrões na escala de pH.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Depois dos alunos fazerem os agrupamentos por cores e ir colocando os dados no aplicativo, eles geraram os gráficos de scores e loadings para a visualização dos resultados. Um desses resultados obtidos pelos alunos será mostrado na **figura 65**.



Figura 65. (A). Gráfico de variância explicativa e acumulada. (B). Gráfico de scores e (C.1). Gráfico de loadings da PC1 e (C.2). Gráfico de loadings da PC2 das análises realizadas.

Fonte: Acervo dos alunos – PPP 2 (2022).

De acordo com a representação gráfica dos scores, não foi possível realizar uma visualização clara dos comportamentos distintos das amostras, o que resultou em dificuldades na análise das tendências que relacionam as amostras ácidas e básicas ao longo da escala de pH. Durante a fase de socialização, os alunos realizaram uma explanação detalhada, destacando que a falta de homogeneização em algumas amostras, como pasta de dente, sabonete e shampoo, devido à sua tonalidade mais clara, e a influência da luminosidade, podem ter afetado os resultados, ou até mesmo a parede do tubo de ensaio devido a luz na superfície. Essa reflexão permitiu que os alunos percebessem a relevância de detalhes minuciosos, desde a preparação das amostras até o ângulo de captura das imagens, como fatores potencialmente interferentes nos resultados obtidos.

Quando os alunos realizaram a prática experimentando a diferenciação entre notas verdadeiras e falsas, foram contextualizados sobre o processo de falsificação e como essa problemática impacta nosso cotidiano. Como forma de mostrar técnicas de baixo custo que auxiliam no processo do combate à adulteração, os alunos utilizaram a PCA para realizar a prática, de acordo com a **figura 66**.



Figura 66. Diferenciação entre cédulas de 10 e 20 reais falsas e verdadeiras pelo uso do aplicativo.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Diante do uso de tecnologias portáteis para esse propósito, os alunos conseguiram vivenciar na prática a relação do conteúdo trabalhado em sala de aula. Pelos resultados adquiridos, eles conseguiram ver a efetividade da técnica discutida, como se pode ver na **figura 67**.



Figura 67. Resultados obtidos pela diferenciação entre as notas de dinheiro falsas e verdadeiras. (A). Gráficos de *scores*. (B). Gráfico de *loadings* - PC1 e (C). Gráfico de *loadings* - PC2.

Fonte: Resultado dos alunos (2022).

Pela análise do gráfico de *scores*, já foi possível ver a separação dos grupos pela PC1, na qual as amostras verdadeiras se encontram no lado positivo e as amostras falsas no lado esquerdo. Tendo em vista o gráfico de *loadings* (B), é viável

relatar que as variáveis (B) e (G) influenciaram para que as amostras verdadeiras ficassem alocadas no quadrante positivo da PC1 e a variável (R), teve mais influência para que as amostras falsas ficassem do lado esquerdo. Como só pela primeira componente principal já foi possível notar a separação entre os grupos, não foi preciso explicar pela PC2. Portanto, todos esses argumentos referentes a interpretação dos resultados, foram evidenciados e destacados pelos alunos no momento de socialização dos resultados.

Por intermédio da exploração dos métodos proporcionados pelo aplicativo, os alunos foram capazes de experimentar e compreender de que maneira os processos de inovação e tecnologia estão intrinsecamente entrelaçados na sociedade, contribuindo para a abordagem e solução de desafios diversos. Essa experiência encontra reflexo nas iniciativas concretizadas dentro da própria Universidade, onde tais métodos são empregados para enfrentar questões que se apresentam. Desse modo, os alunos puderam analisar um produto oriundo de uma pesquisa da UFES criada para auxiliar no problema do pó de minério da Grande Vitória (**figura 68**). Esse produto em questão é uma resina supressora de pó de minério produzida utilizando PET. Desse modo, os alunos construíram uma curva analítica para prever a concentração da resina por meio do método de regressão PLS, a fim de desenvolverem estratégias utilizando análise por imagens digitais que possam vir a ser um método alternativo.



Figura 68. Momento de organização do conhecimento antes da aula prática.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Como procedimento, um dos grupos preparou as soluções da resina nas seguintes concentrações: 0,25%; 0,5%; 0,75%, 1% e 2% (m/v), para serem os pontos padrões da curva analítica. Em seguida, duas amostras foram preparadas de concentrações 0,3 % e 0,9% respectivamente, para o aplicativo tentar prever. Na **figura 69**, pode ser visto os procedimentos que os alunos tomaram para o preparo das soluções da resina, desde a pesagem até as análises pelo aplicativo. É válido lembrar que nenhuma caracterização química da resina trabalhada pode ser discutida, pois se trata de uma patente da UFES.



Figura 69. Procedimentos tomados pelos alunos no preparo e análise da resina.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Para a realização das análises os alunos usaram VL=2 para a otimização do processo, e, assim, o REDGIM® estimou a primeira amostra no valor de 0,486% e a segunda no valor de 0,742%, ou seja, sendo de certa forma, valores próximos aos esperados pelos alunos. Valores esses que podem ser confirmados com o *template* gerado pelo aplicativo durante a análise (**figura 70**).



Figura 70. Resultados da análise gerados pelo aplicativo das suas amostras.

Fonte: Acervo dos alunos (2022).

Ao se estruturar o planejamento para uma carga horária total de cinquenta e duas horas de aula, foram conduzidos experimentos adicionais em que os alunos foram imersos em abordagens de contextualização e resolução de problemas. Durante essa etapa, houve a explanação detalhada da teoria subjacente a cada experimento, permitindo aos alunos compreenderem profundamente o propósito de cada abordagem. Além disso, foram evidenciadas as conexões entre os princípios da Quimiometria, os fundamentos do Ensino e a aplicação de tecnologias. Essa abordagem, teve a possibilidade de promover certas habilidades e competências sobre a aquisição do conhecimento e o seu próprio monitoramento de forma intrínseca.

5.1.3. Análise de questionários finais de 2020, 2021 e 2022

Ao final de cada oficina didática, houve a aplicação de um questionário, a fim de obter o feedback dos alunos em relação às aulas. Este questionário foi organizado pelo pesquisador, buscando identificar as percepções e conhecimentos acerca da quimiometria (conceitos e importância); do uso do aplicativo REDGIM e da forma na qual as aulas foram conduzidas por meio da AEP. Portanto, a análise do conteúdo das respostas apresentadas pelos alunos com a aplicação do questionário final teve o objetivo de levantar evidências de que houve aprendizagens relacionadas à Química (quimiometria), a partir da aplicação da metodologia de ensino AEP e do uso do REDGIM®.

Na sequência do texto, têm-se a elaboração das categorias iniciais correspondente a cada pergunta. As respostas apresentadas pelos alunos foram codificadas e organizadas no corpus textual para serem analisadas pelo software Iramuteq®. Assim, a partir da interpretação das representações gráficas geradas, foi possível estruturar as subcategorias que emergiram de cada uma destas categorias iniciais.

5.1.3.1. Categoria 1: Importância da quimiometria

Nesta categoria, os alunos foram questionados a respeito da importância da quimiometria. A **figura 71** representa a árvore por similitude que compõe a organização das respostas apresentadas pelos estudantes. Esta análise possibilita verificar as ligações entre as palavras do corpus por meio de grafos.

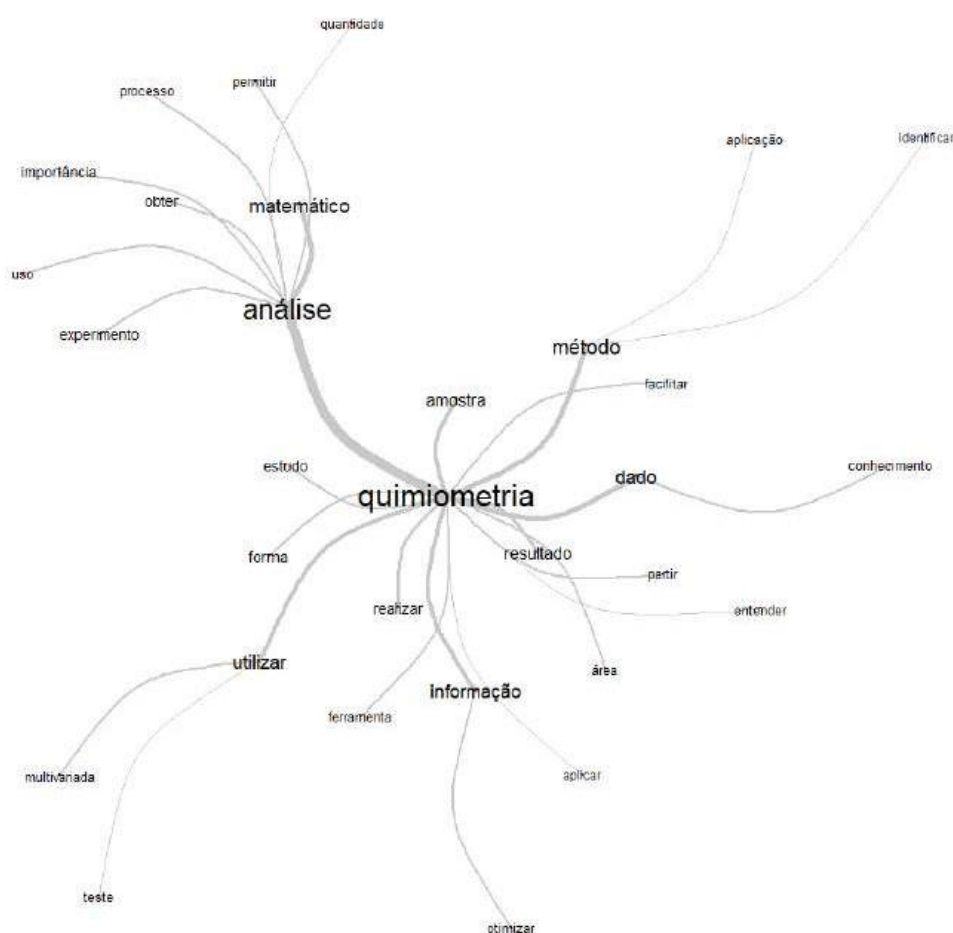


Figura 71. Análise de similitude das respostas apresentadas pelos alunos na pergunta: “Com o conhecimento adquirido até agora, explique o que você entendeu sobre a importância da Quimiometria”.

Fonte: Acervo próprio (2023).

A análise por similitude considerou o termo “quimiometria” como ponto central na árvore. Quanto maior o tamanho da palavra, significa que houve maior a frequência nas narrativas dos estudantes. Houve seis subagrupamentos majoritários ao eixo da “quimiometria” que foram demarcados pelos termos: “*utilizar*”, “*informação*”, “*dado*”, “*método*”, “*análise*” e “*amostra*”. Tal condição permite a identificação da recorrência das palavras mais representativas nas afirmativas dos alunos, possibilitando denominar estes eixos como subcategorias na AC.

Portanto, a partir desta estratégia de análise com enfoque nestas subcategorias (quimiometria e análise), é possível compreender que os estudantes explicaram que a quimiometria “*utiliza*” “*métodos*” para “*análise*” multivariada, com o objetivo de “*otimizar*” a coleta de “*informações*” químicas. Como por exemplo, a afirmativa do A10-2021:

“A quimiometria usa métodos matemáticos e estatísticos para planejar ou selecionar experimentos com o objetivo de otimizar a coleta de informações químicas por meio de análise multivariada, PCA e PLS.”

Ressalta-se que a palavra “informação” possui o mesmo sentido que “dados” dentro do contexto das respostas apresentadas. Sendo assim, os alunos também destacaram a importância da quimiometria para análise dos “dados”, sendo possível fornecer e/ou prever dados instantâneos e padronizados. Como exemplo, o trecho explicado pelo A5-2021:

“Pela quimiometria é possível realizar a análise de dados multivariados ou fazer o planejamento de experimentos, otimizando a análise e extraindo o máximo de informações químicas de maneira mais simples e eficiente.”

5.1.3.2. Categoria 2: Conceitos básicos da quimiometria

Nesta categoria, buscou-se identificar o aprendizado dos alunos, em relação à pergunta: “O que você entendeu acerca dos métodos: *Análise de Componentes Principais (PCA)* e *Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS)*? A CHD criou o dendograma das classes. A **figura 72** apresenta a formação das cinco classes.

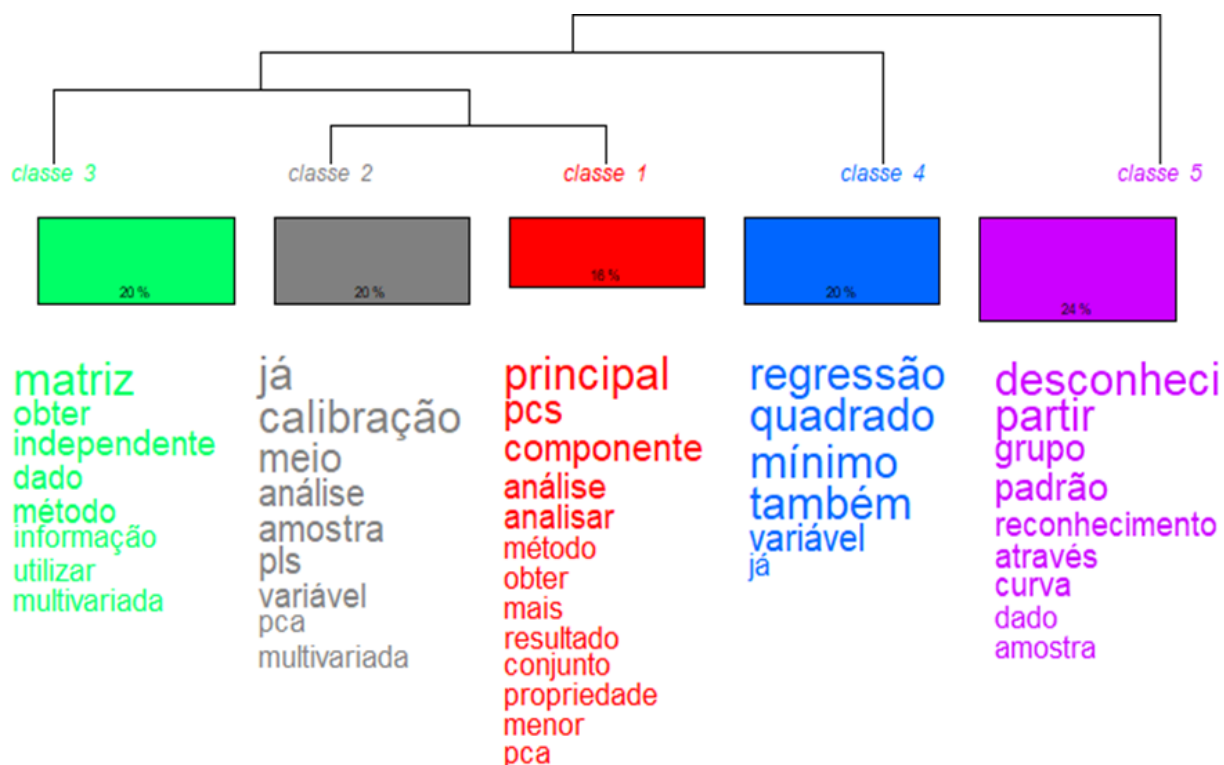


Figura 72. Dendograma das classes fornecidas na análise por CHD em relação à pergunta: “O que você entendeu acerca dos métodos: Análise de Componentes Principais (PCA) e Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS)?”.

Fonte: Acervo próprio (2023).

A partir das Unidades de Contexto Elementar (UCEs) que compuseram as respectivas classes, foi possível resgatar o conteúdo predominante nas respostas apresentadas pelos alunos e assim formular e denominar as subcategorias. Assim, as subcategorias correspondentes a cada classe foram denominadas como: Classe 1 e 2 (subcategoria PCs), Classe 3 e 4 (subcategoria PLS) e Classe 5 (subcategoria PCA e PLS).

De acordo com o dendograma da **figura 72**, é possível avaliar que a classe 5 origina as outras classes. Isso ocorre porque as palavras abordadas nessa classe envolvem assuntos referentes a ambos os métodos quimiométricos (PCA e PLS) trabalhados na oficina. Por exemplo, das palavras que ganharam destaque, apresenta-se termos que fazem alusão ao método de PCA, como reconhecimento ou grupo, até de termos que dizem respeito ao método de regressão PLS, curva ou amostra desconhecida. De fato, são pontos-chaves que estão associados com a pergunta que

os alunos responderam sobre os métodos quimiométricos vistos na oficina. Algumas respostas dos alunos foram respectivamente:

*“A análise por componentes principais utiliza-se das informações coletadas para a distinção de **grupos** analisando os padrões que cada amostra apresenta, enquanto a regressão por mínimos quadrados parciais utiliza-se das informações com intuito de estimar uma dada propriedade de uma **amostra**”.*

“Determinar concentração de amostras desconhecidas através da preparação de amostras padrões de concentrações conhecidas”.

Em contrapartida, a classe 4 formada, designa sobre conceitos majoritariamente utilizados na regressão PLS, como termos do nome do método e a variável, fazendo de acordo com que foi relatado pelos alunos:

“... enquanto a regressão por mínimos quadrados parciais utiliza-se das informações com intuito de estimar uma dada propriedade de uma amostra.”

Continuando a análise do dendrograma, é possível averiguar que a classe 4 origina a classe 3, mostrando que elas apresentam uma ligação por tratarem de termos aportados sobre o método de PLS. Isso se deve, pois, o método de regressão PLS se faz necessário pela relação entre duas matrizes (de variáveis independentes e de variáveis dependentes), assim como exemplo das respostas descritas pelos alunos:

“Método quantitativo que relaciona duas matrizes de dados, uma dependente e outra independente para avaliar obter melhor correlação nas informações, matrizes essas que são decompostas e formam as PC que são rotacionadas (variável latente) para se obter a melhor relação entre ambas as matrizes de dados.”

*“... Já a regressão por mínimos quadrados parciais é uma regressão multivariada baseada em decompor dados de uma análise de variáveis latentes. Há as variáveis independentes (**X**) e as dependentes (**Y**) que são decompostas simultaneamente. É utilizada também a validação cruzada e a utilizada nesse trabalho foi a `leave_one_out`”.*

Pelas palavras formadas na classe 3, também foi possível ver termos levantado como o *método* e *informação*, que também fazem referência aos dois métodos quimiométricos. A classe 2 agrupou os elementos de integração entre os dois métodos (PCA e PLS), pois resultou em termos que se complementam e se referem a ambos. Essa relação pode ser corroborada pela interligação com a classe 1, que por sua vez, trouxe a essência da PCA, que são as componentes principais (PCs).

5.1.3.3. Categoria 3: Uso do aplicativo REDGIM® nas aulas

Nesse contexto, os alunos foram questionados sobre sua opinião acerca do aplicativo REDGIM® como ferramenta para análises químicas, com potencial para ser utilizado nas aulas práticas da universidade. A **figura 73** representa a árvore de similitude formada a partir do processamento do corpus textual.

tem alto potencial para ser utilizado nas aulas, pois facilita a aprendizagem, de forma prática e intuitiva. Em específico, citaram que é uma ferramenta que pode ser utilizada para o ensino de quimiometria. No **quadro 9** é apresentado algumas respostas fornecidas pelos alunos referentes ao uso do aplicativo REDGIM®.

Quadro 9. Respostas de alguns alunos referentes ao uso do REDGIM® para ser utilizado nas aulas práticas da Universidade, de acordo com o questionário final

- A₁₋₂₀₂₀ : *“Minha opinião é que o aplicativo tem total capacidade de ser utilizado em aulas práticas na universidade. O aplicativo se mostrou eficiente em todas suas propostas, serve como um meio de entrada em diversas matérias”.*
- A₂₋₂₀₂₀ : *“Ele pode trazer experiências mais complexas de forma simplificada para a sala de aula”.*
- A₃₋₂₀₂₀: *“O aplicativo REDGIM tem bastante potencial para as grandes universidades, uma vez que através de experimentos realizados, ele tem eficácia fora dos âmbitos laboratoriais, além disso, é de fácil utilização e acessível a todos”.*
- A₄₋₂₀₂₀: *“É um aplicativo que com certeza deve ser considerado para o auxílio laboratorial para os ensinos na universidade”.*

Fonte: Dados da pesquisa (2020) – respostas dos alunos.

Sendo assim, estes resultados denotam a percepção positiva dos alunos em relação ao uso do aplicativo REDGIM® como uma ferramenta pedagógica para as aulas práticas da Universidade. Os estudantes destacaram a facilidade de uso, a interatividade e a contribuição para a compreensão dos conteúdos químicos. Essa avaliação favorável reforça a relevância e o potencial do aplicativo como recurso didático na formação acadêmica.

Conforme relatado pelos alunos, o uso de tecnologias em prol do ensino pode desempenhar um papel significativo no processo de organização do conhecimento. A utilização de Tecnologias da Informação e Comunicação Móveis e Sem Fio (TIMS) traz consigo desafios adicionais no contexto educacional. Dentre as diversas opções oferecidas pelas TIMS, destaca-se o celular como um dispositivo que disponibiliza aplicativos que podem ser utilizados como recursos pedagógicos em sala de aula (Bento; Cavalcante, 2013).

5.1.3.4. Categoria 4: Condução das oficinas

Durante a apresentação do questionário, foi perguntado aos alunos sobre suas opiniões em relação à condução das aulas e a metodologia utilizada. As respostas foram transcritas para o corpus textual e análise de similitude é mostrada na **figura 74**.

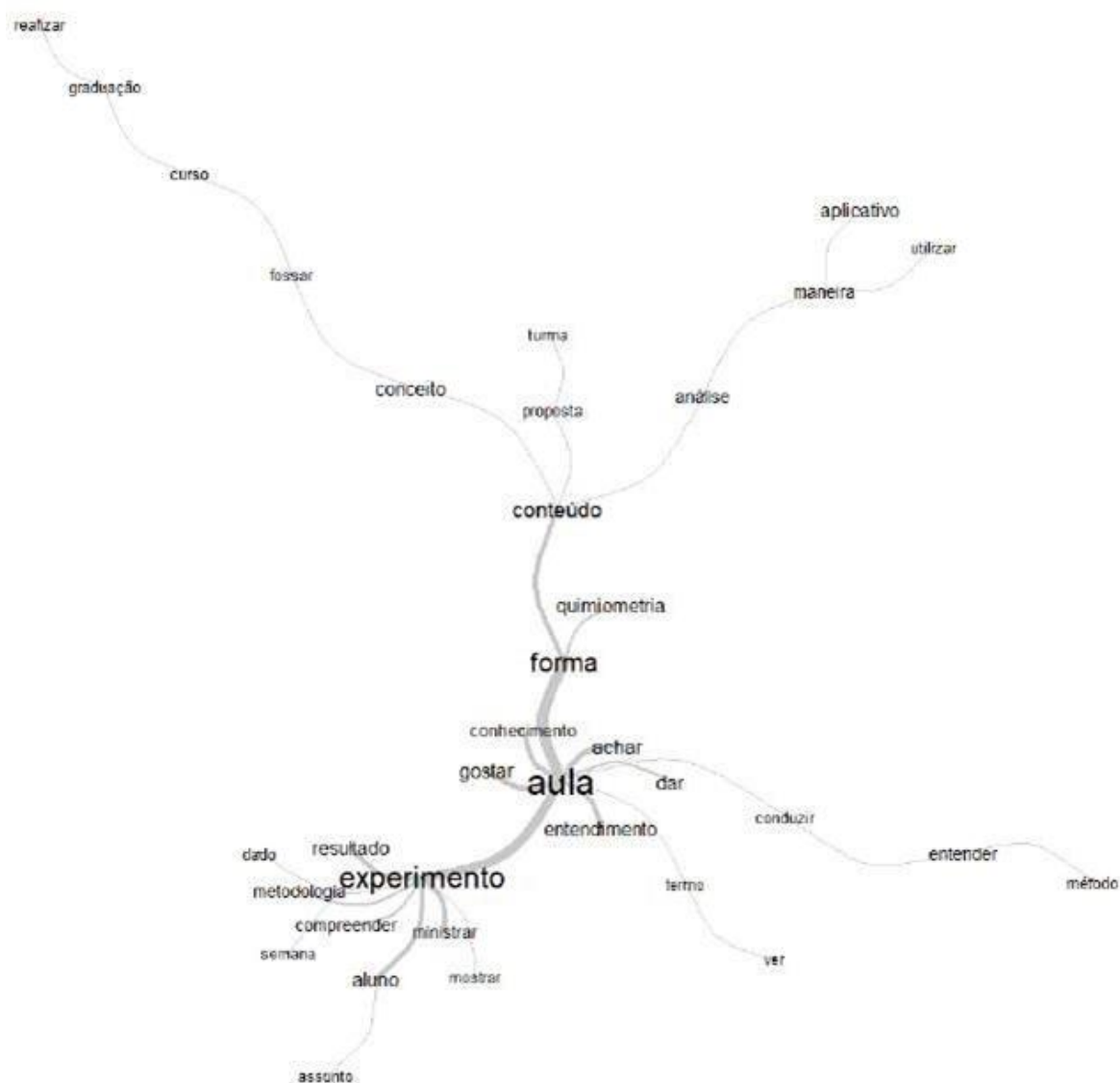


Figura 74. Análise de similitude das respostas apresentadas pelos alunos na pergunta: “Qual sua opinião a respeito do modo como as aulas foram conduzidas, incluindo o tipo de metodologia empregada e a maneira de como os experimentos foram feitos?”.

Fonte: Acervo próprio (2023).

A árvore de similitude organizou quatro grupos representativos de respostas apresentadas pelos alunos. Assim, o termo "*aula*" está centrado e conectado com os

termos "*forma*" e "*experimento*", indicando que ambos se complementam dentro do contexto das respostas.

Considerando o processo de inferências a partir destas subcategorias formadas, conclui-se que os alunos pontuaram sobre a forma como aulas e experimentos foram conduzidos, além de como a dinâmica contribuiu para compreender e entender os assuntos que foram tratados. Na subcategoria "*experimento*" apareceu a palavra "*semana*", isso indica que os alunos opinaram a respeito do tempo de aplicação destinado à oficina.

A configuração da subcategoria "*forma*" se associou ao termo "*conteúdo*". Assim, cabe destacar que os alunos também enfatizaram sobre a importância das aulas para a mobilização de conceitos da quimiometria e o seu uso em aplicações ligadas ao cotidiano, possibilitado pelo aplicativo REDGIM®. O **quadro 10** apresenta alguns trechos de respostas dos alunos.

Quadro 10. Respostas de alguns alunos a respeito da metodologia utilizada e acerca do andamento da oficina didática.

- A₁₋₂₀₂₀: *"A metodologia foi concluída de modo excepcional dando espaço e apoio aos alunos, além do prazo estipulado que foi condizente com a proposta da metodologia".*
- A₂₋₂₀₂₀: *"Muito bom e com bons conteúdos".*
- A₃₋₂₀₂₀: *"O modo foi bem leve e bom para não ficar monótono e conteudista".*
- A₄₋₂₀₂₀: *"A metodologia empregada foi excelente: introduzindo, abordando e resolvendo a problemática. A maneira de como foi feito o experimento, o suporte que tivemos, o trabalho em equipe fez parte do nosso aprendizado e foi uma excelente didática".*
- A₅₋₂₀₂₀: *"Foi o ideal para o momento que vivemos, com as aulas EAD e o distanciamento dos laboratórios. Foi importante também a disponibilidade que os responsáveis pelo projeto tiveram para nos auxiliar".*

Fonte: Autoria própria (2020) – respostas dos alunos

É extremamente gratificante para o professor acompanhar o progresso dos alunos ao longo das aulas, desde o início em que eles possuíam pouco conhecimento sobre análise multivariada de dados até o momento em que foram capazes de realizar aplicações sem um roteiro pré-determinado, participando ativamente do processo de ensino-aprendizagem. Durante a exploração da quimiometria, os alunos expressaram suas ideias e reconheceram que essa área está diretamente relacionada à resolução

de problemas sociais e químicos, além de ser um conjunto de métodos que contribui para otimizar as condições experimentais e tratar os dados de forma eficiente.

A visão geral e análise por etapas evidenciam o interesse dos alunos em participar de forma ativa e ter suas vozes ouvidas, especialmente nas áreas das ciências exatas. No entanto, lamentavelmente, a abordagem participativa nas aulas ainda é pouco comum nos cursos de graduação em Química.

5.1.3.5. Categoria 5: AEP

A incorporação da AEP, originalmente uma estratégia que enriquece os processos de ensino e aprendizagem com embasamentos teóricos e metodológicos, exerce uma influência de notável relevância na trajetória dos estudantes. Essa estratégia teórico-metodológica concede ao aprendiz a oportunidade de se tornar o arquiteto da própria edificação do saber. Inicialmente, as respostas dos alunos revelaram certo desconforto diante dessa concepção, provavelmente decorrente de sua não familiaridade com tal abordagem. No entanto, gradualmente, essa percepção foi transformada, à medida que o engajamento deles se solidificou ao longo de cada aula, permitindo a exploração abrangente de variáveis como verdadeiros profissionais da área.

5.1.3.6. Análise global e integração das categorias iniciais e subcategorias

A partir da discussão anterior no que se refere às categorias iniciais, foi possível definir as subcategorias ou categorias intermediárias que emergiram do processo de inferências. Desta forma, considerou-se a análise global destas cinco perguntas, a fim de demonstrar as inter-relações existentes entre elas. Sendo assim, as respostas apresentadas pelos alunos, referentes às cinco perguntas, foram organizadas em um único corpus e inseridas no Iramuteq® para análise.

O gráfico de Análise Fatorial Correspondente (AFC) organizou no plano cartesiano as palavras, associando-as com suas respectivas classes. Cabe frisar que as cores das palavras são representadas por suas respectivas classes, assim como o seu tamanho indica a frequência com que elas apareceram nas afirmativas dos alunos. Na **figura 75**, observa-se a disposição das cinco classes formadas de maneira na qual ficou evidente a relação entre elas.

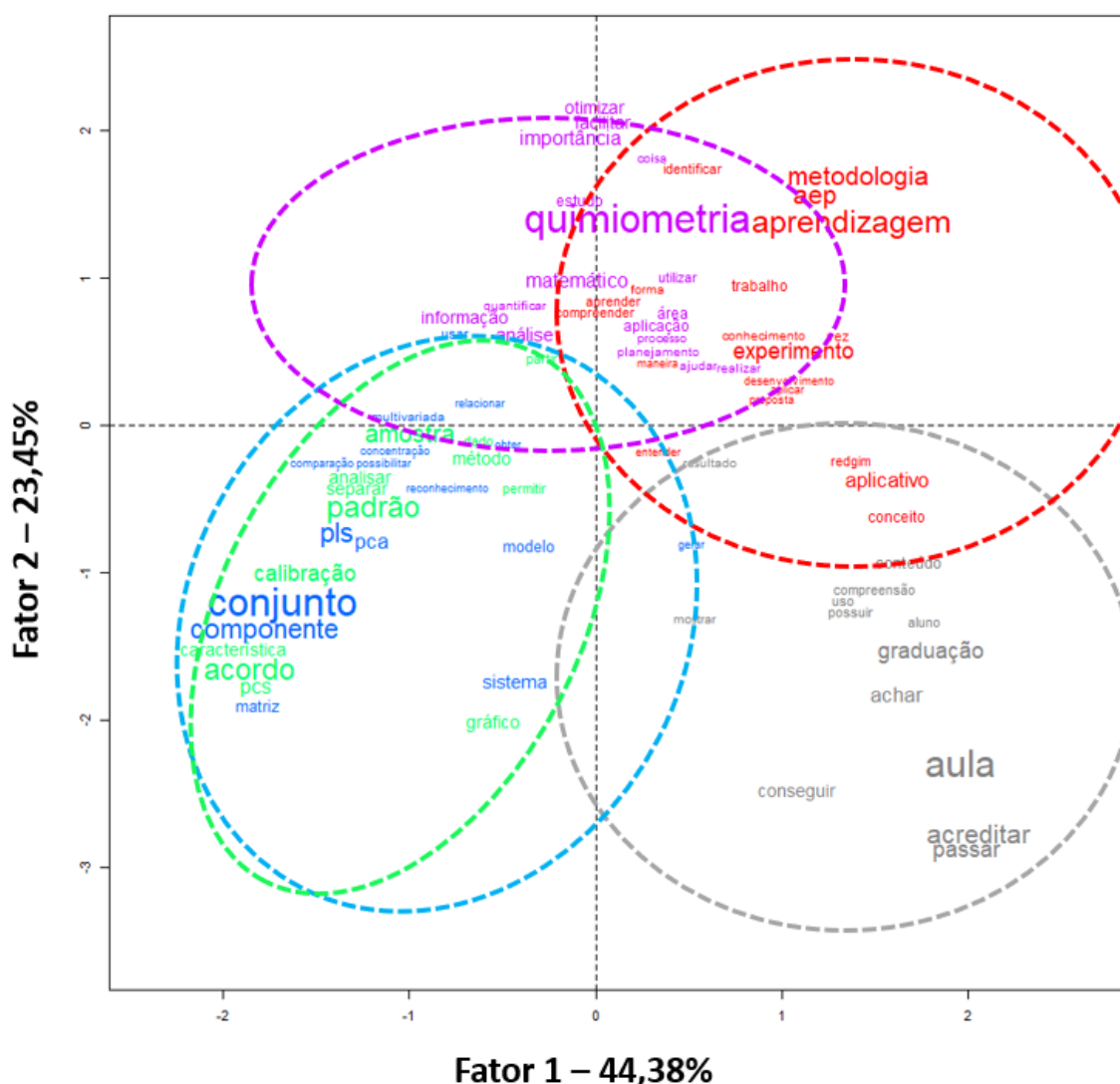


Figura 75. Representação gráfica das AFC das classes construídas na CHD.

Legenda: Classe 1 (-----); Classe 2 (-----); Classe 3 (-----); Classe 4 (-----); Classe 5 (-----).

Fonte: Acervo próprio (2023).

A classe 1 (vermelho), faz referência aos termos utilizados nas respostas dos alunos acerca da abordagem didática trabalhada por meio da AEP, assim como os recursos utilizados, tais como experimentação, tecnologia e compreensão prática dos assuntos. Percebe-se uma interseção entre esta classe, referente a AEP (categoria 5) com a classe 2 (roxo), que faz alusão à importância da Quimiometria (categoria 1). Essa interseção ocorre, pois, tanto a Quimiometria quanto a AEP têm em sua origem o objetivo de resolver problemas e auxiliar na obtenção de resultados de maneira prática.

Na classe 1, também se observa o aparecimento das palavras: REDGIM® e aplicativo (categoria 3), podendo assim afirmar que as categorias 1, 3 e 5 ficaram próximas, devido a semelhanças no conjunto de palavras expressas pelos alunos. Isso indica que os alunos destacaram a importância da quimiometria, trazendo argumentos de que o processo didático foi favorecido por meio das aulas problematizadas trabalhadas. De forma integrada, também afirmaram sobre o uso do REDGIM®, como um recurso didático-tecnológico eficiente para promoção do aprendizado das aulas.

A classe 3, em cinza, organizou as opiniões dos alunos referentes à condução das aulas (categoria 4). Percebe-se que houve proximidade desta classe com a vermelha através dos termos aplicativo e REDGIM®, enfatizando mais uma vez sobre a importância do uso da tecnologia na condução das aulas.

Em contrapartida, quando são analisados os grupamentos formados pelas classes 4 (verde) e 5 (azul), foi possível perceber uma sobreposição. Isso reflete que ambos os termos utilizados são a base dos métodos quimiométricos utilizados (categoria 2). Pelo gráfico, nota-se que ambos se aproximaram da classe 2 (em roxo), que por sua vez representa a quimiometria. Cabe afirmar que estes conceitos se agruparam no quadrante inferior à esquerda, por conta de seus termos e linguagens específicas. Além disso, considera-se que esta pergunta foi mais conceitual em relação às demais.

Com base nessa exposição, afirma-se que todo o planejamento e implementação da abordagem didática proporcionaram aos alunos uma experiência enriquecedora no que tange às tecnologias que estão sendo adotadas de maneira acessível e econômica. Essas tecnologias apresentaram-se como ferramentas capazes de oferecer auxílio na solução de questões cotidianas. É de significativa importância que os alunos, que estão trilhando o caminho para se tornarem futuros educadores, entrem em contato com esses recursos inovadores que se alinham com suas áreas de atuação. Essa interação é fundamental, visto que as esferas de Pesquisa e Ensino interagem de maneira contínua e integrada, ao invés de operarem de forma isolada. Esse entrelaçamento é especialmente valioso para abordagens específicas de resolução de problemas.

5.3. Consolidação do planejamento das oficinas didáticas

Para avaliar a efetividade do planejamento, utilizou-se a avaliação de um modo geral das oficinas aplicadas (2020 e 2021) referente às LOCS e HOCS. Visto isso e o desenvolvimento do estudo, foi delineado Indicadores de Desenvolvimento Cognitivo (IDC) visando avaliar as inteligências analítica, prática e criativa em 2022 com base Sternberg e Grigorenko (2003).

5.3.1. Avaliação das habilidades de ordens inferior e superior

Diante dos resultados obtidos nas oficinas de 2020 e 2021, visando avaliar a progressão das habilidades de ordem inferior e superior dos alunos, foi implementado um instrumento de avaliação por meio de rubricas para a coleta dos dados. (**quadro 11**). Nesse contexto, cada atividade realizada durante a interação entre professores e alunos foi integrada, objetivando diagnosticar e monitorar a evolução das aprendizagens de maneira abrangente para todas as turmas envolvidas nas oficinas conduzidas remotamente. A pontuação foi realizada com base na Escala Likert por uma escala de frequência, tendo os valores postos pelo próprio pesquisador após as análises do comportamento dos alunos diante cada situação, como uma avaliação geral dos alunos.

Quadro 11. Rubricas de avaliação das habilidades de ordens inferior e superior (continua)

AVALIAÇÃO DAS TURMAS DE 2020 E 2021 DE MODO GERAL							
PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO							
Indicadores avaliativos das Habilidades	Momentos da AEP (M)						Somatório da avaliação total das rubricas (SATR)
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5		
(I) HABILIDADES COGNITIVA DE ORDEM INFERIOR (LOCS)							
(Ia) Compreende os conceitos, leis e princípios da química.	4	4	5	5	5	R(Ia)	(23)
(Ib) Sabe identificar e fazer busca nas fontes de informações relevantes para a química.	5	5	5	6	6	R(Ib)	(27)

(II) HABILIDADES COGNITIVA DE ORDEM SUPERIOR (HCOS)							
(IIa) Possui capacidade crítica para analisar de maneira conveniente suas próprias decisões.	4	4	5	5	6	R(IIa)	(24)
(IIb) Reflete sobre o comportamento ético acerca de suas decisões e como a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, ambiental e socioeconômico.	5	5	6	6	7	R(IIb)	(29)
(IIc) Assimila os novos conhecimentos científicos e/ou tecnológicos.	3	4	5	5	6	R(IIc)	(23)
(IId) Possui curiosidade e espírito investigativo, criatividade e iniciativa na busca de soluções para resolver problemas relacionados com a química.	5	5	6	6	7	R(IId)	(29)
(IIe) Trabalha em equipe com capacidade de planejar, coordenar, executar ou avaliar atividades relacionadas à química.	5	5	6	6	7	R(IIe)	(29)
(IIIf) Conduz análises químicas e conhece os princípios básicos de funcionamento da instrumentação utilizada e os pontos positivos e limitações das diferentes técnicas de análise propostas.	4	4	5	5	6	R(IIIf)	(24)
(IIg) Identifica, cria e apresenta soluções criativas e inovadoras para problemas relacionados com a química.	4	4	5	5	6	R(IIg)	(24)
ESCALA DE FREQUÊNCIA: (1) – Absolutamente Não; (2) – Não; (3) – Na maioria das vezes não; (4) – Algumas vezes Sim, algumas vezes Não; (5) – Na maioria das vezes Sim; (6) – Sim; (7) – Absolutamente Sim.	Média total de cada momento (MT) MT(1) → (4,0) MT(2) → (4,5) MT(3) → (5,5) MT(4) → (6,0) MT(5) → (6,5)						

Fonte: Autoria própria (2022).

Para isso, considerou-se a rubrica como instrumento de avaliação e de verificação de desempenho das habilidades, seguindo critérios que foram usados para analisar as atividades realizadas e os resultados alcançados. Cada etapa da oficina de acordo com os momentos da AEP foi avaliada de um modo em geral com base na aquisição dos conhecimentos químicos e técnicos e no desempenho cognitivo globalizado. Foi estabelecida por parte do pesquisador, uma escala de frequência, para verificar a evolução referente ao ganho de habilidades: (1) se enquadra como “*absolutamente não*”; (2) “*não*”; (3) “*na maioria das vezes não*”; (4) “*como algumas*”

vezes sim, algumas vezes não"; (5) *"na maioria das vezes sim"*; (6) *"sim"* e (7) *"absolutamente sim"*, com base na escala Likert (1932). Assim, para cada rubrica, tanto aquelas de ordem inferior quanto as de ordem superior, o pesquisador atribuiu uma pontuação na escala para cada momento da AEP diante uma avaliação geral após a aplicação das oficinas. Ao final de cada rubrica, realizou-se a soma dos valores atribuídos a cada momento, como apresentado no **quadro 11** anteriormente.

Na avaliação por rubricas da aplicação das oficinas realizadas de forma remota para os alunos do curso superior em Química, inicialmente considerou-se verificar a evolução das LOCS, em relação à compreensão dos conceitos, leis e princípios da química (Ia) e o saber identificar e fazer busca de informações relevantes sobre os conteúdos abordados (Ib). No primeiro descritor da rubrica (Ia), houve um incremento das posições quatro (4) nos dois primeiros momentos da AEP para cinco (5) nos três últimos momentos. Por outro lado, na rubrica (Ib) teve a pontuação de cinco (5) nos três primeiros momentos e seis (6) nos momentos finais (M4 e M5). Constatou-se uma evolução consolidada e ascendente das aprendizagens ao longo do processo formativo, demonstrado pelo somatório da avaliação total das rubricas (SATR) com valor de "23" para o (Ia) e "27" para o (Ib). Esse processo se enquadra quando o aluno reconhece a situação problema apresentada e identifica as variáveis envolvidas, mas ainda responde de forma vaga, apresentando pouco esforço cognitivo, o que caracteriza como sendo LOCS (Suart; Marcondes, 2009).

Quanto às HCOS, destacam-se as rubricas (IIb), (IIc) e (IId), que tratam das capacidades de tomar decisões, da curiosidade e do espírito investigativo, da criatividade e da iniciativa na busca de soluções para resolver problemas; do trabalho em equipe e às condições de planejar, coordenar, executar ou avaliar atividades relacionadas à química, que começam a dar indícios dos processos cognitivos de acordo com a TIT. Essas rubricas atingiram valores maiores no STAR correspondendo a pontuação de "29". Com isso, conclui-se que no que diz respeito a aquisição de HCOS, como resolução de problemas, tomada de decisões e pensamentos críticos, por parte dos alunos, constitui-se um importante objetivo instrucional no planejamento para o ensino nas áreas da Química para a construção do saber (Zoller, 2003).

Nesse contexto, aliado ao conhecimento prévio dos alunos, observou-se uma inclinação maior para a reflexão sobre o comportamento ético na tomada de decisões, considerando como a sociedade espera sua atuação profissional e as relações com o

contexto cultural, ambiental e socioeconômico. Além disso, notou-se um aumento na curiosidade e no espírito investigativo, na criatividade e na iniciativa na busca por soluções para problemas químicos, bem como na organização e na estruturação do trabalho em equipe, demonstrando habilidades de planejamento, coordenação, execução e avaliação de atividades relacionadas à Química. Pela avaliação do quadro para esses itens, os alunos avançaram de uma situação com pontuação cinco (5) no primeiro momento, até chegar na pontuação sete (7) no último momento da AEP, sendo evidenciada a passagem de habilidades de ordem inferior para as de ordem superior como afirma Zoller e Pushkin (2007).

Nos registros das gravações em áudio e vídeo se constata que os estudantes mobilizaram suas capacidades de organização, de descrição, de operacionalização e de execução de estratégias que utilizam processos metacognitivos e cognitivos em situações de aprendizagem, como se verifica a seguir:

A₂₀₂₀₋₅: "A metodologia foi concluída de modo excepcional, dando espaço e apoio aos alunos, além do prazo estipulado para a realização dos experimentos que foi condizente com a proposta da metodologia."

A₂₀₂₁₋₂: "A metodologia empregada foi excelente: introduzindo, abordando e resolvendo a problemática. A maneira de como foi feito o experimento, o suporte que tivemos e tendo o trabalho em equipe fazendo parte de nosso aprendizado por uma excelente didática."

A₂₀₂₁₋₈: "Foi o ideal para o momento de distanciamento social no qual estamos inseridos e longe dos laboratórios da Universidade. Foi importante também a disponibilidade que os responsáveis pelo projeto tiveram para auxiliar-nos".

De um modo geral, verificou-se que em todos os itens apresentados no quadro houve um aumento da pontuação ao longo dos momentos da atividade experimental, assim como foi possível observar o desenvolvimento de aspectos relacionados à tomada de decisões, pensamento crítico e flexibilidade cognitiva durante a realização das atividades. A exposição das ideias e hipóteses formuladas, bem como o aprimoramento da argumentação científica oral, se deu na etapa de socialização dos resultados com a apresentação dos experimentos.

Tendo em nota por meio das médias obtidas respectivamente pelos cinco momentos da AEP, partiu-se da pontuação pela média total de 4,0 ao primeiro momento para a média total de 6,5 no último momento, apresentando assim uma

amplitude de 2,5. Por essa situação e pelo aumento que apresentou perante cada etapa da atividade experimental problematizada nas médias, pode-se inferir que com o passar das aulas e atividade prática, os alunos puderam ter um avanço de níveis de ordem inferior para ordem superior. Foi perceptível o estímulo aos estudantes, evidenciando progresso e indícios de aprimoramento nas inteligências (analítica, criativa e prática), sobretudo no desenvolvimento da capacidade de tomar decisões e na aplicação crítica do conteúdo aprendido em suas realidades. Isso demonstra uma notável flexibilidade cognitiva diante das situações impostas.

5.3.2. Avaliação dos indicadores de desenvolvimento cognitivo (IDC) da turma de 2022

Com o passar das aplicações das oficinas, percebeu-se a necessidade de uma avaliação diagnóstica mais elaborada sobre o ganho de habilidades e competências. Por esse motivo, em decorrência dessa pesquisa, foi desenvolvida uma ficha de avaliação metacognitiva em conjunto com os integrantes do grupo LAPEQ vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Química da UFES. A ficha de avaliação é composta por diferentes blocos (1, 2, 3, 4 e 5) que incluem a autoavaliação metacognitiva, a condição analítica, a condição criativa e as condições práticas (I) e (II), respectivamente, conforme encontrado no **apêndice I**. Esses indicadores fornecem uma análise reflexiva do desenvolvimento cognitivo do aluno em relação a diversas habilidades, representando uma abordagem avaliativa que beneficia tanto o professor quanto o aluno, ao promover uma reflexão conjunta sobre o processo de aprendizagem. A seguir serão apresentados os resultados pertinentes a essa ficha de avaliação preenchidas pelos alunos participantes da oficina, matriculados na disciplina de PPP 2 no semestre letivo de 2022/1.

No primeiro bloco da ficha avaliativa, destaca-se a etapa de autoavaliação metacognitiva com as seguintes perguntas: *P1 – Aprendi muito com a aula/sequência didática/curso/oficina; P2 – Meu conhecimento a respeito do conteúdo aumentou gradativamente até o final da aula/sequência didática/curso/oficina; P3 – A(s) metodologia(s) empregada(s) contribuiu para o meu aprendizado; P4 – Consegui obter informações que posso aplicar a minha realidade; P5 – Precisei de assuntos que já havia estudado para entender os temas ensinados na(o) aula/sequência*

didática/curso. Nesse sentido, os indicadores presentes nas cinco perguntas do Bloco 1 são direcionados à capacidade de refletir sobre os próprios processos cognitivos e monitorar a aquisição do conhecimento (Flavell, 1979). A análise desse bloco permite a quantificação dos resultados com base na avaliação realizada pelos próprios alunos em relação à sua própria autoavaliação (**figura 77**).

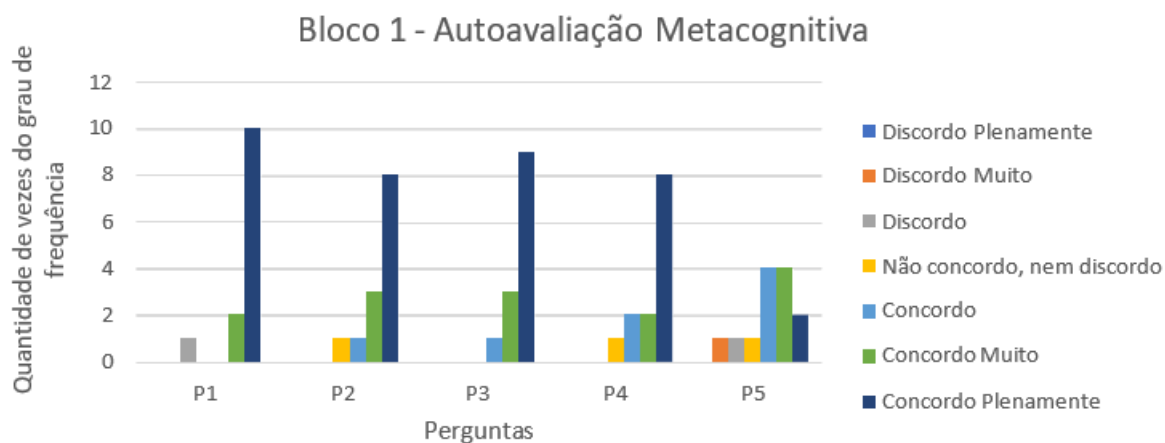


Figura 77. Gráfico das respostas dos alunos pela Escala Likert referente às perguntas do Bloco 1 sobre a autoavaliação metacognitiva acerca da oficina didática.

Fonte: Acervo próprio (2022).

As perguntas que compõem esse bloco abordam questões relacionadas à contribuição da metodologia aplicada para o aprendizado do aluno, avaliando o aumento gradativo de conhecimento ao longo das aulas, além de verificar se o aluno precisou de conhecimentos prévios para compreender o conteúdo trabalhado. As perguntas foram levantadas com o objetivo de permitir que o aluno fizesse uma avaliação geral de sua experiência em relação ao conhecimento visto e adquirido durante a oficina. Elas visaram fornecer um panorama sobre o progresso do aluno e sua percepção do aprendizado durante o curso.

Em seu estudo, Rhodes (2019) descreve que a metacognição é descrita como um conjunto contínuo de procedimentos pelos quais o próprio sujeito monitora seu comportamento diante de diversas situações. Ao mensurar a metacognição, é importante considerar como as atividades estão sendo desenvolvidas e analisadas. Um mesmo aluno pode demonstrar um nível maior de reflexão sobre suas estratégias em tarefas consideradas mais fáceis do que em tarefas mais difíceis, tendo como referência suas experiências vivenciadas (Fleming; Lau, 2014).

Diante da primeira pergunta (P1) do Bloco 1, dez alunos responderam com grau de concordância 7, que diz respeito a concordo plenamente, dois alunos responderam com concordo muito e apenas um aluno respondeu com discordo. Com base nos resultados obtidos para a primeira pergunta (P1), verificou-se que dez alunos concordaram plenamente, dois concordaram muito e apenas um discordou. Em contrapartida, na pergunta quatro (P4), que aborda a aplicabilidade das informações no cotidiano dos alunos, oito alunos concordaram plenamente, dois concordaram muito, dois concordaram e apenas um respondeu de forma neutra (concordo, nem discordo). Esses resultados indicam que grande parte dos alunos participantes da oficina conseguiram assimilar o conteúdo estudado e perceberam a relevância de aplicá-lo em suas vidas cotidianas. Além disso, a metodologia utilizada, a AEP, mostrou-se como uma boa estratégia para o processo de ensino-aprendizagem.

Quando se trata de metacognição, também é incluído o aporte sobre o processo no qual os estudantes procuram por contradições entre “o que é conhecido” e “o que deveria ser conhecido”. Essas contradições podem levar a uma certa instabilidade no aluno, que por conseguinte, será seguido por ajustes ao longo das práticas do seu processo de aprendizagem que resultam em suas aplicações envolvendo novos aprendizados, restabelecendo assim o equilíbrio. Dessa forma os alunos se autorregulam inserindo estratégias para diminuir quaisquer deficiências (Wenning; Vieyra, 2020).

Quando abordamos a metacognição, é importante considerar a autorregulação, um processo que se caracteriza como uma interseção entre a metacognição, motivação e comportamento, desempenhando um papel crucial na forma como as pessoas conceituam, se esforçam e alcançam seus objetivos. Esse processo é fundamental para a mudança de comportamento, independentemente do contexto em que os alunos estejam inseridos (Frazier; Schwartz; Metcalfe, 2021).

A concepção do processo de autorregulação no aluno está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento de competências que permitem promover o aprendizado de forma realista, organizada e progressiva. Isso envolve a capacidade de identificar o que precisa ser aprendido, planejar e organizar o conhecimento, estabelecer objetivos claros e selecionar estratégias adequadas para a realização das atividades propostas (Beber; Silva; Bonfiglio, 2014).

Salienta-se que a autorregulação está intimamente ligada à cognição, emoção, motivação, objetivo e ao motivo para a ação. Dessa forma, o professor deve ter por consciência utilizar estratégias que incentivem o aprendizado constante de diferentes maneiras, permitindo que o aluno encontre a abordagem que melhor se adeque às suas expectativas, facilitando assim a superação de barreiras e obstáculos no processo educacional (Beber; Silva; Bonfiglio, 2014; Sanmartí, 2009).

Diante de tudo o que foi apresentado anteriormente em relação às definições de metacognição e autorregulação, torna-se evidente que essas questões devem ser abordadas ao longo da vida acadêmica do aluno, por meio de estímulos e incentivos. No entanto, constata-se que essa abordagem ainda não ocorre na proporção ideal ou, em muitos casos, quase não acontece. De fato, isso pode ser evidência de que alguns alunos ainda não possuem total controle sobre os processos de metacognição e autorregulação, ou que não se sintam estimulados a exercitar essas habilidades. As respostas como "discordo", "discordo muito" e "não concordo nem discordo" referente às perguntas do Bloco 1, podem ser indícios de que esses alunos têm a probabilidade de estarem menos envolvidos no monitoramento de seus próprios processos cognitivos e comportamentais, o que pode afetar seu engajamento das atividades propostas, por não estarem habituados a tal processo de regulação.

Dando continuidade ao processo de investigação pela análise dos resultados da ficha de avaliação, as perguntas dos blocos 2, 3, 4 e 5 fazem menção às esferas pertinentes à teoria da inteligência triárquica proposta nos estudos de Sternberg e Grigorenko (2003). Nas perguntas do Bloco 2 buscou-se analisar a condição analítica dos alunos com as seguintes perguntas: *P6 – Identifiquei problemas a serem solucionados; P7 – Organizei as informações sobre tarefas a serem executadas; P8 – Estimeei o tempo necessário para executar as etapas de cada tarefa; P9 – Monitorei a execução das estratégias planejadas; P10 – Avaliei as soluções ligadas ao problema investigado; P11 – Comparei os resultados encontrados com os resultados previstos.* Isto é, como eles lidaram com o processamento cognitivo diante de situações e desafios, o monitoramento e planejamento das tarefas, bem como a avaliação das soluções encontradas para os problemas propostos. A **figura 78** apresenta as pontuações obtidas pelos alunos nas perguntas desse bloco.

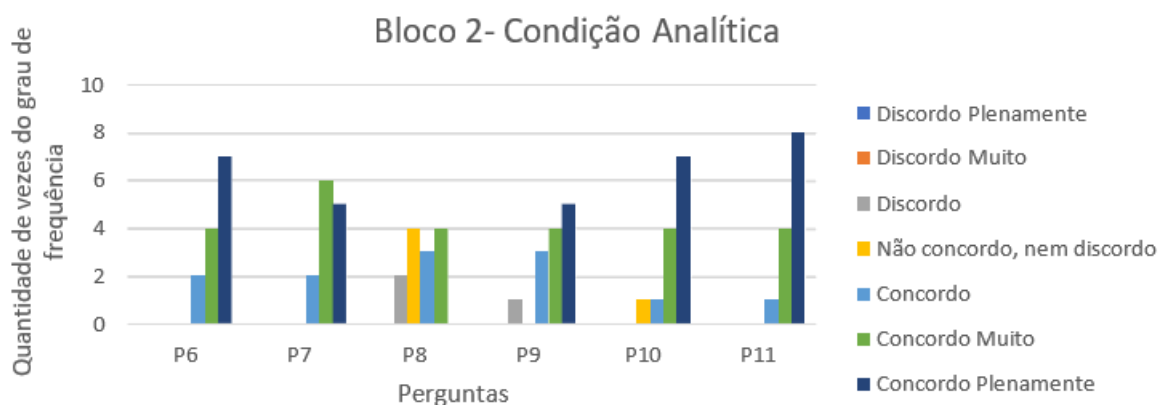


Figura 78. Gráfico das respostas dos alunos pela Escala Likert referente às perguntas do Bloco 2 da ficha de avaliação sobre a condição analítica.

Fonte: Acervo próprio (2022).

O questionamento feito aos alunos na sexta pergunta (P6) buscou avaliar sua capacidade de identificar os problemas a serem solucionados, e os resultados obtidos apresentaram um total de sete respostas em concordo plenamente, quatro respostas sendo concordo muito e duas respostas como concordo. Estes resultados podem ser atribuídos à estrutura organizacional das aulas, à natureza dos problemas apresentados em cada experimento e à forma como os assuntos abordados foram contextualizados, tornando-os relevantes e significativos em relação à realidade dos estudantes como futuros professores, visto que foi realizado em uma turma de licenciandos.

Por outro lado, ao analisar as repostas da oitava pergunta (P8), percebe-se que a questão da organização do tempo para a realização desses procedimentos ainda requer atenção e estímulo. Isso é evidenciado pelo fato de que esta pergunta obteve a maior pontuação em termos de frequência de respostas em discordância. Essa discrepância pode sugerir a necessidade de aprimoramento na gestão do tempo dedicado aos procedimentos, visando a melhorar a eficiência e o aproveitamento das atividades propostas.

O controle do tempo estimado para a realização de tarefas é uma habilidade relacionada ao processo de autorregulação. Contudo, pode-se observar que em algumas situações essa habilidade não é frequentemente trabalhada, o que pode comprometer a situação. Um estudo conduzido por Kandhal; Vishnu; Gayathri (2021) com estudantes universitários constatou que mais da metade dos participantes

apresentaram habilidades moderadas em relação ao gerenciamento de tempo, evidenciando a necessidade de implementação de estratégias e programas para aprimorar esse aspecto. Os resultados mostraram que a consciência do gerenciamento de tempo para realização de atividades pelos estudantes foi avaliada como de nível moderado abaixo em mais da metade dos casos.

Dessa forma, as respostas da P8 indicaram que alguns alunos podem ter enfrentado mais dificuldades nessa categoria. Isso pode ser um indício de que em possíveis aplicações futuras, deve-se enfatizar na oportunidade de aprimorar o aperfeiçoamento e desenvolvimento desse processo da autorregulação do tempo, para auxiliar os alunos a se tornarem mais proficientes nesse desafio e na busca de soluções adequadas.

Com o que diz respeito à nona pergunta (P9), destaca-se o indicativo de que se o próprio aluno apresentou capacidade diante o monitoramento da execução das estratégias planejadas. Visto isso, sete alunos disseram que monitoraram as execuções, marcando como “*concordo plenamente*”, quatro alunos como “*concordo muito*”, um aluno para “*concordo*” e um para “*discordo*”.

Quem está aprendendo assume um papel como construtores ativos dos seus próprios significados, objetivos e estratégias a contar das informações disponíveis no ambiente no qual está inserido e das próprias informações que carrega consigo. Assim sendo, o aprendiz não é apenas receptor passivo de informações dos mediadores, mas sim produtor de conhecimento de modo significativo conforme avança em seu processo de aprendizado (Pintrich, 2000).

A autorregulação entendida como um nível específico de habilidade adquirida, depende de vários processos relacionados à tarefa realizada, como planejamento, estratégia, desenvolvimento de proficiência motora e automonitoramento da execução de processos planejados (Schunk; Zimmerman, 1997). Alguns modelos de estudo sobre esses processos assumem que os alunos podem potencialmente monitorar, controlar e regular certos aspectos de sua própria cognição, motivação e comportamento, bem como algumas características de seus ambientes. Esse levantamento não significa que os alunos irão ou poderão monitorar e controlar a motivação, o comportamento e a cognição a todo momento e em todos os contextos. Destaca-se que algum monitoramento, controle e regulação são possíveis diante as

adversidades, levando em consideração também que existe o fator da limitação biológica, de desenvolvimento contextuais e individuais que podem vir a dificultar ou envolver-se nos esforços de regulação de cada aluno (Pintrich, 2000).

A metacognição e a condição analítica estão intimamente ligadas por questões de processos de autorregulação como dito anteriormente. Outro pilar que também reflete nesses fatores é relativo à condição criativa, principalmente pelo respaldo para situações que se utilizam de resolução de problemas. Ao confrontar-se com a tarefa de resolver problemas, os indivíduos requerem uma abordagem criativa para oferecer soluções diferentes daquelas com as quais estão familiarizados e uma analítica para compreender a situação-problema e avaliar soluções viáveis. Além disso, necessitam de uma abordagem prática para formular soluções concretas e uma abordagem sábia e cuidadosa para garantir que suas ideias e reflexões beneficiem outras pessoas além de si mesmos e seus aliados (Sternberg et al., 2021).

Em consonância, o Bloco 3 da ficha aborda a condição criativa dos alunos, focando nas questões relacionadas à capacidade criativa na resolução de problemas e na habilidade de lidar com erros encontrados. Nesse bloco se concentra as seguintes perguntas: *P12 – Redefini problemas com outros participantes para interpretar os resultados obtidos; P13 – Questionei suposições para estimar os resultados esperados; P14 – Apresentei aos colegas ideias criativas para elaborar uma interpretação dos resultados; P15 – Gerei ideias para propor um novo caminho para uma atividade em andamento; P16 – Considerei possíveis alternativas para explicar diferentes aspectos de um fenômeno; P17 – Superei obstáculos surgidos ao revisar determinado procedimento de trabalho; P18 – Fui ousado em me posicionar diante de erros identificados em protocolos consolidados; P19 – Realizei um procedimento proposto utilizando caminhos alternativos; P20 – Fui perseverante para alcançar resultados positivos ao realizar uma tarefa que sempre dava errado; P21 – Descobri interesses verdadeiros para realizar o procedimento de trabalho proposto; P22 – Desenvolvi com paciência uma atividade demorada; P23 – Usei a criatividade para produzir algo relacionado à inovação e à solução de problemas.* A **figura 79** apresenta as respostas sobre as doze perguntas estabelecidas para essa condição.

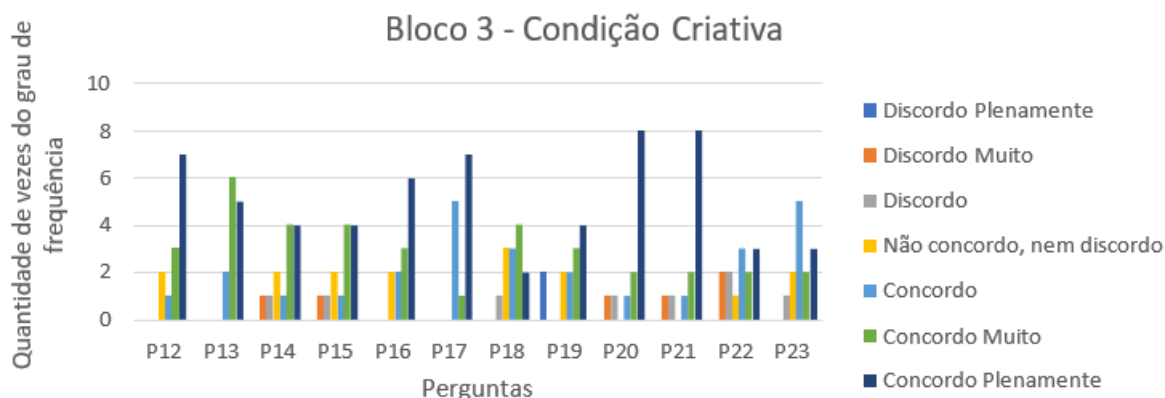


Figura 79. Gráfico das respostas dos alunos pela Escala Likert referente às perguntas do Bloco 3 sobre a condição criativa.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Na dimensão da criatividade, não se limita apenas ao ato de pensar, mas também à autorreflexão de cada indivíduo sobre a forma como pensam e como poderiam aprimorar suas abordagens, ou seja, a avaliação metacognitiva do processo criativo diante dos desafios para a resolução de problemas (Deffendi; Schelini, 2016). Nesse contexto, é importante ressaltar que esse atributo não é adquirido de forma imediata, mas sim por meio de esforço e treinamento, onde a cognição do aluno deve ser estimulada frente a tais situações.

Como demonstrado na décima oitava pergunta (P18), foi questionado se o aluno teve coragem de posicionar-se diante dos erros identificados pelos protocolos estabelecidos, e as respostas a essa pergunta, em comparação com as demais, foram as que apresentaram os valores mais baixos. Isso pode ser evidenciado, possivelmente, pela falta de ênfase nesse aspecto ao longo da trajetória acadêmica do estudante, já que, em sua grande maioria, as aulas práticas experimentais nas Universidades ainda são conduzidas por meio de roteiros a serem seguidos, sem a inserção de problemas a serem enfrentados. Nessa condição, o aluno fica restrito a verificar e comprovar apenas o que lhe foi solicitado, não sendo estimulado a desenvolver habilidades criativas para solucionar desafios.

Das respostas obtidas para P18, quatro alunos disseram que concordam muito, três com concordo, três com não concordo e nem discordo e um com discordo. Ter coragem para avaliar um erro e encontrar soluções para a situação requer a definição de princípios que norteiam os objetivos a serem alcançados, estabelecendo

instrumentos para a ação e escolhendo os caminhos para executar esse processo, com análise cuidadosa das etapas envolvidas (Buriasco, 2000).

Santos e Mortimer (2001) citam em seu estudo uma sequência de passos descritos por Ratcliffe (1997) acerca da tomada de decisões. Essas etapas incluem: identificação dos possíveis procedimentos de ação em relação ao problema; desenvolvimento de critérios adequados para comparar os procedimentos alternativos de ação; clarificação da informação conhecida sobre as possíveis alternativas; avaliação das vantagens e desvantagens de cada alternativa; escolha de uma alternativa baseada na análise empreendida e avaliação do processo de tomada de decisão escolhido, identificando possível melhora.

Fazer o monitoramento de todos esses pontos diante da resolução de problemas não é uma etapa fácil, especialmente quando se trata de situações relacionadas a assuntos que os alunos estão enfrentando pela primeira vez. Isso pode influenciar as respostas das outras perguntas do Bloco 3, que se baseia na tomada de decisões, busca por rotas alternativas diante de erros encontrados e troca de ideias entre os colegas de grupo, como pode ser visto nas respostas “*discordo*” e “*discordo muito*” para as perguntas 14, 15, 18, 20, 21, 22 e 23. Mas em contrapartida, nas perguntas 20 e 21 foram as que tiveram os maiores índices de concordância para a resposta concordo plenamente, contando com oito vezes em ambas as perguntas. Esse ocorrido pode ser explicado por meio das vivências e experiências individuais de cada aluno, como discutido anteriormente, o que influencia no modo de como ele vai lidar com esse momento.

Por fim, os resultados dos blocos 4 e 5 são apresentados, abrangendo o aspecto prático, ou seja, as ações que o aluno realiza para cumprir suas estratégias e o trabalho em equipe. A inteligência prática abrange a habilidade de lidar com diferentes tipos de problemas que surgem na vida, tomar decisões e colocar ações em prática. Isso implica na aplicação de componentes de modo a se adaptar a eles, moldá-los e selecioná-los. Assim, a inteligência prática se manifesta na capacidade de equilibrar os modos de adaptação, moldagem e seleção conforme o contexto, circunstâncias e opções de ação disponíveis no ambiente (Sternberg, 2005).

Na ficha de avaliação as perguntas que se encontram na condição prática, foram divididas em dois blocos: condição prática (I), com as seguintes perguntas:

P24 – Senti-me motivado para concluir a tarefa requerida; P25 – Controlei meus impulsos para fazer cuidadosamente as atividades propostas; P26 – Perseverei na realização das tarefas, mesmo diante de situações adversas; P27 – Usei adequadamente minhas habilidades para a tomada de decisão sobre questões surgidas; P28 – Fui capaz de transformar as ideias em ações, administrando os recursos disponíveis; P29 - Gerenciei adequadamente os erros de processos, resolvendo problemas surgidos; P30 – Fui capaz de decidir sobre um caminho a ser seguido, iniciando o processo de trabalho; P31 – Fui capaz de completar as tarefas programadas, concluindo-as de modo satisfatório; P32 – Tive segurança para sugerir alternativas possíveis para a resolução de tarefas complexas; P33 – Decidi fracionar a execução de uma tarefa complexa, cumprindo-a em partes, a fim de evitar o adiamento do seu início. Essas perguntas fazem alusão ao Bloco 4.

Em contrapartida, as perguntas pertinentes da condição prática (II) – Bloco 5, foram utilizadas da seguinte maneira: *P34 – Contribui para executar as tarefas junto ao grupo de trabalho, reconhecendo as minhas falhas/limitações; P35 – Tive disposição para refazer tarefas sem deixar que a frustração me impedisse de tentar outra vez; P36 – Gerenciei as distrações/falta de concentração em situações de trabalho; P37 – Organizei previamente os afazeres em um planejamento a ser seguido; P38 – Compreendi o contexto geral de determinada situação, o que possibilitou estabelecer prioridades; P39 – Equilibrei minhas habilidades de analisar, de criar e de aplicar novas ideias na resolução de problemas; P40 – Tive confiança para avaliar se não fui/fomos apressado(s) ao escolher o procedimento adequado frente a um problema.*

As **figuras 80 e 81** mostram a mensuração dos dados coletados para o campo da condição prática (I) e (II). A decisão de dividir as questões em dois blocos deve-se à intenção de equilibrar o número de perguntas em cada bloco da ficha de avaliação. Como a oficina foi direcionada para a experimentação, optou-se por estruturar o bloco da condição prática com um maior número de indicadores para avaliar de forma abrangente essa dimensão do aprendizado.

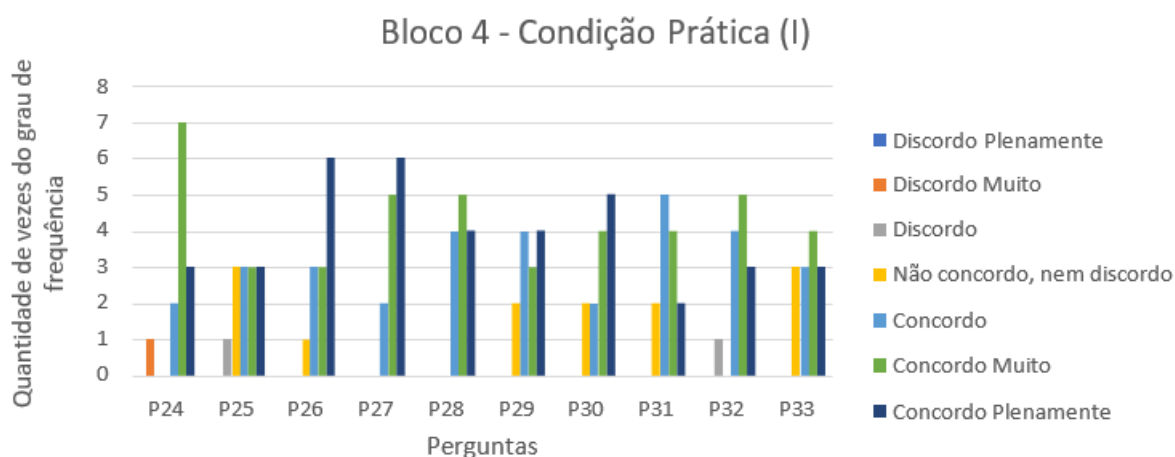


Figura 80. Gráfico das respostas dos alunos pela Escala Likert referente às perguntas do Bloco 4 sobre a condição prática (I).

Fonte: Acervo próprio (2022).

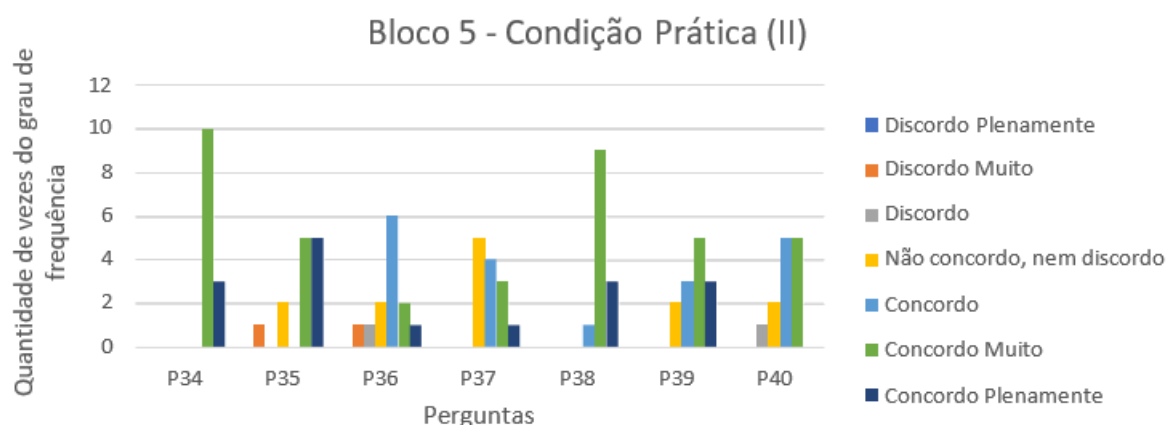


Figura 81. Gráfico das respostas dos alunos pela Escala Likert referente às perguntas do Bloco 4 sobre a condição prática (II).

Fonte: Acervo próprio (2022).

É fundamental ressaltar que a medição e um diálogo eficiente entre os estudantes e o docente desempenham um papel crucial no desenvolvimento das condições práticas, proporcionando estímulo e segurança para cada ação. Isso pode ser evidenciado pelas respostas obtidas nas perguntas 28 e 38, bem como pelas demais respostas em conjunto, destacando que a abordagem utilizada nas aulas contribuiu para o possível desenvolvimento de habilidades e competências tanto de ordem inferior como de ordem superior nos alunos.

Por outro lado, graus de concordância como discordo muito e discordo apareceram nas perguntas 24,25,32,35,36 e 40. Essas perguntas envolvem aspectos como motivação, controle de autorregulação para tomada de ações, ser determinado em suas opiniões para a resolução de problemas, vontade de refazer os procedimentos que deram errados, gerenciamento de distrações e confiança na avaliação dos resultados. É importante considerar que o surgimento de respostas com esses graus de concordância pode estar relacionado com alguns fatores, como o surgimento frequente de interferentes para as análises químicas por meio de imagens, vide que foi a primeira vez que eles estavam tendo contato com este tipo de técnica, então eles estavam se adaptando, e o grande volume de aulas experimentais durante a oficina. Esse último argumento pode ser levado mais em conta, pois era a primeira vez também que os experimentos estavam sendo aplicados de forma presencialmente e com uma carga horária maior da oficina, devido ao processo de validação dessa parte, o que pode ter acarretado certa desmotivação por parte de alguns alunos.

Com efeito, é essencial enfatizar que, considerando o panorama geral, esses aspectos não desvalorizam a eficácia da condução das aulas. As outras respostas e o desempenho dos alunos nas argumentações, no desenvolvimento dos experimentos e nas explicações de possíveis erros evidenciaram o estímulo e a melhoria nas capacidades operacionais, argumentativas e críticas, com o aluno assumindo o papel de construtor do seu próprio conhecimento.

É crucial destacar que as habilidades cognitivas almejadas na formação dos estudantes de Química estão intrinsecamente ligadas às capacidades de compreensão, busca de informação, comunicação e expressão, criação, inovação e aplicação dos conhecimentos químicos. Nesse sentido, uma abordagem diferenciada no ensino de Química pode evidenciar suas habilidades de interpretação, objetividade e criatividade, bem como aprimorar seu desempenho acadêmico, permitindo que os estudantes se tornem solucionadores de problemas mais eficazes em situações semelhantes.

Diante disso, fica evidente que a proposição de uma estratégia teórica e metodológica para o Ensino de Química deve proporcionar as condições necessárias para promover aprendizagens formativas e desenvolver as habilidades cognitivas essenciais para a resolução de problemas e formulação de questões de pesquisa objetivas. Nesse contexto pelos resultados obtidos, os ideais de Zoller e Tsaparlis

(1997) podem se encontrar em harmonia com a base da teoria da inteligência triárquica proposta por Sternberg, que aborda os aspectos analítico, criativo e prático, os quais foram destacados anteriormente, na busca de habilidades na área da Química.

O estado analítico se baseia nos componentes executivos utilizados pelo sujeito para realizar uma tarefa e na forma como ele adquire informações, conhecimento e aprendizado em relação a um assunto novo. Por outro lado, o aspecto criativo é evidenciado quando a pessoa encontra uma situação relativamente nova e consegue resolvê-la de forma criativa. Por fim, o lado prático se refere à inteligência relacionada à adaptação ao ambiente real e às adversidades enfrentadas. Em resumo, a inteligência triárquica é demonstrada quando as pessoas utilizam processos para assimilar informações, situações e tarefas novas ou tornar seu processamento automático com o objetivo de se adaptar, moldar e selecionar ações em relação ao ambiente em que se encontram (Sternberg *et al.*, 2001).

Ao final da ficha de avaliação respondida pelos alunos, havia três perguntas acerca dos conteúdos abordados, propostas e problematizações feitas; o próprio método da ficha de avaliação pelos indicadores metacognitivos e sobre o que poderia ser melhorado nas aulas para mediação do conteúdo para o ensino de Quimiometria na graduação por meio do REDGIM®. No **quadro 12**, pode-se verificar as respostas dos alunos para a primeira pergunta.

Quadro 12. Respostas dos alunos sobre o que eles achavam a respeito do conteúdo abordado ao longo das aulas e as problematizações.

1. Com suas palavras, o que você achou a respeito do conteúdo abordado ao longo das aulas e de como as problematizações e propostas foram realizadas?

- A₁₋₂₀₂₂: “O conteúdo das aulas tem muita utilidade no dia a dia. Toda essa utilidade vem da problematização feita em sala. O conteúdo junto a problematização gerou debates e diálogos em Sala. Acho tudo muito interessante e pretendo usar futuramente”.

- A₂₋₂₀₂₂: “Achei muito interessante particularmente o conteúdo, pois foi um conteúdo que até então eu não tinha visto nem na licenciatura. Com relação à problematização, achei que foi muito bem pensada e realizada, pois trouxe conteúdos presentes no nosso cotidiano, contribuindo para nosso desenvolvimento como indivíduo, aluno e professor em formação”.

- A3-2022: *“As problematizações abordadas em sala foram de extrema importância para o desenvolvimento das aulas e aplicação da metodologia de interesse. Isso porque, despertou-nos curiosidade e maior interesse de participar da evolução das aulas. A AEP facilitou nosso conhecimento e correlacionou com nosso conhecimento intrínseco”.*
- A4-2022: *“Gostei muito, pois enquanto futuros professores é muito interessante ver metodologias que tratam conceitos tão importantes ao ensino de Química”.*
- A5-2022: *“Achei muito interessante a contextualização das aulas, abordando um assunto pouco falado na graduação, que é a Quimiometria. A abordagem foi bem-feita”.*
- A6-2022: *“O conteúdo em si é bem complexo e as vezes maçantes, mas acho que foi bem distribuído e consegui entender o que queria ser passado. As problematizações foram bem encaixadas com as práticas, explicando como o problema seria resolvido com o experimento, o que nos ajuda também a fixar o assunto”.*
- A7-2022: *“Achei muito interessante, pois os conteúdos abordados foram ricamente contextualizados o que gerou interesse nos assuntos, produzindo aprendizagem significativa”.*
- A8-2022: *“O conteúdo teórico encaixou muito bem com a prática realizada e as problemáticas levantadas, assim, o processo de aprendizagem teórico e experimental se encaixaram muito bem”.*
- A9-2022: *“Os conteúdos conversaram com as problematizações e se mostraram relevantes parcialmente, o que pode facilitar a aprendizagem”.*
- A10-2022: *“Achei que o conjunto conteúdo mais metodologia combinaram perfeitamente e proporcionaram um entendimento mais efetivo e gradual”.*
- A11-2022: *“Conteúdo interessante devido a contextualização com os temas atuais, fazendo links com as matérias de uma forma com que ficassem mais fáceis de serem entendidas”.*
- A12-2022: *“Gostei muito de como a matéria foi passada. Com uma ênfase na postura do professor Bruno, que como um bom professor entende que uma sala de aula é composta por pessoas diferentes que interagem de maneira diferente com o meio. As problematizações e propostas feitas perpassam modos, distintos de compreensão levando a uma maior e melhor compreensão do tema proposto”.*
- A13-2022: *“O conteúdo é muito importante para aqueles que pretendem atuar na área de Química Analítica e para nós como químicos, as problematizações foram adequadas assim como as propostas feitas e uma forma eficiente de se ensinar Quimiometria na graduação, visto que é um assunto tão complexo”.*

Fonte: Dados da pesquisa (2022) – respostas dos alunos.

De fato, no contexto educacional, especialmente nos processos de ensino-aprendizagem, é crucial que o professor empregue uma variedade de estratégias para tornar as aulas mais envolventes e eficazes. A utilização da experimentação, problematização, questionamentos e formulação de perguntas é uma dessas estratégias, que pode promover uma aprendizagem mais significativa e estimulante para os alunos. No entanto, é importante reconhecer que alguns professores ainda

podem enfrentar dificuldades em desenvolver planejamentos que incorporem essas abordagens de forma efetiva e significativa (Cárdenas, 2021).

Um bom planejamento e a utilização de métodos e estratégias adequadas ajuda o professor a organizar o processo de ensino e aprendizagem, garantindo uma maior efetividade para o seu objetivo no que deseja alcançar. O processo de planejamento em uma aula envolve a determinação dos objetivos, a sequência de organização de cada aula, os métodos de ensino envolvidos e a avaliação dos resultados obtidos pela sua aplicação, tanto por parte do aluno quanto do professor (Emiliasari; Jubaedah, 2019 ; Wei *et al.*, 2016).

Todos os aspectos mencionados têm ligação direta no processo de entendimento e formação do aluno. Ao adotar aulas com objetivos claros e proposições bem definidas, o aluno pode se engajar mais ativamente em seu processo de aprendizado, compreendendo melhor os conceitos e desenvolvendo habilidades relevantes para sua formação como futuro profissional. Vale também acrescentar que a junção da prática com a teoria por meio do método didático-experimental, de maneira exposta aos detalhes para os alunos, torna o conteúdo menos abstrato e com maior significado para o aluno.

As respostas dos alunos, como citadas nas respostas (A₆₋₂₀₂₂, A₇₋₂₀₂₂ e A₁₃₋₂₀₂₂), refletem o quanto uma abordagem pedagógica focada em problematização, questionamento e formulação de perguntas pode ser benéfica por meio da experimentação. Portanto, ao considerar esses aspectos e aplicar estratégias que promovem o lado investigativo do aluno, os professores podem contribuir para o desenvolvimento integral do aluno, proporcionando-lhes uma estrutura que faz uso da práxis Química de forma valiosa que possa ser usada nas suas trajetórias educacionais e profissionais.

A ficha de avaliação, desenvolvida recentemente e aplicada pela primeira vez com esses alunos, incluiu uma pergunta sobre a percepção dos alunos em relação à autoavaliação pelos indicadores apresentados e possíveis melhorias que possam ser feitas. As respostas levantadas por eles estão no **quadro 13**.

Quadro 13. Respostas dos alunos sobre a percepção dos alunos em relação à autoavaliação pelos indicadores apresentados e possíveis melhorias que possam ser feitas.

2. Sobre o método de avaliação referente a essa ficha, o que você achou de interessante? Deixe também contribuições para o que possa ser melhorado.

- A₁₋₂₀₂₂: “Os blocos 1,3 e 4 são muito interessantes e tratam de condições bem mensuráveis, acho que é uma boa autoavaliação. Porém o 2, precisa ser um pouco melhorado, já que algumas perguntas não parecem quantificar bem o que é questionado como a pergunta 9”.

- A₂₋₂₀₂₂: “Achei uma ficha bem elaborada, porém com algumas perguntas repetitivas em diferentes blocos e outros que não se encaixavam bem na categoria que estão. Por exemplo; a pergunta 21 achei um pouco associada do bloco de condição criativa. Já nos blocos 3 e 4 muitas perguntas são repetitivas”.

- A₃₋₂₀₂₂: “A ficha avaliativa introduz um método de autoavaliação em diferentes esferas: metacognitiva, analítica, criativa e prática. É importante que façamos a ficha usando nosso pensamento crítico em relação a nós mesmos. Cada bloco é regido por diferentes contextos que possibilitam identificação dos atributos de construção do conhecimento”.

- A₄₋₂₀₂₂: “Entre outros a subjetividade desta avaliação”.

- A₅₋₂₀₂₂: “Creio que a ficha é bem abrangente na forma de categorizar e classificar”.

- A₆₋₂₀₂₂: “Gostei da quantidade de opções que foram expostos, assim, conseguindo mostrar exatamente o que eu estava pensando, e também é mais fácil já ter uma resposta e apenas dar uma nota o quanto concorda ou discorda”.

- A₇₋₂₀₂₂: “Achei interessante e ao mesmo tempo diferente o fato de poder refletir sobre minha própria aprendizagem. Melhorias podem ser feitas a respeito das especificidades das perguntas”.

- A₈₋₂₀₂₂: “Este método de avaliação consegue diagnosticar diversos pontos do processo de ensino, porém, creio que seja muito extenso”.

- A₉₋₂₀₂₂: “O método é uma boa maneira de autoavaliação sobre a parte atitudinal no desenvolver da oficina. Entretanto, ele não permite a avaliação da aquisição do conhecimento químico, logo precisa ser complementada com outros instrumentos”.

- A₁₀₋₂₀₂₂: “O legal é que ela pode analisar o processo por diversas perspectivas e assim conseguir um resultado mais preciso”.

- A₁₁₋₂₀₂₂: “O interessante foi a liberdade criativa dada para responder”.

- A₁₂₋₂₀₂₂: “Gostei muito dessa avaliação por possuir abordagens distintas que nos traz uma melhor compreensão do todo”.

- A₁₃₋₂₀₂₂: “Mais ou menos, acho mais interessante um método qualitativo no qual o aluno(a) possa ter uma escrita corrida a respeito de suas percepções e sobre o que aprendeu”.

Fonte: Dados das pesquisas (2022) – respostas dos alunos.

Conhecer a opinião dos alunos sobre o modo de avaliação é fundamental para aprimorar o planejamento de futuras aulas e adequar melhorias. Ao aplicar a ficha de avaliação pela primeira vez e com essa turma, foi possível obter um diagnóstico

notável sobre os pontos levantados pelos alunos, permitindo uma análise reflexiva do método de avaliação metacognitiva empregado, bem como uma participação efetiva na evolução do processo de ensino-aprendizagem ao longo das aulas e nas avaliações diagnósticas. Esse momento de ouvir as experiências e os feedbacks dos alunos oferece importantes insights para já ir adaptando o conteúdo com a metacognição e as estratégias por meio da AEP, garantindo um ambiente de aprendizagem mais engajador para os alunos.

Algumas respostas como dos alunos (A₁₂₋₂₀₂₂, A₇₋₂₀₂₂, A₃₋₂₀₂₂, A₁₀₋₂₀₂₂ e A₉₋₂₀₂₂) mostraram indícios de que eles nunca haviam se deparado com esse processo de avaliação da sua própria aprendizagem realizada por ele mesmo. Desde a vida escolar o aluno é submetido a métodos de avaliação feita por outras pessoas para a aquisição do conhecimento trabalhado, mas não de forma individual e se autoavaliando para esse processo. De forma complementar, destaca-se acerca da importância desse processo, a resposta do aluno (A₉₋₂₀₂₂), que também leva em consideração que deve existir a necessidade de outros métodos de avaliação complementares para abordar a mensuração do conhecimento químico envolvido.

É interessante notar que, diante dessa experiência, os alunos puderam vivenciar uma avaliação que abrange aspectos além do convencional, proporcionando uma visão mais abrangente e significativa do processo educacional. A liberdade e autonomia proporcionadas na realização da autoavaliação permitiram aos alunos refletirem sobre sua própria aprendizagem e identificar oportunidades de melhorias na ficha dos indicadores de metacognição. Esse tipo de abordagem para com o aluno de ouvir suas necessidades e opiniões para construir sua autoformação como futuro professor, ajuda no desenvolvimento de um ambiente de aprendizagem mais inclusivo e respeitoso, até mesmo para a promoção de habilidades emocionais como o saber escutar o seu colega de trabalho e ajudar no coletivo.

As respostas dos alunos (A₇₋₂₀₂₂ e A₁₁₋₂₀₂₂) são exemplos de como essa abordagem da metacognição foi bem recebida, indicando que o processo de avaliação adotado trouxe benefícios, despertando assim mais interesse dos estudantes como em um todo. Por outro lado, houve respostas acerca da estruturação da montagem das perguntas de cada bloco, como levantado pelos alunos (A₁₋₂₀₂₂, A₂₋₂₀₂₂ e A₁₃₋₂₀₂₂) apontaram algumas questões a serem consideradas para a melhoria da ficha de avaliação. Eles levantaram questões sobre a quantidade de perguntas trabalhadas, a

clareza e a linguagem utilizada em cada pergunta. Além disso, discutiram o propósito das perguntas em cada bloco e sugeriram a inclusão de questões abertas para que os alunos possam expressar mais livremente seus pontos de vista.

Por meio dessa análise reflexiva, é possível ajustar e aperfeiçoar o instrumento avaliativo para torná-lo mais adequado e alinhado com as necessidades e expectativas dos estudantes. Os apontamentos e sugestões apresentados pelos alunos foram cuidadosamente considerados e levados para discussão ao LAPEQ da UFES. Fez-se esse passo, pois a intenção é utilizar essa ficha em futuras aplicações com diferentes temáticas, de acordo com as outras pesquisas dos alunos do grupo de estudos, visando avaliar de forma mais abrangente as habilidades cognitivas trabalhadas e estimular a metacognição em outras áreas do conhecimento químico. Deixa-se em evidência que essas mudanças nas fichas já estão sendo estudadas e ocorridas para deixá-la com um caráter mais conciso e ajustado para as particularidades de cada disciplina ou conteúdo que possa ser aplicado.

Por fim, na última pergunta da ficha de avaliação, foi questionado aos alunos o que poderia ser melhorado perante a mediação do conteúdo com a utilização do REDGIM®. As respostas estão no **quadro 14**.

Quadro 14. Respostas dos alunos acerca da utilização do aplicativo para o ensino de Quimiometria na graduação e o que poderia ser melhorado.

3. O que pode ser melhorado perante a mediação do conteúdo com a utilização do REDGIM® para o ensino de Quimiometria na graduação?

A₁₋₂₀₂₂: “O REDGIM pode ser usado de forma mais simples, ou em maior quantidade. Como em cada aula fazer várias repetições de experimentos diferentes. Por exemplo: em uma aula fazer a análise de algumas amostras repetidas vezes, como triplicata”.

A₂₋₂₀₂₂: “Gostei da metodologia aplicada, da abordagem. Faria apenas alguns ajustes no aplicativo para fins mais didáticos, como por exemplo trocar os ícones de identificação das amostras que é feita como formas por fotos das amostras para ficar mais compreensível e outros bugs como o de ajuste da região de interesse”.

A₃₋₂₀₂₂: “Achei extremamente importante correlacionar o uso do aparelho celular em sala de aula. Artifício tecnológico já é muito utilizado pelos estudantes que também pode ser utilizado dentro de sala de aula de forma lúdica e que desperta a curiosidade dos alunos”.

A₄₋₂₀₂₂: “Acredito que ser usado de forma contextualizada da mesma forma, de forma semelhante ao exposto na sequência sua utilização será ótimo”.

- A5-2022 : “O REDGIM é um pouco limitado na sua forma de analisar, creio que isso seria um pouco impeditivo. Fora isso, o app foi bem útil para a percepção do conteúdo e assimilação”.
- A6-2022 : “A utilização do REDGIM é muito bom para o entendimento do conteúdo na parte prática, porém, nos resultados das análises deixou um pouco a desejar”.
- A7-2022 : “Perante a mediação, nada. Entretanto, carecem melhorar no aplicativo”.
- A8-2022: “Apenas questões de funcionamento do REDGIM, pois demonstrou ter baixa precisão qualitativa”.
- A9-2022: “Aumentar a parte teórica sobre o aplicativo, pois alguns pontos deixaram em descuidos”.
- A10-2022: “Nada a declarar”.
- A11-2022 : “Diminuir o número de aulas, pois apesar de mudar o objeto da aula, depois de um certo momento, se torna repetitivo e enjoativo”.
- A12-2022 : “Um tempo maior para entender como funciona o REDGIM”.
- A13-2022 : “Aplicar a intervenção pedagógica em disciplinas que a ementa é mais voltada para Quimiometria ou Química Analítica, uma vez que em uma turma de um contexto mais geral (Inorgânica, geral orgânica) os alunos podem não despertar interesse por esse tema”.

Fonte: Dados das pesquisas (2022) – respostas dos alunos.

Perante a maioria das respostas dos alunos, foi possível notar que o mais preponderante em relação do REDGIM® para o Ensino de Quimiometria foi acerca das questões técnicas envolvidas no aplicativo, como alguns erros, bugs ou erros nas análises. Isso pode ser visualizado nas respostas dos alunos (A2-2022, A5-2022, A6-2022, A7-2022 e A8-2022). De acordo com as respostas desses alunos, verificou-se alguns interferentes do aplicativo, obstáculos ou dificuldades enfrentadas durante os experimentos realizados. Essas questões incluíram a obtenção de resultados não esperados, falhas na leitura das análises, seleção inadequada do tamanho e posição da região de interesse, entre outros fatores. É relevante considerar que os estudantes estavam utilizando o aplicativo pela primeira vez, e, portanto, estavam se familiarizando com todo o processo subjacente à teoria envolvida nas análises dos resultados, o que pode ter influenciado na obtenção dos resultados e no manuseio do aplicativo.

Ao longo das práticas, apesar das adversidades relatadas nas respostas dos alunos, eles conseguiram levantar questionamentos, identificar erros e possíveis fatores que influenciaram os resultados. Outras respostas que podem ser destacadas são as dos alunos (A9-2022 e A12-2022), alegando que poderia ter mais tempo para a compreensão do aplicativo.

Durante as aulas, na etapa de organização do conhecimento, foram abordados os fundamentos teóricos e os aspectos relacionados à interpretação dos resultados, bem como a relevância de cada funcionalidade do aplicativo para os procedimentos de análise realizados. O aluno, ao levantar essa questão, poderia estar querendo saber, se certas funções do aplicativo podem contribuir para minimizar erros nas análises, uma vez que alguns resultados obtidos durante os experimentos não corresponderam ao esperado. Entretanto, é importante ressaltar que diversos fatores externos, como a luminosidade, interferência de sombra, distância focal ou a quantidade de amostras para análise, podem influenciar significativamente os resultados obtidos nos experimentos.

Um ponto que pode ser colocado a respeito do aplicativo para diminuir uma fonte de erro, é a redução do tamanho do ROI, fator esse que foi descoberto após a aplicação da oficina. Portanto, a reflexão sobre a utilização do aplicativo deve considerar não apenas suas funcionalidades, mas também a importância do controle das variáveis externas para obtenção dos resultados, sendo que os alunos perceberam esses pontos e argumentaram exatamente esses fatores acerca dos erros encontrados, como já dito na análise dos resultados mostrados das aulas e pelas falas deles.

Outro assunto que pode ser abordado por meio das respostas a partir dessa terceira pergunta, é sobre a quantidade de aulas e experimentos que foram realizados para essa turma, vide como foi dito pelo aluno (A₁₁₋₂₀₂₂). É importante considerar que, para possíveis aplicações futuras da oficina, nem todos os experimentos realizados com essa turma serão repetidos. No caso da turma de PPP 2 no ano de 2022, todos experimentos foram validados em conjunto com a AEP, permitindo revisar os ajustes necessários em cada etapa. O propósito da validação desses experimentos também incluiu verificar os possíveis parâmetros que possam surgir em aplicações no ambiente de sala de aula, pois será elaborado um *e-book* educacional e a produção de vídeos demonstrativos desses experimentos. Esses materiais serão divulgados gradualmente a partir do primeiro semestre de 2024.

Por fim, após a análise das respostas obtidas por meio da Escala Likert nos cinco blocos, foram calculadas as médias aritméticas das respostas de cada aluno em cada bloco da ficha de avaliação (**tabela 6**). Então, para uma melhor visualização, o

apêndice J conterá as respostas de cada aluno por cada pergunta dos blocos que foi utilizada para a confecção da **tabela 6**.

Tabela 6. Média das respostas de cada aluno por bloco de índice de avaliação cognitivo.

ALUNOS	MÉDIA DAS RESPOSTAS DO BLOCO 1	MÉDIA DAS RESPOSTAS DO BLOCO 2	MÉDIA DAS RESPOSTAS DO BLOCO 3	MÉDIA DAS RESPOSTAS DO BLOCO 4	MÉDIA DAS RESPOSTAS DO BLOCO 5
A ₁₋₂₀₂₂	6,00	6,50	6,83	5,70	5,71
A ₂₋₂₀₂₂	6,60	6,83	6,58	6,50	5,86
A ₃₋₂₀₂₂	6,60	6,33	6,25	6,30	6,00
A ₄₋₂₀₂₂	6,80	6,33	6,17	6,30	6,00
A ₅₋₂₀₂₂	5,40	5,17	5,33	5,10	5,14
A ₆₋₂₀₂₂	6,00	6,00	5,67	6,00	5,71
A ₇₋₂₀₂₂	6,40	5,83	5,75	5,00	4,86
A ₈₋₂₀₂₂	6,00	6,83	6,42	6,20	6,57
A ₉₋₂₀₂₂	4,60	5,17	3,42	5,50	4,57
A ₁₀₋₂₀₂₂	6,80	6,00	6,50	6,50	6,29
A ₁₁₋₂₀₂₂	6,80	5,50	4,75	5,40	5,00
A ₁₂₋₂₀₂₂	6,20	6,00	5,25	5,20	5,86
A ₁₃₋₂₀₂₂	6,40	5,67	4,75	5,40	4,29

Fonte: Autoria própria (2022).

A média aritmética de cada aluno para cada bloco foi realizada pelo somatório das respostas de cada aluno, dividido pelo número total de perguntas de cada bloco. Com esses dados, foi realizada a média geral entre todas as médias dos alunos por bloco e em seguida o coeficiente de variação (C.V) para indicar a variabilidade dos dados em relação às médias gerais. Dessa forma esses valores podem ser constatados a partir da **tabela 7**.

Tabela 7. Média geral feita com base nas médias de cada aluno por bloco e o coeficiente de variação (C.V).

	BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3	BLOCO 4	BLOCO 5
Média geral entre as médias de cada bloco	6,20	6,01	5,67	5,78	5,53
C.V	10%	9%	17%	9%	13%

Fonte: Autoria própria (2022).

O C.V é utilizado para medir a dispersão relativa baseado na média, que no caso desses resultados foi utilizada a média geral, e no desvio padrão entre os dados, no qual o seu valor obtido em porcentagem (Arachchige, Prendergast e Staudte, 2020). Dessa forma ele é calculado da seguinte maneira utilizando da **equação 6**:

$$C . V = 100 . \frac{\sigma}{x} \quad (6)$$

Onde tem-se que:

σ = desvio padrão

x = média geral

Este coeficiente é de acordo com a precisão dos resultados obtidos e é comumente classificado como baixo, quando inferiores a 10%; médio, quando de 10% a 20%; alto, quando de 20 a 30%, e muito alto, quando superiores a 30% (Scapim, Carvalho e Cruz, 1995; Pimentel-gomes, 1985). Visto pelos resultados obtidos com os alunos de PPP2, o intervalo existente dos valores de C.V entre os blocos variou entre 9 a 17%. Dessa forma, pode-se dizer que está entre baixo a médio. Em consonância com essa explicação, valores de C.V menor ou igual a 25% pode indicar geralmente uma homogeneidade no conjunto de dados (Soares, 1999).

Considerando os valores obtidos e o progresso ao longo das aulas, é possível inferir que a oficina proporcionou o desenvolvimento de habilidades e competências nas áreas analíticas, práticas e criativas. Nessa mesma linha de raciocínio, com os valores das médias gerais encontrados conforme já citados na **tabela 7**, foi feito um gráfico (**figura 82**) de barras para uma melhor visualização de acordo com os cinco blocos analisados.

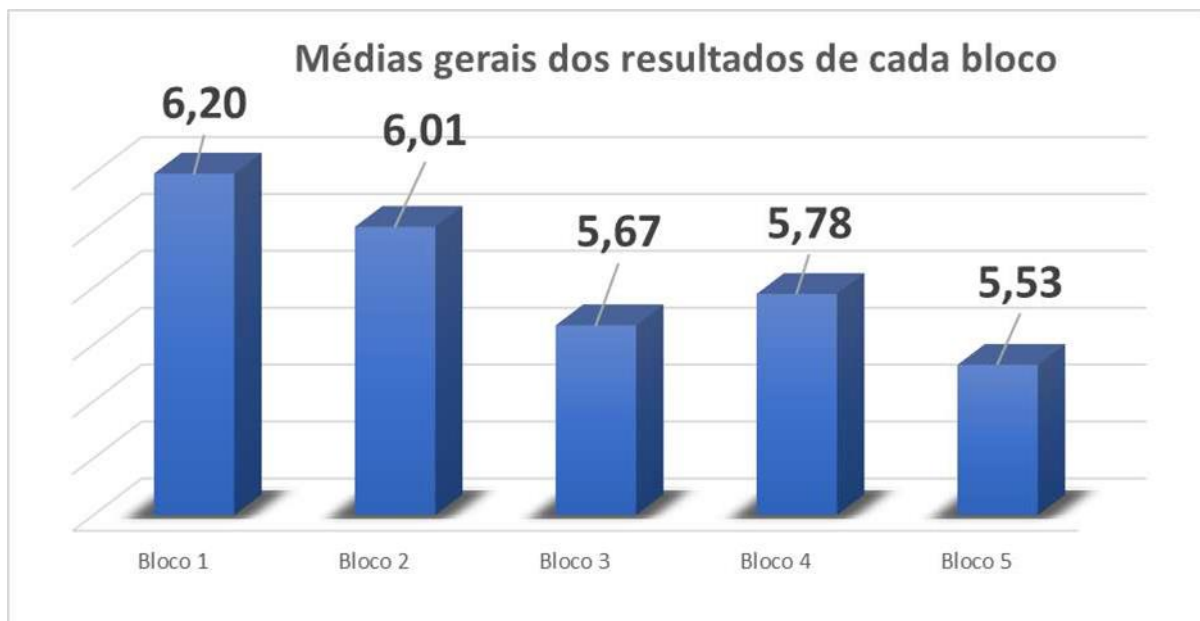


Figura 82. Gráfico para a representação das médias gerais de cada bloco.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Conforme mencionado anteriormente, os valores atribuídos pelos alunos na ficha de avaliação variam em uma escala de 1 a 7, representando diferentes níveis de concordância, onde 1 indica "*Discordo Plenamente*" e 7 indica "*Concordo Plenamente*". Nessa escala, o valor máximo possível para as médias é 7, refletindo a máxima concordância dos alunos em relação aos indicadores avaliados em cada bloco da ficha. Os dados apresentados no gráfico da **figura 82** revelam que as médias gerais obtidas pelos alunos em cada bloco da ficha de avaliação situam-se em uma faixa entre 5 e 6. Esses valores correspondem, de acordo com a Escala Likert utilizada na ficha, a níveis de concordância que variam entre "*Concordo*" e "*Concordo Muito*". Esses resultados indicam que os alunos demonstraram estar possivelmente satisfeitos e estimulados em relação ao desenvolvimento de suas habilidades e competências no enfrentamento de situações de resolução de problemas, colocando em prática a sua flexibilidade cognitiva. As médias nessa faixa sugerem que as estratégias e abordagens empregadas na oficina tiveram relevância na promoção do desenvolvimento cognitivo dos alunos.

Após ter delineado a aplicação pedagógica do aplicativo REDGIM® no contexto universitário, voltado para o ensino de Quimiometria, o próximo ponto de discussão centrará nos resultados que enfatizam a versatilidade do aplicativo como uma inovadora ferramenta tecnológica para a previsão do pH e a determinação da concentração de uma resina supressora de pó de minério. Isso é abordado como um

método alternativo de baixo custo. Esse projeto está vinculado à empresa Vale e ao Programa de Pós-Graduação em Química da UFES acerca do edital do DAI.

5.3. Fase experimental relacionada à inovação tecnológica

5.2.1. Medida do pH da resina despolimerizada

De antemão, monitorar as características químicas da resina PET, como o pH e a concentração, é de extrema importância para garantir a qualidade do produto. Para que a resina atinja efetivamente seu propósito como supressora de pó na pilha de minério, a amostra precisa ter um pH básico. Portanto, na metodologia desenvolvida para a utilização do aplicativo, a escala de pH começou a partir de 7. Esse agravante decorre do fato de que a resina se torna rígida quando seu pH está abaixo de 7, resultado na perda de eficiência e podendo causar problemas adicionais. Este incidente foi verificado pelos pesquisadores que desenvolveram a patente da resina.

Como a produção da resina é uma patente, não nos foi divulgado acerca da sua produção e sim somente que é uma despolimerização alcalina do PET, onde na sua composição é basicamente formada por água, PET, NaOH, aditivos e um catalisador catiônico para auxiliar no processo. Leva-se em consideração que a resina despolimerizada é a base para o produto final como supressor de pó, que apresenta coloração escura.

Para mensurar o pH utilizando o aplicativo REDGIM®, deu-se preferência por utilizar a amostra sem adição dos aditivos, ou seja, a base para a preparação da resina para monitorar a qualidade desde o início do processo. Como esse material se encontra sem coloração, por esse motivo, buscou-se um indicador de pH que apresentasse mudança de cor ao longo da escala, ou seja, um indicador que sofresse um processo chamado halocromismo para facilitar mensuração do pH com o aplicativo.

O Halocromismo se configura como materiais, insumos ou reagentes que apresentam a capacidade de alterar de cor em função do pH especificamente devido a protonação ou desprotonação de sua molécula. Nesse caso, configura-se como um tipo em específico de cromotropismo químico, ou seja, mudança de cor

preponderantemente devido a um estímulo externo que modifica a estrutura da molécula (Paula, 2012; Sobrinho, 2015; Amimoto; Kawato, 2005).

A princípio foi realizado um levantamento referente aos indicadores que sofrem o fenômeno de cromotropismo e que poderiam ser utilizados para dar continuidade com a metodologia proposta. Visto a isso, como primeira opção, foram realizados os testes com o indicador azul de bromotimol com composição química $C_{27}H_{28}Br_2O_5S$ (figura 83).

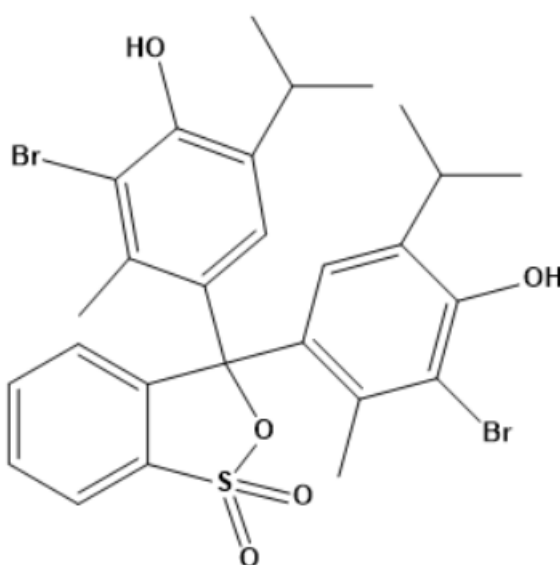


Figura 83. Estrutura molecular do indicador de pH azul de bromotimol.

Fonte: Acervo próprio (2023)

A variação na coloração do indicador ocorre devido ao íon H^+ , que se configura como uma subclasse do ionocromismo. A coloração gerada é resultante da formação de um novo grupo cromóforo, por consequência com mudanças de pH, causa a mudança na razão de estruturas ionizantes e não ionizantes na solução. Essas duas partes apresentam colorações diferentes e dessa forma a mudança de cor faz com que as soluções também mudem de cor (Tasar; Özer, 2021; Laurent; Dürr, 2001; Shindy; El-maghraby; Eissa, 2009). No caso do azul de bromotimol, quando esse indicador se encontra em pH ácido, a sua coloração se torna amarela, e verde quando o pH da solução está neutro e azul quando se encontra básico, como de acordo com a figura 84.

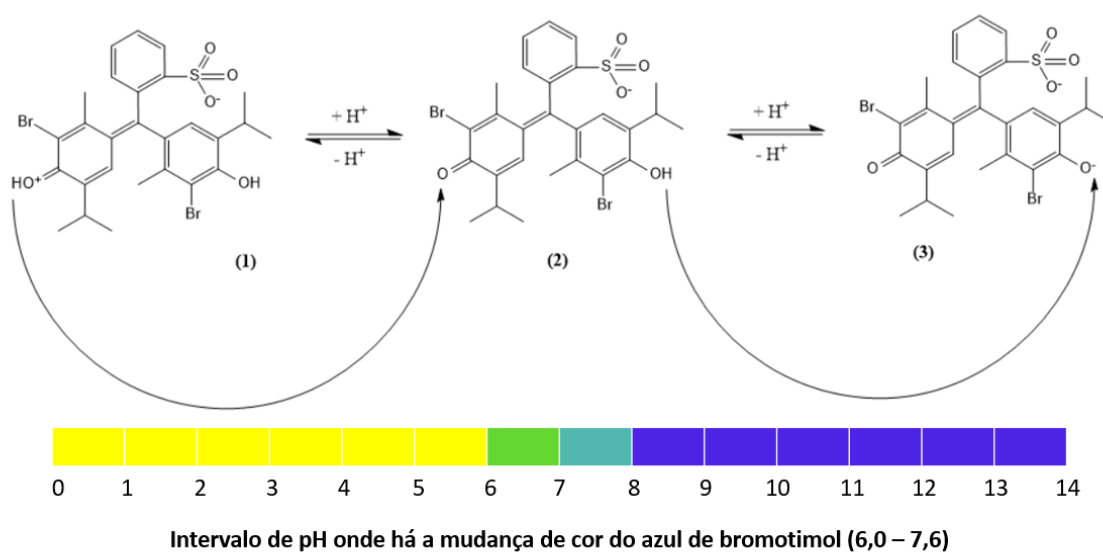


Figura 84. Representação do esquema de desprotonação do azul de bromotimol em função do pH: (1) ácido – amarelo (pH<6); (2) neutro – verde (pH = 7) e (3) básico – azul (pH>7,6).

Fonte: Adaptado de Cruz, Cavalheiro e Carli (2014).

Com a realização da escala de pH com a amostra para a ser predita, a coloração proveniente em cada pH ficou de acordo com o que a literatura aborda, como pode ser visto na **figura 85**. Na hora da análise utilizando o aplicativo REDGIM®, optou-se por escolher a região de interesse da imagem no qual não apresentava interferência de sombra ou reflexo da luz pela superfície do tubo de ensaio.

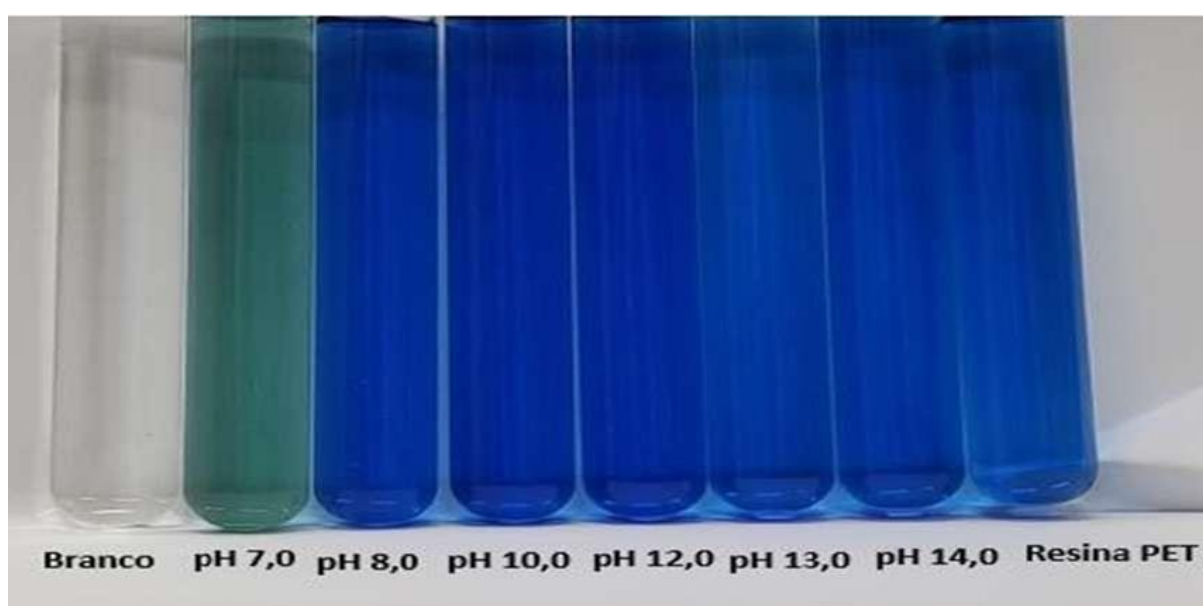


Figura 85. Escala de pH (curva analítica) para a predição da resina PET como o azul de bromotimol.

Fonte: Acervo próprio (2020).

Como a amostra a ser medida pelo aplicativo possui caráter básico, a sua coloração ficou azul como pode ser observado na figura anterior. Para ter uma confirmação do valor que o aplicativo gerou, foi medido o pH da amostra da resina e o valor encontrado foi 13. Diante disso, o valor que foi encontrado pelo aplicativo deveria ser o mesmo do que o método já pré-estabelecido, porém não foi o que aconteceu como mostrado na **figura 86** previu a amostra tendo o pH com o valor por volta de 8,8.



Figura 86. Valor encontrado pelo REDGIM® para a amostra de resina com o indicador azul de bromotimol.

Fonte: Acervo próprio (2020).

Essa diferença entre o valor encontrado pelo aplicativo utilizando o azul de bromotimol e do valor medido pelo pHmetro, pode ter sido pela relação de que quando o indicador se encontra em meio básico, todos os pontos referentes a escala ficaram com a coloração azulada e não apresentando diferença em sua tonalidade. Isso se torna um pequeno agravante para que o REDGIM® não consiga mensurar, pois as intensidades de RGB da região de interesse analisada, acaba sendo próxima umas às outras e não havendo alteração na tonalidade da coloração azul.

Diante desse impasse, buscou-se outro indicador que apresentasse uma ampla gama de colorações em diversos valores de pH, a fim de abranger melhor a medição e facilitar a redução de possíveis erros gerados pelo aplicativo. Logo, foi utilizado o

extrato do repolho roxo que apresenta antocianinas (**figura 87 a**) que são moléculas derivadas dos flavonoides da classe das antocianidinas (**figura 87 b**) e que apresentam tal propósito desejado (Março; Poppi; Scarminio, 2008).

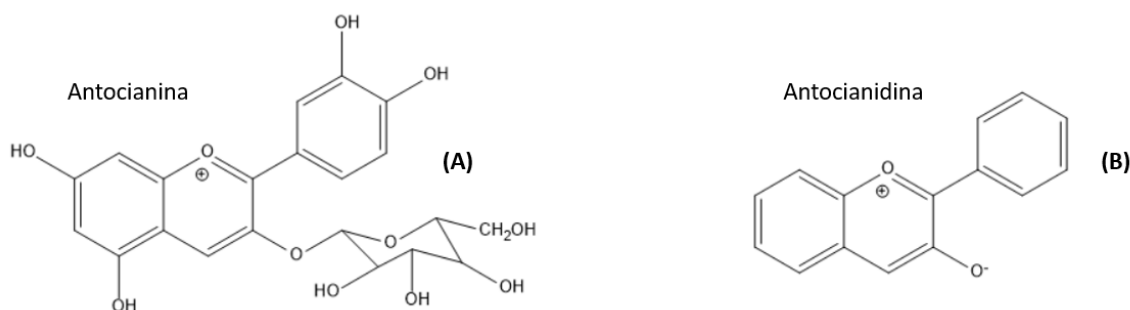


Figura 87. (A). Estrutura química da antocianina. **(B).** Estrutura química da antocianidina.

Fonte: Adaptado de Março, Poppi e Scarminio (2008).

Como citado no parágrafo anterior, as antocianinas são flavonoides que estão presentes em alguns vegetais. São um grupo de pigmentos que apresenta solubilidade em água e que fornece coloração em sua predominância em algumas frutas e flores. Sendo que a protonação de sua estrutura molecular em diferentes valores de pH pode ser observada na **figura 88**, e por essa ocorrência diante a diferença de pH ocorre a variação da coloração da solução na qual se encontra. (Falcão *et al.*, 2003; Brouillard, 1983).

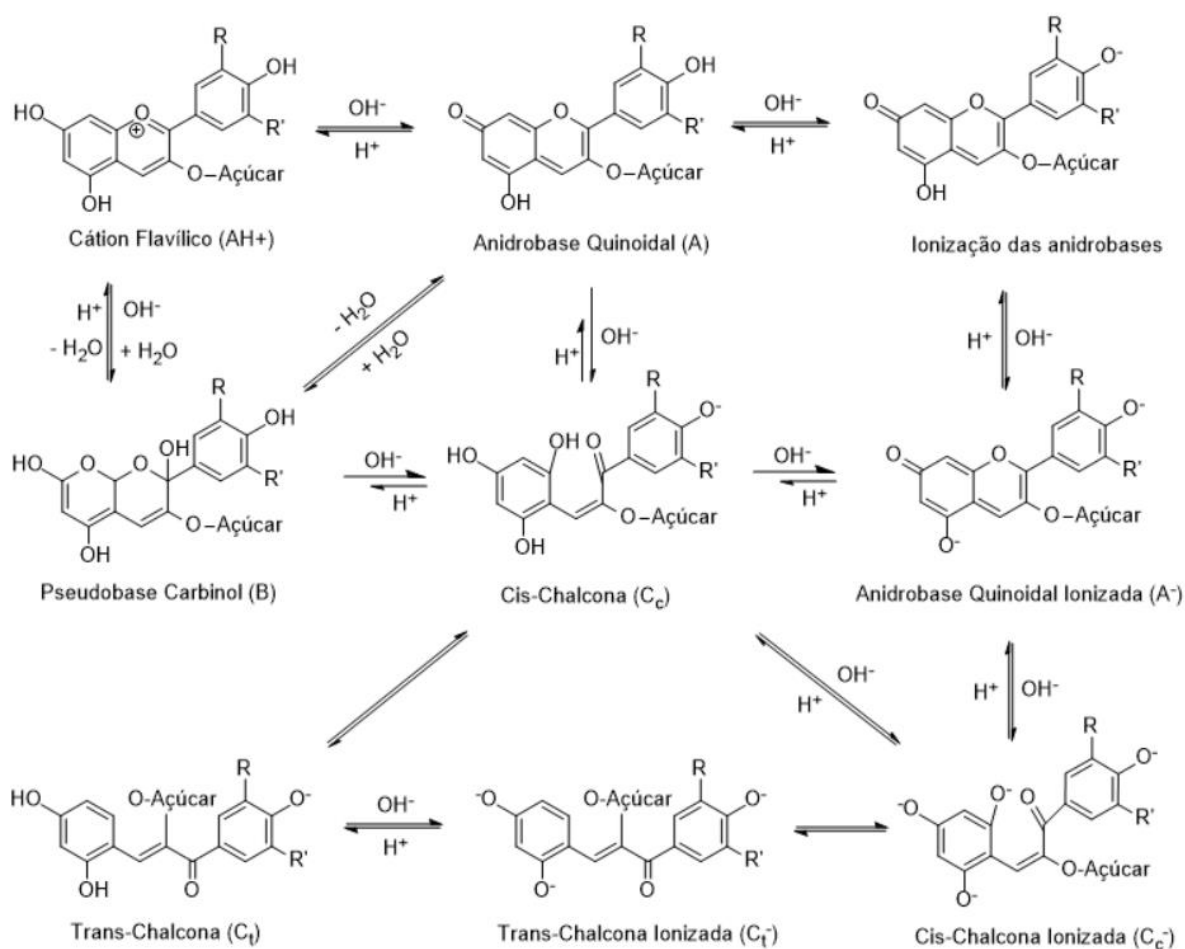


Figura 88. Possíveis transformações estruturais das antocianinas em meio aquoso em função do pH.

Fonte: Março; Poppi ; Scarminio (2008).

As antocianinas apresentam mudanças na sua estrutura ao longo da escala de pH, por ser um parâmetro sensível que venha interferir em sua atividade, na qual são mais estáveis em meios ácidos do que em soluções alcalinas. Encontradas em larga escala no extrato de repolho roxo, são comumente conhecidas por ter uma ampla variedade de coloração mediante a faixa de pH de 1 até 14, permitindo essas diferentes cores devido à natureza iônica de suas moléculas (Brouillard, 1982; Rein, 2005; Lima, 2005).

De acordo com a **figura 89**, é possível visualizar a escala de pH que foi montada com o indicador de repolho roxo (tendo como se fosse uma curva analítica para com a amostra da resina que foi medida). Dessa forma, como o pH da resina já havia sido medida, tendo o valor de 13, utilizou-se o REDGIM® para uma nova análise obtendo o seguinte resultado (**figura 90**).

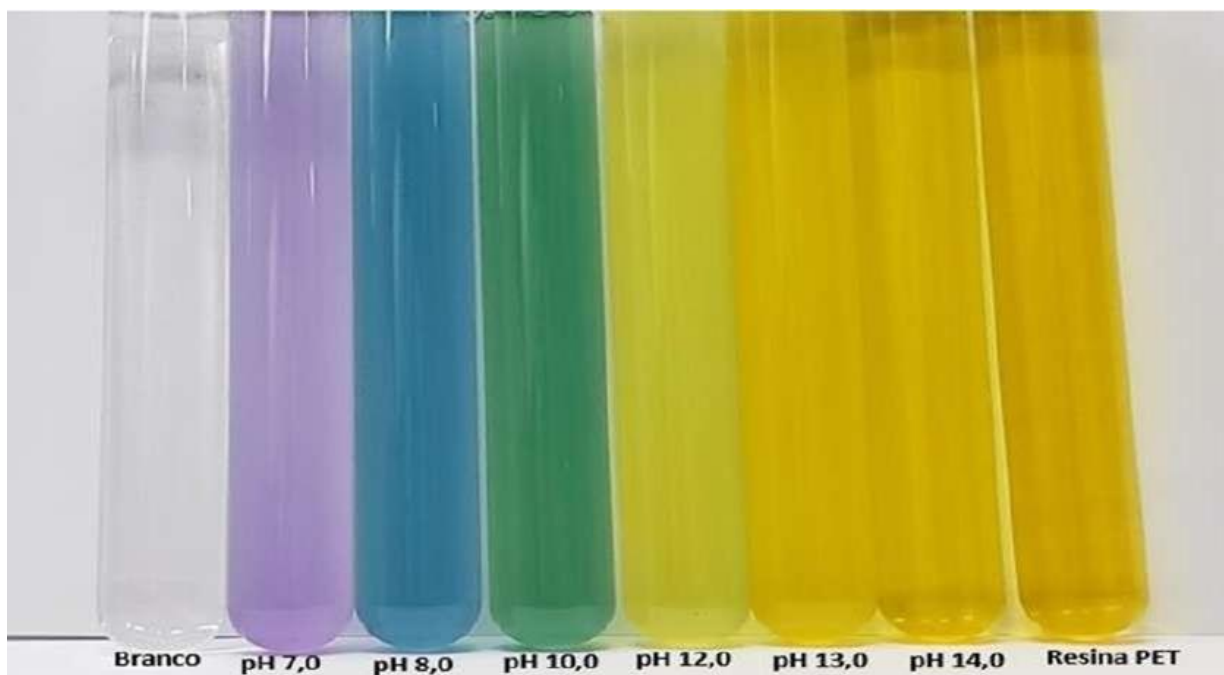


Figura 89. Escala de pH (curva analítica) para a mensuração da resina PET com o extrato de repolho roxo.

Fonte: Acervo próprio (2022).



Figura 90. Valor encontrado pelo aplicativo REDGIM® para a amostra de resina com indicador de extrato de repolho roxo.

Fonte: Acervo próprio (2020).

Em concordância com essa abordagem, a modificação realizada em relação ao indicador empregado para a análise de pH se revelou como uma medida necessária. Isso ficou evidenciado pelo fato de que, na segunda tentativa, o valor obtido pelo aplicativo REDGIM® foi corroborado pelo valor medido utilizando um pHmetro

convencional. Em outras palavras, o aplicativo foi capaz de prever o pH da amostra de resina como sendo 13,77, reforçando assim a viabilidade da metodologia proposta que utiliza a análise por imagens digitais. Essa consistência nos resultados entre o método proposto e o método tradicional ressalta eficácia da abordagem adotada.

5.2.2. Predição da concentração da resina PET supressora de pó de minério

5.2.2.1. Curva analítica pelo fotômetro

Primeiramente, a análise da curva analítica da resina supressora de pó de minério utilizando um fotômetro foi realizada para comparar os resultados adquiridos com o REDGIM®. De acordo com a **tabela 8**, é possível ver as concentrações utilizadas referente a cada ponto de análise, a massa pesada para cada concentração, volume de cada solução, concentração real da solução e a absorbância. É importante destacar que os valores das concentrações padrões utilizados para a elaboração da curva analítica foram limitados até 4%, uma vez que essa é a concentração máxima atingida pela resina para desempenhar a sua função. Pelos dados obtidos com essa tabela, foi feita uma reta de regressão linear (curva de calibração) com os valores de concentração real, gerando uma equação da reta (**figura 91**).

Tabela 8. Concentrações utilizadas para o preparo da curva analítica utilizando o fotômetro

Número	Concentração (%)	Massa (gramas)	Volume do balão (mL)	Massa pesada da resina (gramas)	Concentração Real (%)	Absorbância
1	0,10%	0,250 g	250 mL	0,2530	0,10%	0,1
2	0,25%	0,625 g	250 mL	0,6855	0,27%	0,3
3	0,50%	0,250 g	50 mL	0,2433	0,49%	0,5
4	1,00%	0,500 g	50 mL	0,4972	0,99%	1,1
5	1,50%	0,750 g	50 mL	0,7567	1,51%	1,51
6	2,00%	1,000 g	50 mL	1,050	2,10%	1,99
7	2,50%	1,250 g	50 mL	1,244	2,49%	2,38
8	3,00%	1,500 g	50 mL	1,604	3,21%	3,12
9	3,50%	1,750 g	50 mL	1,744	3,49%	3,22
10	4,00%	2,000 g	50 mL	2,0754	4,15%	4,14

Fonte: Autoria própria (2022).

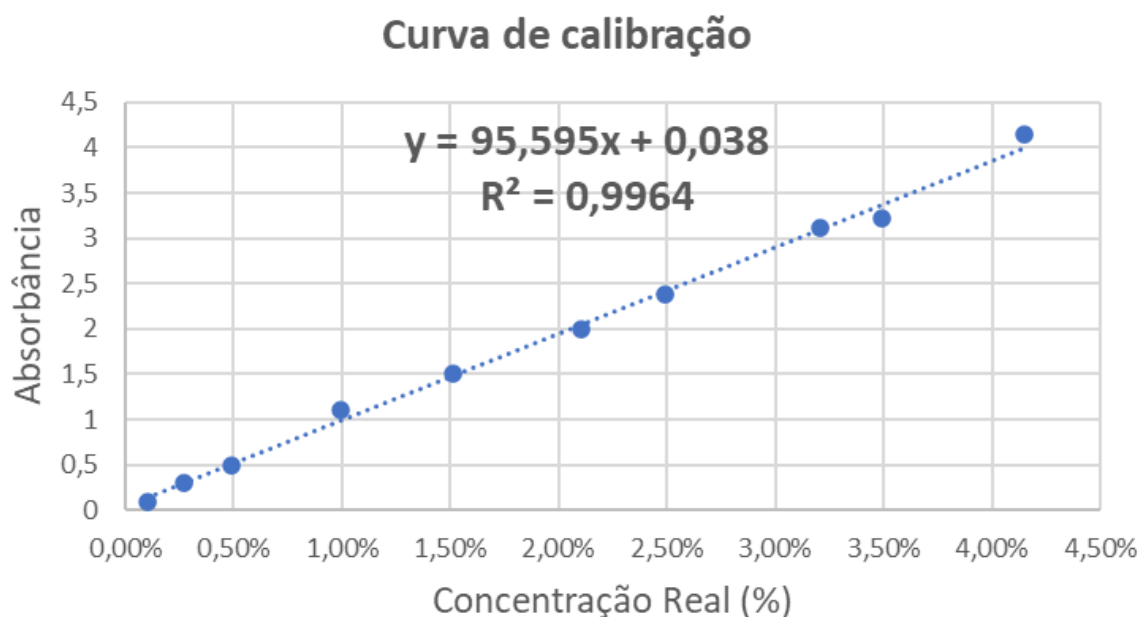


Figura 91. Curva de calibração gerada com os dados obtidos pelo fotômetro – absorbâncias *versus* concentração real.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Diante da equação da reta encontrada, para fins de comparação, **figura 91**, foram preparadas três amostras (duas externas ao grupo de calibração e uma pelo próprio grupo), utilizadas para construção do modelo univariado, mas dentro da distribuição das amostras de calibração. Com suas respectivas massas pesadas e valores do volume do balão, foram encontrados os valores reais de concentração de acordo com a **tabela 9**.

Tabela 9. Concentrações encontradas das amostras pela razão da massa pesada e volume do balão

Número	Massa pesada da resina (gramas)	Volume do balão (mL)	Concentração Real (%)	Absorbância
1	0,2048	50	0,41%	0,39
2	0,4931	50	0,99%	1,03
3	1,427	50	2,85%	2,91

Fonte: Autoria própria (2022).

Nesse aspecto, temos a possibilidade da predição dessas três amostras por meio da curva padrão gerada pela equação da reta gerada, $y = 95,595x + 0,038$, onde y é a absorbância e x é a concentração correspondente. Dessa forma, para encontrar os valores de concentração utilizando a equação da reta, substituiu-se os valores de

absorbância medidos das três amostras para achar o valor de X, tendo como resultado as seguintes concentrações: 0,36%, 1,03% e 3,00%. Em contrapartida, também foi desenvolvida a concentração real utilizando a massa pesada de resina pelo volume da solução obtendo os valores de 0,41%, 0,99% e 2,85%, respectivamente.

Diante dos valores encontrados, deve-se averiguar os erros absolutos (E_a) e relativos (E_r) surgidos na análise. Sendo assim, o valor encontrado pela equação da reta será denominado como ($\bar{x}$) e o valor medido pela razão da massa pesada pelo volume do balão volumétrico será o valor denominado como (x), advindo da **tabela 9**. Para encontrar o erro absoluto, é de acordo com a diferença entre $\bar{x}$ e x , pela **equação 7**. Para o erro relativo, considera-se encontrado por meio da **equação 8** (Arenales; Salvador, 2010).

$$E_a = |\bar{x} - x| \quad (7)$$

$$E_r = \frac{|\bar{x} - x|}{|\bar{x}|} \quad (8)$$

Dessa forma foi calculado o erro absoluto e relativo para cada uma das três amostras avaliadas. Os valores encontrados para cada erro, pode ser visto na **tabela 10**.

Tabela 10. Valores dos erros absolutos e relativos encontrados para cada amostra

Amostras	Erro absoluto	Erro relativo
1	0,05	0,13
2	0,04	0,03
3	0,15	0,05

Fonte: Autoria própria (2022).

Visto pelos erros relativos calculados referentes à cada amostra, encontra-se com o maior erro de 13% na amostra 1, tendo as outras duas amostras com valores de erros mais baixos $\geq 5\%$. Como método alternativo à análise convencional anteriormente, foram realizadas as análises utilizando a técnica por imagem digitais, dessa forma os resultados pelo uso do aplicativo serão descritos no próximo tópico.

5.2.2.2. Curva analítica pela análise por imagem utilizando smartphone

O mesmo grupo de amostras para calibração (dez amostras) e teste (três amostras) com as mesmas concentrações, foi utilizado para a criação de modelos utilizando aplicativos de *smartphone*, sendo eles REDGIM® e *Photometrix*®. O resultado do modelo utilizando o aplicativo REDGIM®, está apresentado na **figura 92**.



Figura 92. Curva da predição das concentrações encontradas pelo REDGIM®

Fonte: Acervo próprio (2022).

A **figura 93** mostra a curva de regressão linear gerada pelo aplicativo no qual indica que os resultados preditos da concentração da resina pelo REDGIM® foram respectivamente 1,499% (amostra 1), 1,895% (amostra 2), e 2,993% (amostra 3). Desses resultados, a maioria divergiu um pouco dos obtidos pelo método utilizando o fotômetro, visto que pela diferença, pode ter um erro mais significativo diante as condições da análise. Para uma complementação dos resultados, foi realizada uma análise utilizando o aplicativo *Photometrix*® nas mesmas condições do REDGIM®, com VL=3. De acordo com a **figura 93**, pela curva de regressão linear, indica que as concentrações preditas foram de 0,38% para amostra 1, 1,06% para a amostra 2 e 2,84% para a amostra 3. Ou seja, o *Photometrix*® apresentou maior assertividade para a realização da análise proposta, alegando que a metodologia proposta tem potencial de ser aplicada na indústria.

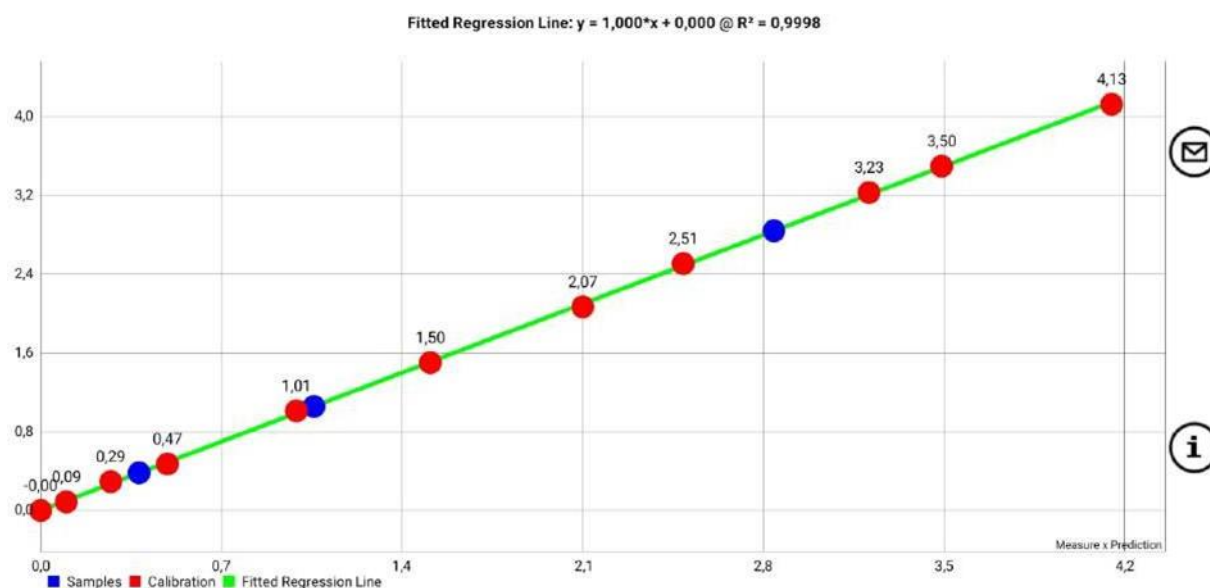


Figura 93. Curva da predição das concentrações encontradas pelo *Photometrix*®.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Uma característica distintiva do aplicativo *Photometrix*® é a capacidade de salvar a curva analítica com os padrões, permitindo o seu uso em análises futuras sem a necessidade de preparar amostras padrões toda vez. Embora o aplicativo REDGIM® tenha gerado resultados pouco diferentes em comparação aos obtidos pelo fotômetro, é importante ressaltar que existem oportunidades para efetuar ajustes nos parâmetros. Questões como a distância focal, a definição da região de interesse e o controle da luminosidade podem ser refinadas a fim de alcançar resultados mais precisos e consistentes. Isso demonstra a flexibilidade do aplicativo em se adaptar às particularidades de diferentes experimentos e situações, contribuindo para sua eficácia como uma ferramenta versátil para análises de baixo custo e de grande potencial aplicativo em indústrias.

6. CONCLUSÃO

A implementação da estratégia teórico-metodológica Atividade Experimental Problematizada demonstra um notável potencial para enriquecer o processo de construção do conhecimento, ao estimular a abordagem investigativa por parte dos alunos. Isso resulta no desenvolvimento do discente em valorizar cada etapa percorrida, inclusive reconhecendo e aprendendo com os erros cometidos. A inserção dos tópicos abordados ao longo dos encontros de cada oficina, contextualizados com o dia a dia dos alunos como futuros profissionais na área da Química, confere um valor substancial à continuidade das aulas. Esse enfoque fomenta a compreensão do saber científico, que é estimulado coletivamente por meio da troca de informações e experiências entre os participantes.

As técnicas e métodos utilizados contribuem intimamente na formulação dos planejamentos das aulas que incluem de forma intrínseca a inovação, o uso de tecnologia, o Ensino e a Química propriamente dita para que haja pleno diálogo entre esses eixos. O enfoque metodológico como estratégia utilizada perante um bom delineamento, mostra eficácia na promoção do Ensino e da inovação. Isso é enfatizado pelo caráter replicável da oficina com alunos de diferentes níveis de conhecimento tanto no contexto remoto quanto presencialmente pela utilização de atividades práticas, investigativas e reflexivas.

É evidente que o uso do aplicativo REDGIM[®] para a abordagem da Quimiometria por meio de imagens digitais transcende o propósito técnico do assunto, pois pode ser utilizado como uma tecnologia de apoio educacional para a resolução de problemas, permitindo que os alunos forneçam respostas concretas por si mesmos. Ao analisar os resultados obtidos pelos alunos, todos os grupos foram capazes de propor experimentos estruturados como uma forma de solucionar o problema apresentado, utilizando referências e destacando as variáveis para a interpretação dos dados, demonstrando assim a capacidade de compartilhar informações.

Pela validação e aplicação das oficinas, é evidente o progresso em cada esfera de estudo, acompanhado de um enfoque que promove a transição das habilidades de ordem inferior para ordem superior, assegurando, dessa forma, a aplicação relevante da metacognição. O estudo cognitivo ficou mais evidenciado na última oficina, pois foi onde ocorreu a testagem e validação dos experimentos no ambiente laboratorial,

explorando a inteligência analítica, prática e criativa de forma na qual a tecnologia e a autonomia transpassam por todos os âmbitos destacados. Mas em um panorama geral ao longo dos três anos, percebeu-se uma aprendizagem que fez sentido e significado aos alunos, permeando pelas três esferas da inteligência.

A partir dessa perspectiva, foi desenvolvido o planejamento didático-experimental, que integra os processos de testagem e validação, incorporando a metacognição para alcançar resultados finais nos domínios educacional e experimental. Esse método facilita a comunicação e a aplicação junto aos futuros profissionais da área, unindo efetivamente essas duas esferas.

Por último, é visto o potencial de auxílio para utilização do aplicativo REDGIM® como ferramenta acessível e auxiliar para processos de análise que possam ser implementados na indústria de forma acessível e de baixo custo. Podendo ser divulgado para outras áreas e informativos educacionais e profissionais.

Dessa forma, fechando a linha de raciocínio do proposto trabalho, a AEP como estratégia teórico-metodológica favoreceu o desenvolvimento de um plano didático - experimental levando em consideração de forma inerente ao cotidiano e o saber pré-existente dos alunos diante a resolução de problemas para o Ensino de Quimiometria. Como suporte, o REDGIM® integrou todo esse contexto facilitando o processo de análises químicas unindo a parte educacional com a experimentação, mostrando o seu potencial tecnológico tanto para o Ensino, quanto nos ideais de inovação.

7. REFERÊNCIAS

- ABREU, R. G. A produção cultural da comunidade disciplinar de ensino de química. **Periferia**, vol. 4, n.1, p. 25-40, 2012.
- AIRES, J. A.; LAMBACH, M. Contextualização do ensino de Química pela problematização e alfabetização científica e tecnológica: uma possibilidade para a formação continuada de professores. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, vol. 10, p. 1-15, 2010.
- AL-MASHHADANI, M.A; AL-RAWE, M.F. *The future role of mobile learning and smartphones application in the Iraqi private universities*. **Smart Learning Environments**, vol. 5, n. 28, p. 1-11, 2018.
- ALMEIDA, J. C.; ALVES, P. S. P.; ALVES, J. O.; AUGUSTI, R.; NETO, W. B. O uso de HCA e PCA para detectar adulteração em azeite de oliva por óleo de girassol através de espectrometria de massas com ionização electrospray. In: **33ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, 2010, Águas de Lindóia – SP. Resumo simples. p.1.
- ANIMOTO, K.; KAWATO, T. *Photochromism of organic compounds in the Crystal state*. **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews**, vol. 6, n. 4, p. 207-226, 2005.
- ANTONELLI, A.; COCCHI, M.; FAVA, P.; FOCA, G.; FRANCHINI, G. C.; MANZINI, D.; ULRICI, A. *Automated evaluation of food colour by means of multivariate image analysis coupled to a wavelet-based classification algorithm*. **Analytica Chimica Acta**. vol. 515, n. 1, p. 3-13, 2004.
- ARACHCHIGE, C. N. P. G.; PRENDERGAST, L. A.; STAUDTE, R. G. *Robust analogs to the coeficiente of variation*. **Journal of Applied Statistics**. vol. 49, p. 268-290, 2020.
- ARENALES, S. H. V.; SALVADOR, J. A. **Cálculo Numérico: Uma abordagem para o ensino a distância**. 1ª ed., São Carlos: EdUFSCar, 2010. 166p.
- ASSI, L.; SOLTANGHARAEI, V.; ANAY, R.; ZIEHL, P.; MATTA, F. *Unsupervised and supervised pattern recognition of acoustic emission signals during early hydration of Portland cement paste*. **Cement and Concrete Research**. vol. 103, p. 216-225, 2018.
- AUSUBEL, David P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Paralelo Editora, 2000.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BARBOSA, A. F. M.; RIBEIRO, J. N.; RIBEIRO, A. V. F. N.; AZEVEDO, L. E. S.; SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G. Atividade experimental problematizada (AEP) e educação ambiental (EA): presença de metais pesados em aterros sanitários – uma proposta didática. **Química Nova na Escola**, vol. 45, n.4, p. 283-291, 2023.

BARBOSA, L. S.; PIRES, D. A. T. A importância da experimentação e da contextualização no ensino de ciências e no ensino de química. **Revista técnica e tecnológica Ciência, Tecnologia, Sociedade**, vol. 2, p. 1-11, 2016.

BARROS, I. H. A. S.; SANTOS, L. P.; FILGUEIRAS, P. R.; ROMÃO, W. *Design experiments to detect and quantify soybean oil in extra virgin olive oil using portable Raman spectroscopy*. **Vibrational Spectroscopy**, vol. 116, 103294, 2021.

BATISTA, J. S.; GOMES, M. G. Contextualização, experimentação e aprendizagem significativa na melhoria do ensino de Cinética Química. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, vol. 11, n. 4, p. 79-94, 22 jul. 2020. Cruzeiro do Sul Educacional.

BARTHUS, R. C.; MAZO, L. H.; POPPI, R. J. Aplicação de métodos de calibração multivariada para a determinação simultânea de riboflavina (VB2), tiamina (VB1), piridoxina (VB6) e nicotinamida (VPP). **Química Nova**, vol. 30, n.7, p. 1638- 1643, 2007.

BEEBE, K. R.; KOWALSKI, B. R. *An introduction to multivariate calibration and analysis*. **Analytical Chemistry**, vol. 59, n. 17, p. 1007-1017, 1987.

BEBER, B.; SILVA, E.; BONFIGLIO, S. U. Metacognição como processo da aprendizagem. **Revista Psicopedagogia**, vol. 31, p. 144-151, 2014.

BEDIN, E. ; CARMINATTI, B. Dicumba e Aprendizagem Significativa no Ensino de Química. **Interfaces da Educação**, Paranaíba, vol. 13, n. 38, p. 715-737, 2022.

BELO, T. N.; LEITE, L. B. P.; MEOTTI, P. R. M. As dificuldades de aprendizagem de química: um estudo feito com alunos da Universidade Federal do Amazonas. **Scientia Naturalis**, vol. 1, p. 1-9, 2019. Disponível em:

BENTO, M. C. M.; CAVALCANTE, R. S. Tecnologias móveis em educação: o uso do celular na sala de aula. **ECCOM**, vol. 4, p. 113-120, 2013.

BIZZO, N. **Ciências: fácil ou difícil**. Ed. Ática, São Paulo, SP, 1998.144p

BÖCK, F. C.; ASSMANN, D. HELFER, G. A.; COSTA, A. B. Uma proposta didática no ensino de análise exploratório de dados com imagens de MDF (*MediumDensity Fireboard*). **Revista Virtual de Química**, vol. 7, n.6, p. 2475-2486, 2015.

BÖCK, F. C.; HELFER, G. A.; COSTA, A. B.; DESSUY, M. B.; FERRÃO, M. F. *Low cost method for copper determination in sugarcane spirits using PhotoMetrix UVC® embedded in smartphone*. **Food Chemistry**, vol. 367, 130669, 2022.

BOSO, A. K.; GARCIA, D.; RODRIGUES, M. B.; MARCONDES, P.; Aspectos cognitivos da leitura: conhecimento prévio e teoria dos esquemas. **Revista ACB**, vol. 15, n. 2, p. 24-39, 2010.

BRATKOVA, M.; BOULOS, S. SHIRLEY, P. *oRGB: A practical oponente color space for computer graphics*. **IEEE Computer Society**, vol. 29, n.1, p. 1-10, 2009.

BREITKREITZ, M. C.; de SOUZA, A. M.; POPPI, R. J. Experimento didático de quimiometria para planejamento de experimentos: avaliação das condições

experimentais na determinação espectrofotométrica de ferro II com o-fenantrolina. Um tutorial, parte III. **Química Nova**, vol. 37, n.3, p. 564-573, 2014.

BRERETON, R. G. *A short history of chemometrics: a personal view*. **Journal of Chemometrics**, vol. 28, n.10, p. 749-760, 2014.

BROUILLARD, R. **Chemical structure of anthocyanins**. In P. Markakis (Ed.), *Anthocyanins as Food Colors*. New York: Academic Press Inc., p.1-40, 1982.

BROUILLARD, R. *The in vivo expression of anthocyanin colour in plants*. **Phytochemistry**, vol. 22, n. 6, p. 311-23, 1983.

BRUM, W. P.; SILVA, S. C. R. Os conhecimentos prévios dos estudantes como ponto referencial para o planejamento de aulas de matemática: Análise de uma atividade para o estudo de geometria esférica. **REVEMAT**, vol. 9, p. 43-57, 2014.

BURIASCO, R. L. C. Algumas considerações sobre avaliação educacional. In: **Estudos em avaliação educacional**, vol.22, p.155-178, 2000.

BYRNE, L.; BARKER, J.; PENNARUN-THOMAS, G.; DIAMOND, D. *Digital imaging as a detector for generic Analytical measurements*. **TrAC, Trends in Analytical Chemistry**, vol.19, p.517- 522, 2000.

CALIXTO, V. S.; KIOURANIS, N. M. M. Configuração da prática como componente curricular nos cursos de química da UFGD. **Revista debates em Ensino de Química**, vol.3, p. 27-48, 2017.

CÁRDENAS, Y. I. C. *Questioning as an effective tool to enhance students' interaction in the english classroom*. **South Florida Journal of Development**, vol. 2, p. 3510-3520, 2021.

COLOROTATE. **Color theory**. Disponível em: <<http://learn.colorotate.org/color-models/#.Yh6qrjMLIU>>. Acesso em: 13 ago. 2023.

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. **Diretrizes Curriculares Para Cursos de Química, Bacharelado e Licenciatura Plena**, 2001. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2001/pces1303_01.pdf>. Acesso em 13 ago. 2023.

COOPER, M. M.; COX, T. C.; NAMMOUZ, M.; CASE, E. *An assessment of the effect of collaborative groups on students' problem-solving strategies and abilities*. **Journal of Chemical Education**, vol.85, n.6, p.866-872, 2008.

COSTA, R. A. **Uso de um aplicativo de smartphone na resolução de problemas forenses**. Tese de Doutorado em Química. Departamento de Química da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2022. 195 p.

COSTA, R. A.; MORAIS, C. L. M.; ROSA, T. R.; FILGUEIRAS, P. R.; MENDONÇA, M. S.; PEREIRA, I. E. S.; VITTORAZZI, B. V.; LYRA, M. B.; LIMA, K. M. G.; ROMÃO, W. *Quantification of milk adulterants (starch, H₂O₂ and NaClO) using colorimetric assays coupled to smartphone image analysis*. **Microchemical Journal**, vol. 156, 104968, p.1-7, 2020.

CRUZ-FERNÁNDEZ, M.; LUQUE-COBIJA, M. J.; CERVERA, M. L.; MORALES-

RUBIO, A.; GUARDIA, M. *Smartphone determination of fat in cured mear products. Microchemical Journal*, vol.132, p.8-14, 2017.

CRUZ, N. A.; CAVALHEIRO, A. A.; DE CARLI, E. F. Avaliação do azul de bromotimol como poluente persistente em meio aquoso sob fotólise ultravioleta. **Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão** – 8º ENEPE UFGD/ 5º EPEX UEMS, 2014.

DAL-COL, J. A.; DANTAS, W. F. C.; POPPI, R. J. Experimento didático de quimiometria para o mapeamento de pellets farmacêuticos utilizando espectroscopia de imagem na região do infravermelho próximo e resolução multivariada de curvas com mínimos quadrados alternantes: um tutorial, parte IV. **Química Nova**, vol. 41, n. 3, p. 345-354, 2018.

DAMASCENO, D.; TOLEDO, T. G.; GODINHO, M. S.; da SILVA, C. P.; de OLIVEIRA, S. B.; de OLIVEIRA, A. E. Análise multivariada de imagens na química: um experimento para determinação do pH de águas potáveis. **Química Nova**, vol. 38, n.6, p. 836-841, 2015.

DEFFENDI, L. T.; SCHELINI, P. W. O monitoramento metacognitivo em tarefas que envolvem a criatividade verbal. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, vol. 32, n. 3, p.1-8, 2016.

DEL PINO, J. C. Um estudo sobre a organização curricular de disciplinas de química geral. **Acta Scientiae**, vol. 14, n.1, p. 94-114, 2012.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do Ensino de Ciências**. São Paulo: Cortez, 1992.

DINIZ, P. H. G. D.; DANTAS, H. V.; MELO, K. D. T.; BARBOSA, M. F.; HARDING, D. P.; NASCIMENTO, E. C. L.; PISTONESI, M. F.; BAND, B. S. F.; ARAÚJO, M. C. U. *Using a simple digital camera and SPA-LDA modeling to screen teas. Analytical Methods*. vol. 4, n.9, p. 2648-2652, 2012.

DUARTE, B. M.; ZANATTA, S. C. La Enseñanza de Conceptos de la Ciencia y Concepciones Alternativas en el Contexto de las Teorías Epistemológicas del Siglo XX. **Paradigma**, [S.l.], vol. 37, n. 1, p. 26-45, 2016.

EMILIASARI, R. N.; JUBAEDAH, I. S. *Lesson planning in efl classroom: a case study in lesson plan preparation and implementation. Wiralodra English Journal*, vol. 3, n.2, p.367-375, 2019.

FABRIS, B. T.; JOÃO, J. J.; BORGES, E. M. Quantificação de nitrito em água utilizando scanner de mesa. **Revista Virtual de Química**. vol. 12, n.3, p. 569-582, 2020.

FAN, Y.; LI, J.; GUO, Y.; XIE, L.; ZHANG, G. Digital image colorimetry on smartphone for chemical analysis: a review. **Measurement**, vol. 171, 108829, 2021.

FALCÃO, L. D.; BARROS, D. M.; GAUCHE, C.; LUIZ, M. T. B. Copigmentação intra e intermolecular de antocianinas: uma revisão. **B. CEPPA**, vol. 21, n.2, p. 351-366, 2003.

FERNANDES, G. D. **Detection of sophisticated fraud in olive oil using oficial methodologies and DNA molecular markers**. Tese de Doutorado. Faculdade de

Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2016. 216 p.

FERREIRA, M. L.; MARQUES, A. J. A importância do incentivo à pesquisa para o ensino de química. **Revista Educação Pública**, vol.19, n. 7, p. 1-3, 2019.

FERREIRA, M. M. C.; ANTUNES, A. M.; MELGO, M. S.; VOLPE, P. L. O. Quimiometria I: calibração multivariada, um tutorial. **Química Nova**, vol. 22, n.5, p. 724-731, 1999.

FERREIRA, M. M. C. **Chemometrics: Concepts, methods and applications**. São Paulo – Campinas: Unicamp, 2015. 495 p.

FERREIRA, M. M. C. Quimiometria III – revistando a análise exploratória dos dados multivariados. **Química Nova**, vol. 45, n.10, p. 1251-1264, 2022.

FERREIRA, M.; SILVA, A. L. S.; SILVA FILHO, O. L.; PORTUGAL, K. O. Atividade experimental problematizada (AEP): asserções praxiológicas e pedagógicas ao ensino experimental das ciências. **Investigações em Ensino de Ciências – IENCI**, vol. 27, n.1, 2022.

FILHO, J. R. F.; LIMA, R. S.; NASCIMENTO, A.; SILVA, A. C.; FREITAS, A. P. D.; SOUZA, Z. C. **Diferentes estratégias de ensino utilizadas em cursos de graduação**. In: XIV Encontro Nacional de Ensino de Química (XIV ENEQ), 2008.

FILHO, P. F. S. Uma disciplina teórica de Química para os alunos ingressantes do curso de graduação em Química. **Química Nova**, vol. 23, n.5, p. 699-702, 2000.

FIORI, G.; BERTOLDO, R. R. Contextualizando o ensino de química por meio das atividades experimentais. In: Secretaria do Estado de Educação. Superintendência de Educação. Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE, vol 1., 2013, Curitiba: SEED/PR. **Cadernos PDE**. 2013, 1-17.

FLAVELL, J. H. *Metacognition and Cognitive Monitoring: A new area of cognitive-development inquiry*. **American Psychologist**, vol. 34, n.10, p. 906-911, 1979.

FLEMING, S. M.; LAU, H. C. *How to measure metacognition*. **Frontiers in Human Neuroscience**, vol. 8, p. 1-9, 2014.

FOLLI, G. S.; MOREIRA, S. G. **Desenvolvimento de uma sequência didática por meio da atividade experimental problematizada para aprendizagem significativa de soluções químicas e espectro eletromagnético combinado ao uso de smartphones**. 2022. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação Especialização em Ensino de Ciências da Natureza) – Instituto Federal do Espírito Santo, Colatina – ES, 2022.

FRAZIER, L. D.; SCHWARTZ, B.; METCALFE, J. *The MAPS model of self-regulation: Integrating metacognition, agency, and possible selves*. **Metacognition and Learning**, vol. 16, p. 297-318, 2021.

GALLIAZI, M. C; GONÇALVES, F. P.; A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa de licenciatura em química. **Química Nova**, v. 27, n. 2, p. 326-331, 2004.

GALVAO, M. C. B.; PLUYE, P.; RICARTE, I. L. M. Métodos de pesquisa mistos e revisões de literatura mistas: conceitos, construção e critérios de avaliação. InCID: **Revista de Ciência da Informação e Documentação**, vol. 8, n. 2, p. 4-24, 2017.

GAO, Z.; ROHANI, S.; GONG, J.; WANG, J. *Recent developments in the crystallization process: Toward the pharmaceutical industry*. **Engineering**, vol. 3, n. 3, p. 343-353, 2017.

GARDNER, Howard. **Estruturas da Mente: A Teoria das Inteligências Múltiplas**. Porto Alegre, Penso, 1994. 340 p.

GELADI, P.; BENGTSSON, E.; ESBENSEN, K. *Image Analysis in chemistry II. Multivariate image analysis*. **Trends in Analytical Chemistry**, vol. 11, n.3, p. 121- 130, 1992.

GELADI, P.; BENGTSSON, E.; ESBENSEN, K.; GRAHN, H. *Image Analysis in chemistry I. Properties of images, greylevel operations, the multivariate image*. **Trends in Analytical Chemistry**, vol.11, n.1, p. 41-53, 1992.

GELADI, P.; GRAHN, H. **Multivariate image analysis**. Wiley: Chichester, Inglaterra, 1996.

GERIS, R. dos SANTOS, N. A. C.; AMARAL, B. A.; MAIA, I. S.; CASTRO, V. D.; CARVALHO, J. R. M. Biodiesel de soja – reação de transesterificação para aulas práticas de Química Orgânica. **Química Nova**, vol. 30, 1365-1373, 2007.

GIANI, Kellen. **A experimentação no ensino de Ciências: possibilidades e limites na busca de uma aprendizagem significativa**. 2010. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. In: II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2.,1999, Valinhos. Anais Eletrônicos [...] Valinhos: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC), 1999, p. 1-13.

GODINHO, M. S.; PEREIRA, R. O.; RIBEIRO, K. O.; SCHIMIDT, F.; de OLIVEIRA, A. E.; de OLIVEIRA, S. B. Classificação de refrigerantes através de análise de imagens e análise de componentes principais (PCA). **Química Nova**, vol. 31, n.6, p. 1485-1489, 2008.

GOMES, M. S.; TREVIZAN, L. C.; NÓBREGA, J. A. Uso de scanner em espectrofotometria de absorção molecular: aplicação em experimento didático enfocando a determinação de ácido ascórbico. **Química Nova**, vol. 31, n.6, p.1577-1581, 2008.

GONÇALVES, R. P. N.; GOI, M. E. J. A construção do conhecimento químico por meio da metodologia de experimentação investigativa. **Revista Debates em Ensino de Química**, vol. 8, n. 2, p. 31-40, 2022.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

GONZATTI, C. A.; SOUZA, A. R. R.; FAQUI, D. P.; MOLZ, R. F.; SANTOS, R. O.; TISCHER, B.; COSTA, A. B. *At-line monitoring of industrial corn seed classification quality by digital images analysis using smartphone*. **Journal of Food Process Engineering**, vol. 45, 14099, 2022.

GUERRA, R. R. ; RIBEIRO, J. S.; COMARU, M. W. Proposta metodológica para o desenvolvimento de habilidades em resolução de problemas por meio do ensino de quimiometria. **Revista Ciências & Ideias**, vol.10, n.1, p. 15-24, 2019.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, vol. 31, n. 3, p. 198-202, 2009.

GUIZELLINI, A. T.; ROSSI, A. V. Quimiometria na graduação em Química no Brasil. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 16. Encontro de Educação Química na Bahia, 5., 2012, Salvador. **Anais eletrônicos**. Salvador: 2012, p. 1 – 9.

GÜNER, F. S.; YAGCI, Y.; ERCIYES, A. T. *Polymers from triglyceride oils*. **Progress in Polymer Science**, vol. 31, n.7, p. 633-670, 2006.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa** 9ª ed. (ed. Lucy, C. A., Afonso, J. C. & Barcia, O. E.) 792 (W. H. Freeman, Rio de Janeiro, 2017).

HELPER, G. A.; MAGNUS, V. S.; BÖCK, F. C.; TEICHMANN, A.; FERRÃO, M. F.; COSTA, A. B. *PhotoMetrix: An application for univariate calibration and principal components analysis using colorimetry on mobile devices*. **Journal of Brazilian Chemical Society**, vol 28, n. 2, p. 328-335, 2017.

HIRAGA, K. K. M. **Aprendizagem significativa na disciplina introdutória de química orgânica: um estudo de caso**. 2022. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2022.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, vol. 20, n.2, p. 53-66, 1988.

HENNIG, Georg J. Metodologia do Ensino de Ciências. Porto Alegre: **Editora Mercado Aberto**, 1986.

HÖSKULDSSON, A. *PLS regression methods*. **Journal of Chemometrics**, vol.2, n. 3, p. 211-228, 1988.

HOWERY, D. G.; HIRSCH, R. F. *Chemometrics in the chemistry curriculum*. **Journal of Chemical Education**, vol. 60, n. 8, 656-659, 1983.

HUGELIER, S.; VITALE, R.; RUCKEBUSCH, C. *Image Processing in Chemometrics*. In: BROWN, S.; TAULER, R.; WALCZAK, B (Org.). **Comprehensive Chemometrics: Chemical and Biological Data Analysis**. 2 ed., 2020.

IBRAHEEM, N. A.; HASAN, M. M.; KHAN, R. Z.; MISHRA, P. K. *Understanding color models: a review*. **Journal of Science and Technology**. vol. 2, n. 3, p. 265- 275.

IQBAL, Z.; KHAN, M. A.; SHARIF, M.; SHAH, J. H.; UR REHMAN, M. H.; JAVED, K. *An automated detection and classification of citrus plant diseases using image*

processing techniques: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, vol. 153, p. 12-32, 2018.

JANSSON, S.; SÖDERSTRÖM, H.; ANDERSSON, P. L.; NORDING, M. L. *Implementation of problem-based learning in environmental chemistry*. **Journal of Chemical Education**, vol. 92, n. 12, p. 2080-2086, 2015.

JORGE, N. **Química e Tecnologia de óleos vegetais**. 1ª ed. São Paulo: Editora Cultura Acadêmica, 2009, 156p.

JUN, A.; OTVOS, I. P.; GONÇALVES, R. B.; SASOUNIAN, R.; VIEIRA, T.; ANDREIS, T. **Relatório de Reatividade de Compostos Orgânicos II e Biomoléculas. Lipídios, ácidos graxos e fosfolipídios**. Universidade de São Paulo - Instituto de Química, 2016.

KANDHAL, Y. P.; VISHNU, P. V.; GAYATHRI, R. *Awareness on time management techniques among college students*. **Journal of Research in Medical and Dental Science**, vol. 9, n.2, p. 243-248, 2021.

KHAING, T. T.; NYEIN, P. S.; KHAING, M. S.; WAI, K. K. *Dimension reduction of images using principal component analysis algorithm*. **Iconic Research and Engineering Journals**, vol. 3, n.11, p. 39-42, 2020.

KONRAD, C. J.; BEDIM, E.. Experimentação no ensino de química e os três momentos pedagógicos: uma prática colaborativa de investigação. In: **Química: ensino, conceitos e fundamentos** Sales, R. S., ed.; científica digital: Guarujá, 2021, cap. 1.

KOWALSKI, B. R. Chemometrics: View and propositions. **Journal of Chemical Information and Computer Sciences**. vol. 15, n. 4, p. 201-203, 1975.

KUBOTA, S.; HISATAKE, Y.; KAWAMURA, T.; TAKEMOTO. *Influence of pixel density on the quality of smartphone displays*. **SID International Symposium Digest of Technical Papers**, vol. 46, n. 1, p. 22-25, 2015.

KUNTZLEMAN, T. S.; JACOBSON, E. C. *Teaching Beer's law and absorption spectrophotometry with a smartphone: a substantially simplified protocol*. **Journal of Chemical Education**, vol. 93, n.7, p. 1249-1252, 2016.

LAURENT, H.B.; DÜRR, H. *Organic photochromism*. **Pure and Applied chemistry**, vol. 73, n.4, p. 639-665, 2001.

LEARDI, R. *Experimental design in chemistry: a tutorial*. **Analytica Chimica Acta**, vol. 652, n. 1-2, p. 161-172, 2009.

LEDESMA, C. M.; GELINSKI, J. M. L. N.; BORGES, E. M. Determinação da constante de equilíbrio utilizando imagens digitais. **Química Nova**, vol. 11, n.3, p. 555-572, 2019.

LEE, L. C.; LIONG, C.-Y.; JEMAIN, A. A. *Partial least squares - discriminant analysis (PLS-DA) for classification of high-dimensional (HD) data: a review of contemporary practice strategies and knowledge gaps*. **Analyst**, vol. 143, n.15, p. 3526-3539, 2018.

LEHMANN, E. L. **Emprego de espectrometria de massas inorgânica e suas hifenações na análise de amostras de interesse forense**. Tese de Doutorado. Departamento do Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2019. 131 p.

LEITE, S. Q. M. (org.). **PRÁTICAS EXPERIMENTAIS INVESTIGATIVAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS**: caderno de experimentos de física, química e biologia - espaços de educação não formal - reflexões sobre o ensino de ciências. Vitória: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo e Secretaria de Estado de Educação do Espírito Santo, 2012. 218 p.

LIKERT, R. **A technique for the measurement of attitudes**. *New York: Archives of Psychology*. 1932, p. 44-53.

LIMA, K. L. S. **O ensino de química a partir da temática chocolate: uma proposta de atividade experimental problematizada (AEP) com enfoque CTSA**. 2023. 169 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Química – ProfQui) – Instituto Federal do Espírito Santo, Vila Velha – ES, 2023.

LIMA, V. V. C. **Adsorção de antocianinas extraídas do repolho roxo utilizando filmes de quitosana**. 2018. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande – RS, 2018.

LISBÔA, J. C. F. QNesc e a seção experimentação no ensino de química. **Química Nova na Escola**, vol. 37, n.2, p. 198-202, 2015.

LIU, J.; GENG, Z.; FAN, Z.; LIU, J.; CHEN, H. *Point-of-care testing based on smartphone: The current state-of-the-art (2017–2018)*. **Biosensors and Bioelectronic**, vol. 132, n. 1, p. 17-37, 2019.

LIU, Y.; FAN, Y.; CHEN, J. *Flame Images for Oxygen Content Prediction of Combustion Systems Using DBN*. **Energy & Fuels**. vol.31, n. 8, p. 8776-8783, 2017.

LYRA, W. S.; da SILVA, E. C.; de ARAÚJO, M. C. U.; FRAGOSO, W. D.; VERAS, G. Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. **Química Nova**, vol. 33, n. 7, p.1594-1597, 2010.

LOPES, R. M.; FILHO, M. V. S.; MARSDEN, M.; ALVES, N. G. Aprendizagem baseada em problemas: uma experiência no ensino de química toxicológica. **Química Nova**, vol. 34, n.7, p. 1275-1280, 2011.

LUCA, A. G.; Del PINO, J. C.; A aplicação da experimentação contextualizada e interdisciplinar com estudantes do Ensino Médio: percepções e considerações. **Revista Eletrônica de Educação Matemática**, vol. 4, n. 1, p. 87-105, 2021.

LYRA, W. S.; SILVA, E. C.; ARAÚJO, M. C. U.; FRAGOSO, W. D. *Periodic classification: a didactic example to teach principal component analysis*. **Química Nova**, vol. 33, n.7, p.1594-1597, 2010.

MACKIEWICZ, A.; RATAJCZAK, W. Principal Components Analysis (PCA). **Computers & Geosciences**, vol.19, n.3, p. 303-342, 1993.

MALIK, M. R.; ISAAC, B. J.; COUSSEMENT, A.; SMITH, P. J.; PARENTE, A. *Principal*

*component analysis coupled with nonlinear regression for chemistry reduction. **Combustion and Flame***. vol.187, n.1, 30-41, 2018.

MARÇO, P. H.; POPPI, R. J.; SCARMINIO, I. S. Procedimentos analíticos para identificação de antocianinas presentes em extratos naturais. **Química Nova**. vol. 31, nº 5, p. 1218-1223, 2008.

MARTENS, H.; NAES, T. **Multivariate Calibration**, John Wiley & Sons: New York, 1989.

MATEUS, P. G. **Levantamento de modelos mentais para verificação de aprendizagem significativa do conceito de equilíbrio químico em licenciandos em química**. 2019. 196 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2019.

MORAIS, C. L. M.; LIMA, K. M. G. *Determination and analytical validation of creatinine content in serum using image Analysis by multivariate transfer calibration procedures. **Analytical Methods***, vol. 16, n. 7, p. 6904-6910, 2015.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa subversiva. Série-Estudos - **Periódico do Mestrado em Educação da UCDB**. vol. 21, p. 15-32, 2006.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora UNB, 2006.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010. Currículo, La Laguna, Espanha, 2012.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, J. R.; SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G.; DEL PINO, J. C. Potencialidade de um plano de ensino pautado na atividade experimental problematizada (AEP) à alfabetização científica em química. **Experiências em Ensino de Ciências**. vol. 14, n.2, p. 558-581, 2019.

MORI, L.; CUNHA, M. B. Problematização: possibilidades para o ensino de Química. **Química Nova na Escola**, vol. 42, n.2, p. 176-185, 2020.

MOURA, A. Geração móvel: um ambiente de aprendizagem suportado por tecnologias móveis para a “geração polegar”. In: VI Conferência Internacional de TIC na Educação, 6, 2009, Portugal – Porto. **Anais Eletrônicos** [...] Porto: Centro de Competência da Universidade do Minho, 2009; p. 49-77.

NASCIMENTO, P. V. **Ensino de química e atividade experimental problematizada AEP: avaliando aprendizagem dos conteúdos químicos através do software pnota no contexto do ensino fundamental**. 2020. 126 f. Dissertação de Mestrado

(Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – ProfQui) do Instituto Federal do Espírito Santo, Vila Velha, 2020.

NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. 25 anos de quimiometria no Brasil. **Química Nova**, vol. 29, n.6, p. 1401-1406, 2006.

NEVES, N. N.; de MOURA, L. P.; GRAEBNER, I. B. Tipos de experimentação: a aprendizagem em química a partir da perspectiva do processo de ressignificação e participação ativa do estudante. **Scientia Naturalis**, vol. 1, n.1, p. 125-131, 2019.

NICHELE, A. G.; SCHLEMMER, E. Aplicativos para o ensino e aprendizagem de química. **Novas Tecnologias na Educação – CINTED**, vol. 12, n. 2, p. 1-9, 2014.

OLIVEIRA, J. R. S. A perspectiva sócio-histórica de Vygotsky e suas relações com a prática da experimentação no ensino de química. **Alexandria – Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, vol.3, n.3, p.25-45, 2010.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Revista Acta Scientiae**, Canoas, vol. 12, n.1, p.139-153, 2010.

OLIVEIRA, L. F.; CANEVARI, N. T.; JESUS, A.; FILHO, E. R. P. Uso de imagens digitais e análise de componentes principais na identificação dos níveis de Cr (VI) em amostras de solos. **Revista Virtual de Química**, vol. 5, n. 2, p. 169-178, 2013.

OLIVEIRA, M. C. R.; SALAZAR, D. M. Experimentação didática no ensino de química numa perspectiva da pedagogia histórico-crítica. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC, 9., 2013, Águas de Lindóia. **Anais eletrônicos [...]** Águas de Lindóia: 2013, p. 1 – 8.

OLIVEIRA, M. L. **Contribuições do estudo de transposição didática e processos oxidativos avançados na formação inicial de professores de química: um estudo de caso**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Química da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020. 141 p.

PACCA, J. L. A.; SCARINCI, A. L. O que pensam os professores sobre a função da aula expositiva para a aprendizagem significativa. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 16, n. 3, p. 709-721, 2010. FapUNIFESP (SciELO).

PAGNO, V.; SALAPATA, A.; SCHMITZ, E. P. S.; CABRERA, L. C. Levantamento de resíduos de laboratórios, propostas de atividades experimentais e ações com foco em química verde. **ACTIO: Docência em Ciências**, vol. 2, n.2, p. 80-96, 2017.

PASSOS, B. S.; VASCONCELOS, A. K. P.; SILVEIRA, F. A. Ensino de química e aprendizagem significativa: uma proposta de sequência didática utilizando materiais alternativos em atividades experimentais. **Revista Insignare Scientia - Ris**, v. 5, n. 1, p. 610-630, 2022. Universidade Federal da Fronteira Sul.

PASQUINI, C. *Near infrared spectroscopy: a mature analytical technique with new perspectives – A review*. **Analytica Chimica Acta**. vol. 1026, p. 8-36, 2018.

PAULA, G. F. **Caracterização de poli(hexametileno biguanida) e suas blends com poli(álcool vinílico)**. 2012. 194 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2012.

PIMENTAL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: USP/ESALQ, 1985, 467p.

PINTRICH, P. R. *The role of goal orientation in self-regulated learning*. In : **Handbook of Self-Regulation**, M. BOEKAERTS, P. R. PINTRICH, and M. ZEIDNER, Ed: San Diego, CA, USA: Academic, 2000, pp. 451–502.

PIVATTO, W. B. Os conhecimentos prévios dos estudantes como ponto referencial para o planejamento de aulas de Matemática: análise de uma atividade para o estudo de Geometria Esférica. **Revemat**, vol. 9, n.1, p. 43-57, 2014.

POPPI, R. J.; SOUZA, A. M. Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: um tutorial, parte I. **Química Nova**, vol. 35, n. 1, p. 223-229, 2012.

PRINCE, R. C.; FRONTIERA, R. R.; POTMA, E. O. Stimulated raman scattering: from bulk to nano. **Chemical Reviews**, vol. 117, n. 7, p. 5070-5094, 2017.

RATCLIFFE, M. *Pupil decision-making about socio-scientific issues within the science curriculum*. **International Journal of Science Education**, vol.19, n.2, p. 167-82, 1997.

REIN, M. **Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins**. 2005. Dissertação (Mestrado em Química de Alimentos) – Universidade de Helsinki, Helsinki – FI, 2005.

REIS, M.; GINS, G. *Industrial Process Monitoring in the Big Data/Industry 4.0 Era: From Detection, to Diagnosis, to Prognosis*. **Processes**. vol. 5, n.4, p. 1-16, 2017.

RHODES, M. G. Metacognition, **Teaching of Psychology**, vol. 46, n.2, p. 168-175, 2019.

RIZZATTI, I. M.; JACAĐNA, R. D. P. Tecnologias assistivas e a aprendizagem significativa no ensino de química para alunos surdos. **Educación Química**, vol. 33, n. 3, p. 48, 2022.

ROCHA, J. S.; VASCONCELOS, T. C. **Dificuldades de aprendizagem no ensino de química: algumas reflexões**. In: XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química – ENEQ, 2016, Florianópolis - SC. Livro de resumos. p.10. Disponível em:<<https://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0145-2.pdf>>. Acesso: 20 nov. 2021.

ROCHA, M. L.; AGUIAR, K. F. Pesquisa-intervenção e a produção de novas análises. **Psicologia: Ciência e Profissão**, [S.L.], vol. 23, n. 4, p. 64-73, 2003.

ROMÃO, W.; SCHWAB, N. V.; BUENO, M. I.; SPARRAPAN, R.; EBERLIN, M. N.; MARTINY, A.; SABINO, B. D.; MALDANER, A. O. Química Forense: perspectivas sobre métodos analíticos à documentoscopia, balística e drogas de abuso. **Química Nova**, vol. 34, n. 10, p. 1717-1728, 2011.

ROSA, D. L.; MENDES, A. N. F.; LOCATELLI, A. B. A formação da identidade docente na licenciatura em química e suas relações com a aprendizagem significativa a partir da análise do modelo de ensino de gowin. **Revista Práxis**, vol. 10, n.20, p. 147-160, 2018.

ROSA, T. R. **Desenvolvimento de softwares para aplicações quimiométricas**. Tese de Doutorado. Departamento de Química da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020. 160 p.

ROSA, T. R.; SIQUEIRA, B. M. M.; COSTA, R. A.; dos REIS, J. Z.; PACHECO, W. L. S.; de MOURA, P. R. G.; ROMÃO, W.; FILGUEIRAS, P. R. REDGIM como aplicativo de *smartphone* para aplicações quimiométricas por meio de análise de imagens: um uso em PLS. **Química Nova**, vol. 45, n.5, p. 550-559, 2022.

SÁ, P.; COSTA, A. P.; MOREIRA, A. (org.). **Reflexões em torno de Metodologias de Investigação**: recolha de dados (vol. 2). Aveiro: Ua Editora, 2021. 105 p.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de Pesquisa**. 5ª ed. Porto Alegre: Editora Penso. 2013.

SANDUSKY, P. O. Introducing undergraduate students to metabolomics using a NMR-based analysis of coffee beans. **Journal of Chemical Education**, vol. 94, n.9, p. 1324-1328, 2017.

SANG, J.; WANG, S.; LI, Q. *Least significant qubit algorithm for quantum images*. **Quantum Information Processing**. vol.15, n. 11, p. 4441-4460, 2016.

SANMARTÍ, N. **Avaliar para aprender**. 1ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2009, p. 136

SANTANA, F. B.; SOUZA, A. M.; ALMEIDA, M. R.; BREITKREITZ, M. C.; FILGUEIRAS, P. R.; SENA, M. M.; POPPI, R. J. *Didactic experiment of chemometrics for the classification of edible vegetable oils by fourier transform infrared spectroscopy and partial least squares discriminant analysis: a tutorial, part V*. **Química Nova**, vol. 43, n.3, p. 371-381, 2020.

SANTOS, A. G.; NETO, A. R. P.; FRAGOSO, H. C. Métodos das aulas dinâmicas: uma aplicação no ensino de química. **Brazilian Applied Science review**, vol.3, n.1, p.529-538, 2019.

SANTOS JUNIOR, J. B.; OLIVEIRA, L. C.; BOTERO, W.; VON SIMONYI, B.; LEITE JUNIOR, L. C. Investigação sobre a efetividade da experimentação e da simulação para a aprendizagem significativa em Química Orgânica. **Revista Thema**, vol. 19, n. 3, p. 499-516, 2021.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Ciência e Educação**, vol. 7, n.1, p. 95-111, 2001.

SCAPIM, C. A.; de CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol 30, n.5, p. 683-686, 1995.

SCHEIN, Z. P.; COELHO, S. M. O papel do questionamento: intervenções do professor e do aluno na construção do conhecimento. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol.23, n.1, p.68-92, 2006.

SCHUNK, D. H.; ZIMMERMAN, B. J. *Social origins of self-regulatory competence*. **Educational Psychologist**, vol. 32, n.4, p. 195-208, 1997.

SCOPUS < <https://www.scopus.com/>> (acesso em Maio Dez 2023).

SEFID-SEFIDEHKLAN, Y.; MOKHTARI, M.; JOUYBAN, A.; KHOSHKAM, M.; KHOUBNASABJAFARI, M.; JOUYBAN-GHARAMALEKI, V.; RAHIMPOUR, E. A smartphone digital image colorimetric method based on nanoparticles for determination of lamotrigine. **Bioanalysis**, vol. 15, n.15, p.915-926, 2023.

SHEPHERD, P. T. *Retrospective*. **Journal of Chemometrics**. vol. 1, n. 1, p. 3-6, 1987.

SHER, M.; ZHUANG, R.; DEMIRCI, U.; ASGHAR, W. *Paper-based Analytical devices for clinical diagnosis: recente advances in the fabrication techniques and sensing mechanisms*. **Expert Review of Molecular Diagnostics**, vol.17, n.4, p. 351- 366, 2017.

SHINDY, H. A.; EL-MAGHRABY, M. A.; EISSA, F. M. *Synthesis, absorption spectra studies, solvatochromism and halochromism of polymethine cyanine dyes*. **Coloration Technology**, vol. 125, n.2, p. 104-110, 2009.

SHISHKIN, Y. L.; DMITRIENKO, S. G.; MEDVEDEVA, O. M.; BADAKOVA, S. A.; PYATKOVA, L. N. *Use of a scanner and digital image-processing software for the quantification of adsorbed substances*. **Journal of Analytical Chemistry**, vol. 59, n. 2, p. 102-106, 2004.

SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G.; DEL PINO, J. C. Atividade experimental problematizada (AEP) como uma estratégia pedagógica para o ensino de ciências: aportes teóricos, metodológicos e exemplificação. **Revista Experiências em Ensino de Ciências**, vol.12, n. 5, p.177-195, 2017.

SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G. **Ensino experimental de ciências: Atividade Experimental Problematizada (AEP)**. 1ª Ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018. 175 p.

SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G.; DEL PINO, J. C. Atividade experimental problematizada (AEP) à alfabetização científica em química. **Revista Experiências em Ensino de Ciências**, vol. 12, n.1, p.177-195, 2017.

SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G.; DEL PINO, J. C. Atividade experimental problematizada: Uma proposta de diversificação das atividades para o ensino de ciências. **Revista Experiências em Ensino de Ciências**, vol. 10, n.3, p. 51-65, 2015.

SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G.; DEL PINO, J. C. Atividade experimental problematizada (AEP): Discussões pedagógicas e didáticas de uma asserção de sistematização voltada ao ensino experimental das ciências. **Revista Contexto e Educação**, vol. 37, n. 116, p. 130- 144, 2022.

SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G.; DEL PINO, J. C. Ensino de Ciências via proposições

e mediações da atividade experimental problematizada (AEP): “cenários” brasileiro e português de formação continuada de professores. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática – REnCIMA**, vol. 12, n.4, p. 1-24, 2021.

SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G.; DEL PINO, J. C. Subsídios pedagógicos e epistemológicos da atividade experimental problematizada (AEP). **Revista REVELLI**, vol. 10, n. 4, p.41-66, 2018.

SILVA, A. L. S.; FERREIRA, M.; PEREIRA, S. M.; FILHO, O. L. S. Atividade experimental problematizada (AEP): revisão bibliográfica em descritores na área de ensino de ciências. **Revista Pesquisa e Debate em Educação**, vol. 9, n.1, p.459-471, 2019.

SILVA, A. L. S.; MARTINS, D. G.; MOURA, P. R. G.; GARCIA, A. R. S. M. O teor de sódio nos alimentos: um cenário didático ao ensino da química nos moldes da atividade experimental problematizada (AEP). **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC**, vol. 11, n. 3, p. 178-192, 2021.

SILVA, I. F.; SILVA, A. J. P. A experimentação na educação em química: estudo exploratório sobre as percepções de licenciandos. **Revista Virtual de Química**, vol. 11, n.3, p. 937-957, 2019.

SILVA, L. H. A.; ZANON, L. B. **A experimentação no ensino de ciências**. In: SCHNETZLER, Roseli Pacheco; ARAGÃO, Rosália Maria Ribeiro de. Ensino de Ciências: fundamentos e abordagens. Piracicaba: CAPES/UNIMEP, 2000.

SILVA, M. S. B.; SILVA, D. M.; KASSEBOEHMER, A. C. Atividade investigativa teórico-prática de química para estimular práticas científicas. **Química Nova na Escola**, vol. 41, n. 4, 360-368, 2019.

SILVEIRA, F. A.; VASCONCELOS, A. K. P.; SAMPAIO, C. G. Análise do jogo MixQuímico no ensino de química segundo o contexto da teoria da aprendizagem significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, vol. 12, n. 2, p. 248-269, 2019.

SILVEIRA, F. A.; VASCONCELOS, A. K. P.; SAMPAIO, C. G. Experimentação investigativa no tópico chuva ácida: estratégia de ensino na formação inicial docente consoante o contexto da aprendizagem significativa. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – Encitec**, vol. 12, n. 1, p. 119-136, 2022.

SIMONI, D. A.; ANDRADE, J. C.; SIMONI, J. C. Montagem de uma disciplina experimental: contribuição para a Química Geral. *Quím. Nova*, vol. 34, n.10, p. 1818-1824, 2011.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; COUCH, S. **Fundamentos de química analítica**, 8ª ed., Thomson: São Paulo, 2006. 1026 p.

SOARES, J. F.; SIQUEIRA, A. L. **Introdução à estatística médica**. Departamento de Estatística – UFMG, 1999, 300p.

SOBRINHO, J. A. **Fotocromismo e luminescência de compostos a base de tungstênio e íons terras raras trivalentes via síntese hidrotérmica**. 2015. 148 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara – SP, 2015

SOUZA, A. M.; BREITKREITZ, M. C.; FILGUEIRAS, P. R.; ROHWEDDER, J. J. R.; POPPI, R. J. Experimento didático de quimiometria para calibração multivariada na determinação de paracetamol em comprimidos comerciais utilizando espectroscopia no infravermelho próximo: um tutorial, parte II. **Química Nova**, vol. 36, n.7, p. 1057-1065, 2013.

SOUZA, A. M.; POPPI, R. J. Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: um tutorial, parte I. **Química Nova**, vol. 35, n.1, p. 223-229, 2012.

STERNBERG, R. J.; GRIGORENKO, E. L. **Inteligência Plena: ensinando e incentivando a aprendizagem e a realização dos alunos**. 1ª ed., Porto Alegre: Artes Médicas, 2003. 192 p.

STERNBERG, R. J.; CASTEJÓN, J. L.; PRIETO, M. D.; HAUTAMAKI, J.; GRIGORENKO, E. L. *Confirmatory factor analysis of the sternberg triarchic abilities test in three international samples*. **European Journal of Psychological Assessment**, vol. 17, n.1, p. 1-16, 2001.

STERNBERG, R. J.; GLAVEANU, V.; KARAMI, S.; KAUFMAN, J. C.; PHILLIPSON, S. N.; PREISS, D. D. *Meta-Intelligence: understanding, control, and interactivity between creative, analytical, practical, and wisdom-based approaches in problem solving*. **Journal of Intelligence**, vol. 9, n.2, p.1-22, 2021.

STERNBERG, R. J. *The Theory of Successful Intelligence*. **Interamerican Journal of Psychology**, vol. 39, n.2, p.189-202, 2005.

SUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R. A manifestação de habilidade cognitivas em atividades experimentais investigativas no ensino médio de Química. **Revista Ciências e Cognição**, vol. 14, n.1, p. 50-74, 2009.

SUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R. As habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de Química em uma atividade experimental investigativa. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, vol. 8, n. 2, p. 1-22, 2008.

TASAR, S.; ÖZER, A. *Production and characterization of hemicelulose-based halochromic gel pen*. **Polymer Bulletin**, vol. 78, n.11, p. 6743 – 6760, 2021.

TEDDLIE, C.; TASHAKKORI, A. **Foundations of mixed methods research: Integrating quantitative and qualitative approached in the social and behavioral sciences**. London: SAGE. 2009.

TOSATO, F.; ROSA, T. R.; MORAIS, C. L. M.; MALDANER, A. O.; ORTIZ, R. S.; FILGUEIRAS, P. R.; LIMA, K. M. G.; ROMÃO, W. *Direct quantitative analysis of cocaine by thin layer chromatography plus a mobile phone and multivariate calibration: a cost-effective and rapid method*. **Analytical Methods**. vol. 8, n. 42, p. 7632-7637, 2016.

UMEYAMA, S.; GODIN, G. Separation of diffuse and specular components of surface reflection by use of polarization and statistical analysis of images. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, vol. 26, n.5, p. 639-647, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. **Resolução 23/2020**. Cun Ufes. Disponível em : https://daocs.ufes.br/sites/daocs.ufes.br/files/field/anexo/resolucao_no_23.2020_-_reorganizacao_das_atividades_0.pdf.

VALDERRAMA, L.; PAIVA, V. B.; MARÇO, P. H.; VALDERRAMA, P. Proposta experimental didática para o ensino de análise de componentes principais. **Química Nova**, vol. 39, n.2, p. 245-249, 2016.

VARELA, G.; RUIZ-ROSO, B. *Some nutritional aspects of olive oil*. In.: HARWOOD, J., APARICIO, R (org). **Handbook of olive oil**. Gaithersburg, ASPEN, p. 565-582, 2000.

VARMUZA, K. *Pattern recognition in analytical chemistry*. **Analytica Chimica Acta**, vol. 122 , n.3, p. 227-240, 1980.

VERAS, G. ; ALVES, V.; RAMOS, H.; GOMES, M.; FIGUEIREDO, L. ; MATIAS, E. Perfil cientométrico da quimiometria no brasil. **Química Nova**, [S.L.], vol. 45, n. 10, p. 1315-1321, 2022.

VITTORAZZI, B. V.; COSTA, R. A.; COELHO, L. M.; ISIDORO, M. M.; LIMA, K. M. G.; FILGUEIRAS, P. R.; ROMÃO, W. Classificando cédulas brasileiras (R\$) usando análise de imagem por *smartphone*. **Química Nova**, vol. 43, n.4, p. 447- 454, 2020.

WEI, Y.; LIU, H.; WU, H.; CHANG, R. OPME (**Objectives-Process-Methods-Evaluation**) **method for lesson planning**. In: *Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Social Science and Higher Education*, 2016.

WEN, C-Y.; CHOU, C-M. *Color Image Models and its applications to document examination*. **Forensic Science Journal**, vol. 3, n. 1, p. 23-32, 2004.

WENNING, C. J.; VIEYRA, R. E. *Metacognition and Self- Regulation*. In: **Teaching High School Physics: Interactin with Physics Students**, Cap. 9, 1-20, 2020.

WENZEL, A. G.; CASPER, S.; GALVIN, C. J.; BECK, G. E. Science and business of medicinal chemistry: A “bench-to-bedside” course for nonmajors. **Journal of Chemical Education**, vol. 97, n.2, p. 414-420, 2020.

WISE, B. M.; GALLAGHER, N. B. *PLS-Toolbox 2.1 for use with Matlab*, **EigenVector Research Inc**: Manson, 1998.

WOLD, S. ESBENSEN, K.; GELADI, P. *Principal component analysis*. **Chemometrics and inteligente laboratory systems**. vol.2, n. 1-3, p. 37-52, 1987.

WOLD, S. *Pattern recognition by means of disjoint principal components models*. **Pattern Recognition**, vol. 8, n.3, p. 127-139, 1976.

WOLD, S. *Slip functions, a new tool in data-analysis*. **Kemisk Tidskrift**. vol. 3, p. 34-37, 1972.

YASEEN, T.; SUN, D.-W.; CHENG, J.-H. *Raman imaging for food quality and safety evaluation: Fundamentals and application*. **Trends in Food Science & Technology**, vol. 62, p. 177-189, 2017.

YULIA, Y.; WASITO, H.; FATONI, A. *Qualitative analysis method of detection of wax contente in gorengan using smartphone*. **Journal of Pharmaceutical Sciences and Community**, vol. 15, n.1, p. 7-15, 2018

ZOLLER, U. *Alternative assessment as (critical) means of facilitating HOCS-promoting teaching and learning in chemistry education*. **Chemistry Education Research and Practice**, vol. 2, n. 1, p. 9-17, 2001.

ZOLLER, U. Are lecture and learning compatible? Maybe for LOCS: unlikely for HOCS. **Journal of Chemical Education**, vol. 70, n.3, p.195-197, 1993.

ZOLLER, U.; DORI, Y.; LUBEZKY, A. *Algorithmic and LOCS and HOCS (chemistry) exam questions: performace and attitudes of college students*. **International Journal of Science Education**, Abingdon, vol. 24, n. 2, p. 185-203, 2002.

ZOLLER, U. HOCS problem solving vs. LOCS exercise solving: what do college science students prefer? *In*: PSILLOS, D.; TSELFES, V. ; HATZIKRANIOTIS, E.; FASSOULOPOULOS, G.; KALLERY, M. **Science education research in the knowledge- based society**. Grécia: Springer-Science + Business Media, B.V., 201-207, 2003.

ZOLLER, U.; LUBEZKY, A.; NAKHLEH, M. B.; TESSIER, B.; DORI, Y. *Success on algorithmic and LOCS vs. conceptual chemistry exam questions*. **Journal of Chemical Education**, vol. 72, n.11, p. 987-989, 1995.

ZOLLER, U.; PUSHKIN, D. Matching higher-order cognitive skills (HOCS) promotion goals with problem-based laboratory practice in a freshman organic chemistry course. **Chemistry Education Research and Practice**, Ioannina, vol. 8, n. 2, p. 153-171, 2007.

ZOLLER, U.; TSAPARLIS, G. Higher and lower-order cognitive skills: the case of chemistry. **Research in Science Education**, vol. 27, p. 117-130, 1997.

APÊNDICES

Apêndice A. Termo de consentimento livre e esclarecido apresentado aos alunos.

Análise automatizada de dados multivariados por meio de imagens no ensino de química: uso de aplicativo portátil no estudo investigativo de quimiometria no contexto da Atividade Experimental Problematicada (AEP)

Ei, pessoal! SEJAM TODOS BEM VINDOS!!

Espero que todos estejam bem.

Estamos passando por um período bastante atípico em nossa Universidade, ainda mais pelo uso do EARTE. Estou aqui para o que vocês precisarem junto com os professores _____ . Vamos passar por isso todos juntos.

Para minimizar a falta de conteúdos práticos e para aumentar mais o contato com outros assuntos da Química neste período de Ensino Remoto, estamos convidando vocês a participarem de uma pesquisa com o intuito de contribuir na construção de seus conhecimentos científicos.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

PESQUISADOR RESPONSÁVEL: Bruno Magela de Melo Siqueira

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Rogério Garcez de Moura

Você está convidado a participar de uma pesquisa intitulada “Análise automatizada de dados multivariados por meio de imagens no ensino de química: uso de aplicativo portátil no estudo investigativo de quimiometria no contexto da atividade experimental problematicada” durante as aulas de “*nome da disciplina*” com o objetivo de contribuir para a pesquisa da tese do doutorando Bruno Magela de Melo Siqueira, inscrito no Programa de Pós-Graduação em Química da UFES. Essa pesquisa é importante, pois irá verificar os níveis de compreensão que o aluno alcançou a partir da experimentação, e com aulas teóricas, trazendo benefícios ao ensino de química no contexto do nível superior, além de mostrar algumas vertentes e aplicações da Química no contexto de preparo de soluções e métodos de análises químicas de baixo custo por meio de tecnologias portáteis.

Ao aceitar participar desta pesquisa, ficam esclarecidos os seguintes termos:

- A pesquisa tem como objetivo introduzir os conceitos de Análise Multivariada de dados, Métodos de preparo de soluções e análises químicas quantitativas e qualitativas no Ensino de química junto a contextualização de assuntos pertinentes à disciplina XXXXXXXXXX com emprego da metodologia de atividade experimentais problematicadas no contexto da formação de profissionais na área da Química na conjuntura de ensino superior. O tempo estimado para a realização da pesquisa é durante quatro aulas da disciplina XXXXXXXXXX.

- A participação na pesquisa consiste no preenchimento de questionários e atividades experimentais realizadas em casa, porém com todo apoio do pesquisador de via remota quando necessário. Para coleta de dados, serão utilizados questionários e perguntas orientadoras. Além disso, serão feitos registros fotográficos (dos experimentos), gravações de áudio e vídeos na plataforma de videoconferência por onde as aulas serão mediadas. A fim de amenizar qualquer desconforto, as coletas serão feitas de forma individual e o pesquisador sempre estará disponível para esclarecimentos. Os registros fotográficos só serão utilizados única e exclusivamente no meio acadêmico (tese do pesquisador e artigos publicados), se necessário. Asseguramos também total sigilo e preservação da sua identidade, tirando a foto em ângulos que não permitem identificação ou utilizando tarja no rosto. As gravações de áudios serão empregadas apenas para transcrição, a fim de examinar os níveis de compreensão dos alunos, que é um escopo da pesquisa. As gravações em vídeos serão das aulas remotas de modo a não permitir identificação. Na apresentação dos resultados não serão citados em nenhum momento os nomes dos

participantes. Se alguma parte das gravações em áudio for utilizada, será somente na forma transcrita, com finalidade exclusivamente acadêmica, utilizando numeração a fim de preservar sua identidade (Aluno A₁, Aluno A₂, e assim sucessivamente).

- O benefício decorrente desta pesquisa é o conhecimento gerado para o seu futuro profissional sobre a Quimiometria (Análise Multivariada de Dados), contato com a área científica, desenvolvimento de procedimentos experimentais, resolução de problemas utilizando métodos de análise química de baixo custo e conteúdos estudados em XXXXXXXXXXXX, caso exerça alguma função nessa área e para sua formação como Bacharel/Licenciatura ao ter contato com uma nova metodologia de análise por meio da miniaturização de equipamentos.

- Em caso de eventual dano comprovadamente decorrente da pesquisa, você terá total direito de buscar indenização e, caso haja alguma despesa ao longo da pesquisa, será feito o ressarcimento/reembolso.

- Se após consentir em participar da pesquisa você desistir de continuar participando, você terá total direito e liberdade de retirar-se a qualquer momento antes ou depois da coleta de dados, sem prejuízo a sua pessoa.

- Garanto que este termo deverá ser redigido, assinado e rubricado pelo participante e pelo pesquisador, em duas vias, sendo que cada um ficará com uma via.

Informações de contato: Para sanar qualquer dúvida referente à pesquisa, o contato do pesquisador segue abaixo da assinatura do mesmo. Em caso de denúncias ou intercorrências com a pesquisa, o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFES/Campos Goiaberais poderá ser acionado pelo telefone (27) 3145-9820 ou pelo e-mail: cep.goiabeiras@gmail.com.

CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO

Eu declaro que li, ou foi-me lido, as informações contidas neste documento, concordo em participar do estudo descrito acima. Fui devidamente informado e esclarecido pelo pesquisador sobre a pesquisa e os procedimentos nela envolvidos. Foi-me garantido o sigilo das informações e que posso interromper a pesquisa a qualquer momento, ou mesmo retirar meu consentimento, sem que isto acarrete qualquer prejuízo a mim, ao pesquisador ou a instituição.

Vitória – ES, __/__/__

Nome do aluno participante: _____

Pesquisador Responsável – Bruno Magela de Melo Siqueira
Contato: (27) 99607-3002 – brunosiq15@gmail.com

Desde já agradeço a sua participação.
Conte comigo no que precisar. Estarei a total disposição.

Apêndice B. Questionário inicial aplicado na turma de Química Geral I em 2020.

- 1.Nome completo:
- 2.Sexo: () Masculino () Feminino
- 3.Idade
() Menor de 18 anos () 18 a 24 anos
() 25 a 30 anos
() 31 a 36 anos
() acima de 37 anos
- 4.Você já concluiu algum curso (técnico, tecnólogo ou graduação) relacionado com Química ou áreas afins? Se sim, qual foi o curso?
- 5.Você já concluiu algum curso de graduação independente da área? Se sim, qual curso?
- 6.Você já participou de alguma pesquisa ou iniciação científica (IC) relacionada com Química ou áreas afins? Se sim, conte um pouco sobre.
- 7.Onde e como você observa as análises químicas no seu cotidiano e na sociedade?
- 8.Cite algum método analítico que você conheça, ou já ouviu falar, para quantificar elementos químicos (analito).
- 9.O que você entende por espectrofotometria na região do UV-vis?
- 10.Você, como estudante do curso de Química, o que compreende a respeito da curva analítica de calibração?
- 11.No momento em que se encontra agora, você sabe realizar cálculos de preparo de soluções (g.L^{-1} ; mol. L^{-1}) e cálculos de diluição?
() SIM () NÃO
- 12.A Quimiometria é uma área da Química que faz uso da composição vetorial de matrizes para o tratamento de dados químicos. O que você sabe sobre as aplicações dessa área?
- 13.Como podemos fazer uso de imagens digitais na Química?

Fonte: Acervo próprio (2020).

Apêndice C. Planejamento da oficina didática com os respectivos assuntos abordados em cada encontro (2020) com base na AEP (continua).

Título	Tecnologia e Inovação no Ensino de Química: Explorando REDGIM® por meio da Atividade Experimental Problematicada
Público-alvo	Turma de Química Geral I - Bacharelado
Proposição de um problema	Como é possível utilizar recursos tecnológicos do cotidiano em análises químicas distantes do laboratório para a resolução de problemas específicos?
Descrição do problema	O crescente uso de imagens digitais como técnica alternativa para auxílio na resolução de problemas na comunidade acadêmica tem gerado uma tendência de aumento nas publicações científicas. Isso ocorre devido à praticidade e rapidez na análise dos resultados, especialmente com a possibilidade de utilizar <i>smartphones</i> como ferramentas nesse processo. Com o advento recente dos recursos multimídias, e da popularização do uso dos aplicativos, as tecnologias móveis (celulares, <i>tablets</i> e afins), proporcionaram um novo protótipo educacional (<i>mobile learning</i>), por meio de dispositivos portáteis para atender as necessidades demandadas diante de situações emergentes. Nesse contexto, a pandemia do SARS-CoV-2, responsável pela COVID-19, contribuiu com o aumento significativo no uso desses dispositivos como uma tentativa de mitigar os impactos causados pelo isolamento social. Devido ao fechamento de diversos espaços físicos, incluindo escolas e universidades, as aulas foram migradas para o formato remoto, utilizando plataformas digitais. Por esse motivo, o uso dos espaços físicos dos laboratórios ficou comprometido, bem como a oferta das aulas práticas referentes às disciplinas experimentais.
Metodologia de ensino	Atividade Experimental Problematicada (AEP)
Objetivo geral	Verificar a técnica de análise por imagens digitais no contexto remoto
Objetivo experimental	Compreender as análises químicas por meio de imagens digitais utilizando aplicativo de <i>smartphone</i> .
Quantidade de aulas	4 aulas de 2 h (8 h totais)
Levantamento prévio	Para organizar o percurso metodológico da oficina didática, primeiramente foi apresentado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) aos alunos e posteriormente disponibilizado o questionário inicial para levantamento de conhecimento prévio. Feito o levantamento dos dados referentes ao questionário inicial, as aulas da oficina foram montadas, com questões orientadores para cada tema abordado.

Apêndice C. Planejamento da oficina didática com os respectivos assuntos abordados em cada encontro (2020) com base na AEP (continuação)

Percurso metodológico	Número de aula	Objetos de conhecimento	Recursos necessários	Dinâmicas
Discussão prévia	Aula 1 (2 h)	- Introdução ao contexto de pandemia e as adequações da Universidade; - Introdução às Análises Químicas; - Preparo de soluções.	- Computador com acesso à Internet; - Plataforma <i>Meet</i>[®] ; - Apresentação multimídia (<i>slides</i>);	A aula da oficina foi iniciada com apresentação de slides acerca do contexto pandêmico e como isso afetou a dinâmica acadêmica da graduação em relação às aulas práticas. Diante disso, foi apresentada a problemática no contexto dos alunos de Química: “Como é possível utilizar recursos tecnológicos do cotidiano em análises químicas distantes do laboratório para a resolução de problemas?” com auxílio de perguntas orientadoras para mapear os conhecimentos prévios relacionados à análises químicas, preparo de soluções e o uso de dispositivos móveis na Química.
Organização/ desenvolvimento	Aula 2 (2 h)	- Introdução à espectroscopia; - Lei de Lambert-Beer; - Análises químicas por imagens digitais; - Formação de imagem digital e sistema RGB; - Introdução à Quimiometria (PLS); - Aplicativo REDGIM[®].	- Computador com acesso à Internet; - Plataforma <i>Meet</i>[®] ; - Apresentação multimídia (<i>slides</i> e vídeos utilizando o aplicativo REDGIM[®] - tutorial); - <i>Smartphone</i> com plataforma operacional <i>Android</i>.	Exploração dos conteúdos por aula expositiva dialogada com auxílio de perguntas orientadoras e reflexivas. A introdução teórica foi iniciada com conceito de espectroscopia, técnicas de laboratório incluindo análises por absorção da radiação UV-vis, métodos de análise por imagem digital e obtenção e análise de dados. Em seguida, foi apresentado um vídeo de como são realizadas análises pelo aplicativo utilizando o método de regressão PLS. Ao final da aula, os oito alunos foram divididos em dois grupos para dar execução das etapas seguintes.
	Momento de pesquisa (1 semana)	- Planejamento e execução de prática experimental.	- Materiais e reagentes que os alunos tinham em casa para o desenvolvimento da prática.	Em grupo, os alunos pesquisaram e desenvolveram suas próprias diretrizes metodológicas para responder ao problema proposto elaborando hipóteses e em seguida realizaram práticas experimentais de maneira autônoma e adaptada para o contexto de ensino remoto.

Apêndice C. Planejamento da oficina didática com os respectivos assuntos abordados em cada encontro (2020) com base na AEP (conclusão)

Percurso metodológico	Número de aula	Objetos de conhecimento	Recursos necessários	Dinâmicas
Retorno ao grupo de trabalho	Momento de pesquisa (1 semana)	- Reflexão e discussão de resultados obtidos.	- Materiais e reagentes que os alunos tinham em casa para o desenvolvimento da prática.	Ainda entre os integrantes do próprio grupo, os alunos analisaram e discutiram os resultados obtidos para responder as hipóteses elaboradas na semana anterior. Todo o período intragrupo ocorreu de forma mediada pelo tutor pesquisador que aplicou a oficina.
Socialização	Aula 3 (2 h)	- Divulgação e apresentação de resultados.	- Computador com acesso à Internet; - Plataforma <i>Meet</i> [®] ; - Apresentação multimídia (<i>slides</i>);	Os grupos apresentaram para os demais colegas as pesquisas realizadas e os resultados obtidos por meio de apresentação multimídia e discutiram os possíveis interferentes das análises.
Sistematização	Aula 4 (2 h)	- Expressão de opiniões.	- Computador com acesso à Internet; - Plataforma <i>Meet</i> [®] ; - Apresentação multimídia (<i>slides</i>);	Após todas as discussões, os alunos entregaram o relatório por escrito contendo produção textual relacionada às práticas realizadas. Além disso, esse espaço foi destinado para a sistematização dos conceitos levantados ao longo da oficina, bem como <i>feedbacks</i> do trabalho realizado e entrega de questionário final.

Fonte: Acervo próprio (2020).

Apêndice D. Questionário final aplicado na turma de Química Geral I em 2020.

1. Com suas palavras, disserte o que você entendeu a respeito da técnica de espectrofotometria na região do UV-vis.
2. Qual sua opinião a respeito do aplicativo REDGIM para análises químicas com potencial para ser utilizado em aulas práticas na Universidade?
3. Com o conhecimento adquirido até agora, explique o que você entendeu sobre a importância da Quimiometria.
4. Qual sua opinião a respeito do modo como as aulas foram conduzidas, incluindo o tipo de metodologia empregada e a maneira de como os experimentos foram feitos)?
5. Na sua perspectiva, descreva as suas aprendizagens por meio das Atividades Experimentais Problemáticas (AEP), que foram utilizadas nas aulas, por intermédio de tecnologia portáteis.

Fonte: Acervo próprio (2020).

Apêndice E. Planejamento da oficina didática com os respectivos assuntos abordados em cada encontro (2021) com base na AEP (continua).

Título	Aprendendo Quimiometria de forma interativa por meio do aplicativo REDGIM®
Público-alvo	Turma de Química Geral I (Bacharelado); Turma de Introdução à Ciência do Petróleo (Bacharelado) e Tecnologias Digitais para o Ensino de Química (Licenciatura)
Proposição de um problema	Como é possível utilizar recursos tecnológicos do cotidiano em análises químicas distantes do laboratório para a resolução de problemas específicos?
Descrição do problema	O crescente uso de imagens digitais como técnica alternativa para auxílio na resolução de problemas por meio da Quimiometria na comunidade acadêmica tem gerado uma tendência de aumento nas publicações científicas. Isso ocorre devido à praticidade e rapidez na análise dos resultados, especialmente com a possibilidade de utilizar <i>smartphones</i> como ferramentas nesse processo. Com o advento recente dos recursos multimídias, e da popularização do uso dos aplicativos, as tecnologias móveis (celulares, <i>tablets</i> e afins), proporcionaram um novo protótipo educacional (<i>mobile learning</i>), por meio de dispositivos portáteis para atender as necessidades demandadas diante de situações emergentes. Nesse contexto, a pandemia do SARS-CoV-2, responsável pela COVID-19, contribuiu com o aumento significativo no uso desses dispositivos como uma tentativa de mitigar os impactos causados pelo isolamento social. Devido ao fechamento de diversos espaços físicos, incluindo escolas e universidades, as aulas foram migradas para o formato remoto, utilizando plataformas digitais. Por esse motivo, o uso dos espaços físicos dos laboratórios ficou comprometido, bem como a oferta das aulas práticas referentes às disciplinas experimentais.
Metodologia de ensino	Atividade Experimental Problematicada (AEP).
Objetivo geral	Compreender conceitos relacionados à Quimiometria e aplicabilidade dos métodos quimiométricos.
Objetivo experimental	Desenvolver práticas acessíveis com o uso do aplicativo REDGIM® a partir das análises utilizando PCA e PLS.
Quantidade de aulas	6 aulas de 2 h (12 h totais)
Levantamento prévio	Para organizar o percurso metodológico da oficina didática, primeiramente foi apresentado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) aos alunos e posteriormente disponibilizado o questionário inicial para levantamento de conhecimento prévio. Feito o levantamento dos dados referentes ao questionário inicial, as aulas da oficina foram montadas, com questões orientadores para cada tema abordado.

Apêndice E. Planejamento da oficina didática com os respectivos assuntos abordados em cada encontro (2021) com base na AEP (continuação)

Percurso metodológico	Número de aula	Objetos de conhecimento	Recursos necessários	Dinâmicas
Discussão prévia	Aula 1 (2 h)	- Introdução ao contexto de pandemia e as adequações da Universidade; - Introdução às Análises Químicas; - Preparo de soluções.	- Computador com acesso à Internet; - Plataforma <i>Meet</i>[®] ; - Apresentação multimídia (<i>slides</i>);	A aula da oficina foi iniciada com apresentação de slides acerca do contexto pandêmico e como isso afetou a dinâmica acadêmica da graduação em relação as aulas práticas. Diante disso, foi apresentada a problemática no contexto dos alunos de Química: “Como é possível utilizar recursos tecnológicos do cotidiano em análises químicas distantes do laboratório para a resolução de problemas?” com auxílio de perguntas orientadoras para mapear os conhecimentos prévios relacionados às análises químicas, introdução à espectroscopia e o uso de dispositivos móveis na Química.
Organização/ desenvolvimento	Aula 2 (2 h)	- Introdução à espectroscopia; - Lei de Lambert-Beer; - Análises químicas por imagens digitais; - Formação de imagem digital e sistema RGB; - Introdução à Quimiometria (PCA); - Aplicativo REDGIM[®] (PCA).	- Computador com acesso à Internet; - Plataforma <i>Meet</i>[®] ; - Apresentação multimídia (<i>slides</i> e vídeos utilizando o aplicativo REDGIM[®] - tutorial); - <i>Smartphone</i> com plataforma operacional <i>Android</i>.	Explicação de conteúdos por aula expositiva dialogada com auxílio de perguntas orientadoras e reflexivas. A introdução teórica foi iniciada com conceito de absorção da radiação eletromagnética, técnicas de laboratório incluindo análises por absorção da radiação UV-vis, métodos de análise por imagem digital, introdução à Quimiometria, reconhecimento de padrões, PCA, obtenção e análise de dados. Em seguida, foi apresentado o aplicativo REDGIM [®] e um vídeo de como são realizadas análises pelo aplicativo utilizando o método da PCA. Ao final da aula, os alunos foram divididos em dois grupos para dar execução das etapas seguintes.

Apêndice E. Planejamento da oficina didática com os respectivos assuntos abordados em cada encontro (2021) com base na AEP (continuação).

Percurso metodológico	Número de aula	Objetos de conhecimento	Recursos necessários	Dinâmicas
Organização/ desenvolvimento	Momento de pesquisa (1 semana)	- Planejamento e execução de prática experimental.	- Materiais e reagentes que os alunos tinham em casa para o desenvolvimento da prática.	Em grupo, os alunos pesquisaram e desenvolveram suas próprias diretrizes metodológicas para responder ao problema proposto elaborando hipóteses e em seguida realizaram práticas experimentais de maneira autônoma e adaptada para o contexto de ensino remoto.
Retorno ao grupo de trabalho	Momento de pesquisa (2 semanas)	- Reflexão e discussão de resultados obtidos.	- Materiais e reagentes que os alunos tinham em casa para o desenvolvimento da prática.	Ainda entre os integrantes do próprio grupo, os alunos analisaram e discutiram os resultados obtidos para responder as hipóteses elaboradas nas semanas anteriores. Todo o período intragrupo ocorreu de forma mediada pelo tutor pesquisador que aplicou a oficina.
Socialização	Aula 3 (2 h)	- Divulgação e apresentação de resultados.	Computador com acesso à Internet; - Plataforma Meet®; - Apresentação multimídia (slides);	Os grupos apresentaram para os demais colegas as pesquisas realizadas e os resultados obtidos por meio de apresentação multimídia e discutiram os possíveis interferentes das análises.
Retomada da organização/ Desenvolvimento	Aula 4 (2 h)	- Construção de curva analítica (componentes); - Introdução à Regressão PLS; - Aplicativo REDGIM® (PLS).	- Computador com acesso à Internet; - Plataforma Meet®; - Apresentação multimídia (slides);	Exploração dos conteúdos por aula expositiva dialogada com auxílio de perguntas orientadoras e reflexivas. A introdução teórica foi iniciada com conceitos de curva analítica e seus componentes (branco, padrão e amostras a serem analisadas), e depois para o tratamento dos dados obtidos por meio da Regressão PLS. Em seguida, foi apresentado o aplicativo REDGIM® com um vídeo de como são realizadas análises pelo aplicativo utilizando o método de regressão PLS. Ao final da aula, os alunos foram divididos novamente nos dois grupos para dar execução das etapas seguintes.
	Momento de pesquisa (1 semana)	- Planejamento e execução de prática experimental.	- Materiais e reagentes que os alunos tinham em casa para o desenvolvimento da prática.	Em grupo, os alunos pesquisaram e desenvolveram suas próprias diretrizes metodológicas para responder ao problema proposto elaborando hipóteses e em seguida realizaram práticas experimentais de maneira autônoma e adaptada para o contexto de ensino remoto.

Apêndice E. Planejamento da oficina didática com os respectivos assuntos abordados em cada encontro (2021) com base na AEP (conclusão).

Percurso metodológico	Número de aula	Objetos de conhecimento	Recursos necessários	Dinâmicas
Retomada ao retorno ao grupo de trabalho	Momento de pesquisa (2 semanas)	- Reflexão e discussão de resultados obtidos.	- Materiais e reagentes que os alunos tinham em casa para o desenvolvimento da prática.	Ainda entre os integrantes do próprio grupo, os alunos analisaram e discutiram os resultados obtidos para responder as hipóteses elaboradas nas semanas anteriores. Todo o período intragrupo ocorreu de forma mediada pelo tutor pesquisador que aplicou a oficina.
Retomada à Socialização	Aula 5 (2 h)	- Divulgação e apresentação de resultados.	- Computador com acesso à Internet; - Plataforma <i>Meet</i> [®] ; - Apresentação multimídia (<i>slides</i>);	Os grupos apresentaram para os demais colegas as pesquisas realizadas e os resultados obtidos por meio de apresentação multimídia e discutiram os possíveis interferentes das análises.
Sistematização	Aula 4 (2 h)	- Expressão de opiniões.	- Computador com acesso à Internet; - Plataforma <i>Meet</i> [®] ; - Apresentação multimídia (<i>slides</i>);	Após todas as discussões, os alunos entregaram os relatórios por escrito contendo produção textual relacionada às práticas realizadas. Além disso, esse espaço foi destinado para a sistematização dos conceitos levantados ao longo da oficina e dos experimentos, bem como <i>feedbacks</i> do trabalho realizado e entrega de questionário final.

Fonte: Acervo próprio (2021).

Apêndice F. Questionário inicial aplicado nas turmas de 2021 e 2022.**Questionário Inicial**

- Nome Completo:

- Qual o gênero você se identifica: ☐ Masculino ☐ Feminino

- Idade:

- Você já concluiu algum curso (técnico, tecnólogo ou graduação) relacionado com Química ou áreas afins? Se sim, qual curso?

- Você já concluiu algum curso de graduação independente da área? Se sim, qual?

- Você já participou de alguma pesquisa ou já fez iniciação científica (IC) relacionada com Química ou áreas afins? Se sim, conte um pouco como foi.

1. Onde e como você observa as análises químicas na sociedade e no seu cotidiano?

2. Qual instrumento/equipamento analítico que você conhece para quantificar ou identificar algum tipo de elemento químico?

☐ . Espectrofotometria na região do UV-vísivel; ☐ . Espectrometria de Massas;

☐ . Ressonância Magnética Nuclear – RMN; ☐ . pHmetro;

☐ . Espectroscopia na região do infravermelho; ☐ . Nunca ouvi falar diss;

☐ . Outros: _____

3. A Quimiometria é uma área da Química que faz uso da composição vetorial de matrizes para o tratamento de dados químicos. O que você sabe sobre as aplicações dessa área?

4. Como o método de reconhecimento de padrões, em específico a Análise por Componentes Principais, e o método de regressão por mínimos quadrados parciais podem ser aplicados na Química?

5. O que você entende a respeito do uso de imagens digitais na Química?

6. Como as tecnologias de análises químicas podem ser utilizadas nas aulas da graduação?

Fonte: Acervo próprio (2021).

Apêndice G. Questionário final aplicado nas turmas de 2021 e 2022.**Questionário Final**

1. Com suas palavras, disserte o que você entendeu sobre o método de Análise por Componentes Principais e sobre o método de regressão PLS?
2. Qual sua opinião a respeito do aplicativo REDGIM® para análises químicas como potencial para ser utilizado em aulas práticas na Universidade?
3. Com o conhecimento adquirido até agora, explique o que você entendeu sobre a importância da Quimiometria.
4. Qual sua opinião a respeito do modo como as aulas foram conduzidas, incluindo o tipo da metodologia empregada e a maneira de como os experimentos foram realizados?
5. Na sua perspectiva, descreva as suas aprendizagens por meio da Atividade Experimental Problematizada (AEP), que foram utilizadas nas aulas, por intermédio de tecnologias portáteis.

Fonte: Acervo próprio (2021)

Apêndice H. Planejamento da oficina didática com os respectivos assuntos abordados em cada encontro (2022) com base na AEP (continua)

Título	Aprendendo Quimiometria de forma interativa por meio do aplicativo REDGIM®
Público-alvo	Turma de Pesquisa e Prática Pedagógica em Laboratório no Ensino de Química II
Proposição de um problema	Como é possível utilizar recursos tecnológicos do cotidiano em análises químicas para a resolução de problemas específicos?
Descrição do problema	O uso crescente de imagens digitais como uma técnica alternativa para auxiliar na resolução de problemas através da Quimiometria na comunidade acadêmica tem impulsionado um aumento significativo nas publicações científicas. Isso se deve à praticidade e rapidez na análise dos resultados, especialmente com a possibilidade de utilizar smartphones como ferramentas nesse processo. Com os recentes avanços em recursos multimídia e a popularização dos aplicativos, as tecnologias móveis (celulares, <i>tablets</i> e similares) proporcionaram um novo modelo educacional conhecido como "mobile learning", que permite o uso de dispositivos portáteis para atender às necessidades emergentes. Considerando a importância de formar profissionais capacitados para atuarem nas escolas e prepararem as gerações futuras, torna-se necessário que os professores em formação possuam ferramentas adequadas, especialmente quando se encontram em cenários desfavoráveis para a prática experimental, o que é comum em diversas escolas públicas e privadas do país.
Metodologia de ensino	Atividade Experimental Problematizada (AEP).
Objetivo geral	Compreender conceitos relacionados à Quimiometria e aplicabilidade dos métodos quimiométricos, no contexto de formação de professores.
Objetivo experimental	Aplicação e validação de práticas acessíveis com o uso do aplicativo REDGIM® a partir das análises utilizando PCA e PLS.
Quantidade de aulas	14 aulas (52 h)
Levantamento prévio	Primeiramente foi apresentado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) aos alunos e posteriormente disponibilizado o questionário inicial para levantamento de conhecimento prévio (apêndice E). Considerando que os tópicos teóricos dessa oficina já tinham sido validados anteriormente, dispensou-se o planejamento a partir do questionário inicial, sendo que este foi utilizado apenas para fins de identificação de conhecimento prévio dos alunos. Levando em consideração que se trata de uma oficina que teve duração de dois meses e meio, optou-se por intercalar aulas teóricas e experimentais.

Apêndice H. Planejamento da oficina didática com os respectivos assuntos abordados em cada encontro (2022) com base na AEP (continuação).

Percurso metodológico	Número de aula	Objetos de conhecimento	Recursos necessários	Dinâmicas
Discussão prévia	Aula 1 (4 h)	- Introdução ao contexto de pandemia e as adequações da Universidade; - Introdução às Análises Químicas; - Preparo de soluções.	- Computador com projetor; - Apresentação multimídia (<i>slides</i>);	A aula da oficina foi iniciada com apresentação de slides acerca do contexto pandêmico e como isso afetou a dinâmica acadêmica da graduação em relação as aulas práticas. Diante disso, foi apresentada a problemática no contexto dos alunos de Química: “Como é possível utilizar recursos tecnológicos do cotidiano em análises químicas distantes do laboratório para a resolução de problemas?” com auxílio de perguntas orientadoras para mapear os conhecimentos prévios relacionados às análises químicas, introdução à espectroscopia e o uso de dispositivos móveis na Química.
Organização do conhecimento	Aula 2 (4 h)	- Introdução à espectroscopia; - Análises químicas por imagens digitais; - Formação de imagem digital e sistema RGB; - Introdução à Quimiometria (PCA); - Aplicativo REDGIM® (PCA).	- Computador com projetor; - Apresentação multimídia (<i>slides</i>); - <i>Smartphone</i> com plataforma operacional <i>Android</i>; - Materiais e reagentes utilizados no cotidiano para o desenvolvimento da prática.	Explicação de conteúdos por aula expositiva dialogada com auxílio de perguntas orientadoras e reflexivas. A introdução teórica foi iniciada com conceito de absorção da radiação eletromagnética, métodos de análise por imagem digital, Introdução à Quimiometria, reconhecimento de padrões, PCA, obtenção e análise de dados. Em seguida, foi apresentado o REDGIM® para instrução de como são realizadas análises pelo aplicativo utilizando o método da PCA. Os alunos participaram de uma prática introdutória para aprender a interpretar os dados obtidos pelo aplicativo por meio desse método com a mediação do pesquisador tutor.

Apêndice H. Planejamento da oficina didática com os respectivos assuntos abordados em cada encontro (2022) com base na AEP (continuação)

Percurso metodológico	Número de aula	Objetos de conhecimento	Recursos necessários	Dinâmicas
Organização do conhecimento	Aula 3 (4 h)	- Construção de curva analítica (componentes); - Introdução à Regressão PLS; - Aplicativo REDGIM® (PLS).	- Computador com projetor; - Apresentação multimídia (slides); - Smartphone com plataforma operacional Android; - Materiais e reagentes utilizados no cotidiano para o desenvolvimento da prática.	Explanação de conteúdos por aula expositiva dialogada com auxílio de perguntas orientadoras e reflexivas. A introdução teórica foi iniciada com conceitos de curva analítica e seus componentes (branco, padrão e amostras a serem analisadas), e depois para o tratamento dos dados obtidos por meio da Regressão PLS. Em seguida, foi apresentado o REDGIM® para instrução de como são realizadas análises pelo aplicativo utilizando o método de regressão PLS. Os alunos participaram de uma prática introdutória para aprender a interpretar os dados obtidos pelo aplicativo por meio desse método com a mediação do pesquisador tutor.
Desenvolvimento/ Retorno ao grupo de trabalho	Aulas 4 – 11 (4 h para cada aula)	- Regressão PLS; - Espectrofotometria UV-vis; - PCA; - Interpretação e divulgação dos resultados;	- Computador com projetor; - Apresentação multimídia (slides); - Smartphone com plataforma operacional Android; - Materiais e reagentes disponíveis no cotidiano e laboratório para o desenvolvimento das práticas.	A proposta para cada aula foi desenvolver uma prática experimental relacionada aos métodos de análise PCA ou regressão PLS utilizando o aplicativo REDGIM com temáticas diversas (alternativa ao método de espectrofotometria utilizando sulfato de cobre, reconhecimento de padrões em óleos vegetais comestíveis, diferenciação de notas verdadeiras e falsas, escala de pH com produtos do cotidiano, medida da concentração da resina supressora de pó de minério, determinação da concentração de ferro em suplemento alimentar e quantificação de cloro livre em água de torneira). Durante as aulas, os estudantes receberam roteiros contextualizados e problematizados para a execução das práticas, porém, a cada realização discutiam em grupos e com o pesquisador tutor sobre os resultados encontrados e os possíveis interferentes para os "erros" de análise. Especialmente na aula de espectrofotometria os estudantes visitaram um laboratório parceiro para conhecer o equipamento e receber uma aula instrucional sobre o manuseio do equipamento.
Socialização	Aula 12 (4 h)	- Divulgação e apresentação de resultados.	- Computador com projetor; - Apresentação multimídia (slides).	A aula foi iniciada com uma revisão dos métodos quimiométricos vistos, além de leitura e discussão de artigos relacionados ao ensino de Quimiometria. Após isso, os grupos apresentaram para os demais colegas os resultados obtidos das análises dos artigos por meio de uma roda de conversa expondo suas opiniões acerca da temática.

Apêndice H. Planejamento da oficina didática com os respectivos assuntos abordados em cada encontro (2022) com base na AEP (conclusão)

Percurso metodológico	Número de aula	Objetos de conhecimento	Recursos necessários	Dinâmicas
Sistematização	Aula 13 (4 h)	- Expressão de opiniões.	- Roda de conversa; - Ficha de avaliação dos indicadores de metacognição;	Após todas as discussões, os alunos foram apresentados e situados sobre a ficha de avaliação dos indicadores metacognitivos, onde eles tinham que responder com base nos blocos separados de acordo com a inteligência triárquica (metacognição, analítica, criativa e prática). Além disso, esse espaço foi destinado para a sistematização dos conceitos levantados ao longo da oficina e dos experimentos.
	Aula 14 (1 h)		- Roda de conversa; - Questionário Final.	Momento destinado para <i>feedbacks</i> do trabalho realizado, metodologia utilizada e entrega de questionário final.

Fonte: Acervo próprio (2022).

Apêndice I. Avaliação cognitiva: Indicadores do desenvolvimento cognitivo (continua).

ESCALA DE MENSURAÇÃO (VALORES: 1 A 7)

ESCALA LIKERT	1 Muito Desfavorável	2	3	4 Neutra	5	6	7 Muito Favorável
GRAU DE CONCORDÂNCIA	Discordo Plenamente	Discordo Muito	Discordo	Não Concordo, Nem Discordo	Concordo	Concordo Muito	Concordo Plenamente
IDENTIFICAÇÃO DO(A) PARTICIPANTE – LICENCIATURA EM QUÍMICA UFES (PPP 2)				CODIFICAÇÃO:		DATA: 20/07/2022	
BLOCO 1 – AUTOAVALIAÇÃO METACOGNITIVA							
P1. () Aprendi muito com a aula/sequência didáticacurso/oficina							
P2. () Meu conhecimento a respeito do conteúdo aumentou gradativamente até o final da aula/sequência didáticacurso/oficina							
P3. () A(s) metodologia(s) empregada(s) contribuiu para o meu aprendizado.							
P4. () Consegui obter informações que posso aplicar a minha realidade.							
P5. () Precisei de assuntos que já havia estudado para entender os temas ensinados na(o) aula/sequência didáticacurso.							
BLOCO 2 – CONDIÇÃO ANALÍTICA							
P6. () Identifiquei problemas a serem solucionados.							
P7. () Organizei as informações sobre tarefas a serem executadas.							
P8. () Estimeei o tempo necessário para executar as etapas de cada tarefa.							
P9. () Monitorei a execução das estratégias planejadas.							
P10. () Avaliei as soluções ligadas ao problema investigado.							
P11. () Comparei os resultados encontrados com os resultados previstos.							

Apêndice I. Avaliação cognitiva: Indicadores do desenvolvimento cognitivo (continua).

BLOCO 3 – CONDIÇÃO CRIATIVA	
P12.	() Redefini problemas com outros participantes para interpretar os resultados obtidos.
P13.	() Questionei suposições para estimar os resultados esperados.
P14.	() Apresentei aos colegas ideias criativas para elaborar uma interpretação dos resultados.
P15.	() Gerei ideias para propor um novo caminho para uma atividade em andamento.
P16.	() Considerei possíveis alternativas para explicar diferentes aspectos de um fenômeno.
P17.	() Superei obstáculos surgidos ao revisar determinado procedimento de trabalho.
P18.	() Fui ousado em me posicionar diante de erros identificados em protocolos consolidados.
P19.	() Realizei um procedimento proposto utilizando caminhos alternativos.
P20.	() Fui perseverante para alcançar resultados positivos ao realizar uma tarefa que sempre dava errado.
P21.	() Descobri interesses verdadeiros para realizar o procedimento de trabalho proposto.
P22.	() Desenvolvi com paciência uma atividade demorada.
P23.	() Usei a criatividade para produzir algo relacionado à inovação e à solução de problemas.
BLOCO 4 – CONDIÇÃO PRÁTICA (I)	
P24.	() Senti-me motivado para concluir a tarefa requerida.
P25.	() Controlei meus impulsos para fazer cuidadosamente as atividades propostas.
P26.	() Perseverei na realização das tarefas, mesmo diante de situações adversas.
P27.	() Usei adequadamente minhas habilidades para a tomada de decisão sobre questões surgidas.
P28.	() Fui capaz de transformar as ideias em ações, administrando os recursos disponíveis.
P29.	() Gerenciei adequadamente os erros de processos, resolvendo problemas surgidos.
P30.	() Fui capaz de decidir sobre um caminho a ser seguido, iniciando o processo de trabalho.
P31.	() Fui capaz de completar as tarefas programadas, concluindo-as de modo satisfatório.
P32.	() Tive segurança para sugerir alternativas possíveis para a resolução de tarefas complexas.
P33.	() Decidi fracionar a execução de uma tarefa complexa, cumprindo-a em partes, a fim de evitar o adiamento do seu início.

Apêndice I. Avaliação cognitiva: Indicadores do desenvolvimento cognitivo (conclusão).

BLOCO 5 – CONDIÇÃO PRÁTICA (II)	
P34. ()	Contribui para executar as tarefas junto ao grupo de trabalho, reconhecendo as minhas falhas/limitações.
P35. ()	Tive disposição para refazer tarefas sem deixar que a frustração me impedisse de tentar outra vez.
P36. ()	Gerenciei as distrações/falta de concentração em situações de trabalho.
P37. ()	Organizei previamente os afazeres em um planejamento a ser seguido.
P38. ()	Compreendi o contexto geral de determinada situação, o que possibilitou estabelecer prioridades.
P39. ()	Equilibrei minhas habilidades de analisar, de criar e de aplicar novas ideias na resolução de problemas.
P40. ()	Tive confiança para avaliar se não fui/fomos apressado(s) ao escolher o procedimento adequado frente a um problema.
P41.	Com suas palavras, o que você achou a respeito do conteúdo abordado ao longo das aulas e de como as problematizações e propostas foram feitas?
P42.	Sobre o método de avaliação referente a essa ficha, o que você achou de interessante? Deixe também contribuições para o que possa ser melhorado.
P43.	O que pode ser melhorado perante a mediação do conteúdo com a utilização do REDGIM para o Ensino de Quimiometria na graduação?

Fonte: Acervo do LAPEQ (2022).

Apêndice J - Valores da Escala Likert de concordância posto pelos alunos em cada pergunta da ficha de avaliação metacognitiva

PERGUNTAS																				
ALUNOS	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
A1	7	4	7	7	5	7	6	6	7	7	6	7	7	7	7	7	7	6	6	7
A2	7	6	7	6	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
A3	7	7	7	7	5	7	7	5	5	7	7	7	7	6	6	7	5	7	6	6
A4	7	7	7	7	6	6	6	6	7	6	7	7	6	6	6	6	7	5	6	6
A5	6	6	6	6	3	5	5	4	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	5	5
A6	7	7	6	5	5	7	6	3	6	7	7	7	6	5	5	6	6	4	7	6
A7	7	6	7	7	5	7	6	4	5	6	7	6	6	7	6	7	5	5	7	6
A8	7	7	7	7	2	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	7
A9	3	5	5	4	6	6	7	5	3	4	6	4	5	4	3	4	5	6	1	2
A10	7	7	7	7	6	7	6	4	5	7	7	7	7	7	4	7	7	4	7	7
A11	7	7	7	7	6	5	7	3	6	6	6	4	6	7	7	5	5	3	1	5
A12	6	7	7	7	4	6	5	5	7	7	6	6	6	5	4	5	7	4	4	4
A13	7	7	6	5	7	6	6	4	6	5	7	6	6	5	2	4	7	5	4	6
PERGUNTAS																				
ALUNOS	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39	P40
A1	7	7	7	6	5	6	5	7	7	6	5	6	4	6	7	5	5	6	6	5
A2	6	3	7	6	5	7	7	7	7	7	5	7	7	6	7	4	6	7	6	5
A3	7	6	5	6	7	6	7	7	7	7	6	6	4	7	6	5	4	7	7	6
A4	7	6	6	7	6	7	7	6	6	6	7	5	6	7	6	6	6	6	5	6
A5	6	5	5	6	4	5	6	5	5	5	5	5	5	6	4	5	5	6	5	5
A6	7	4	5	6	7	7	7	6	6	6	4	6	5	6	7	5	5	6	6	5
A7	7	3	4	5	4	4	7	5	5	4	5	5	6	6	4	4	4	6	5	5
A8	7	5	5	6	6	7	6	6	5	7	7	5	7	6	6	7	7	7	7	6
A9	2	2	3	2	6	5	6	6	7	6	5	6	6	6	7	2	4	6	4	3
A10	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	6	7	4	7	7	6	5	6	7	6
A11	3	5	6	6	4	7	6	5	4	4	6	6	6	6	6	5	4	6	4	4
A12	7	7	4	7	5	6	5	5	5	5	6	3	5	6	6	5	6	6	6	6
A13	5	2	5	5	3	5	6	6	4	7	4	7	7	6	2	3	4	5	6	4

Fonte: Acervo próprio (2022).