



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

MARCOS ALVES NICACIO

**EFEITO DE BIOPARTÍCULAS DE SÍLICA OBTIDAS DE CASCA DE ARROZ NO
TRATAMENTO DA MADEIRA DE *Pinus elliottii***

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2017

MARCOS ALVES NICACIO

**EFEITO DE BIOPARTÍCULAS DE SÍLICA OBTIDAS DE CASCA DE ARROZ NO
TRATAMENTO DA MADEIRA DE *Pinus elliottii***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.
Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
Coorientadora: Profa. Dra. Lina Bufalino

JERÔNIMO MONTEIRO

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

N582e Nicacio, Marcos Alves, 1989-
Efeito de biopartículas de sílica obtidas de casca de arroz no
tratamento da madeira de *Pinus elliotti* / Marcos Alves Nicacio. – 2017.
57 f. : il.

Orientador: Juarez Benigno Paes.

Coorientador: Lina Bufalino.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Madeira - Pesquisa. 2. Pinheiro. 3. Fungos da madeira. 4.
Cupins. I. Paes, Juarez Benigno. II. Bufalino, Lina. III. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.
IV. Título.

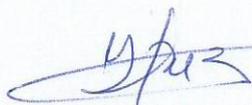
CDU: 630

**EFEITO DE BIOPARTÍCULAS DE SÍLICA OBTIDAS DE CASCA DE ARROZ NO
TRATAMENTO DA MADEIRA DE *Pinus elliottii***

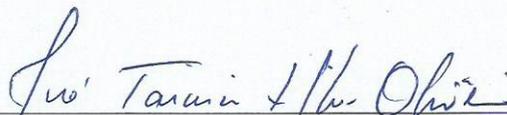
Marcos Alves Nicacio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

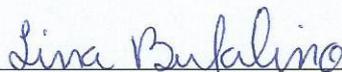
Aprovada em 31 de Julho de 2017.



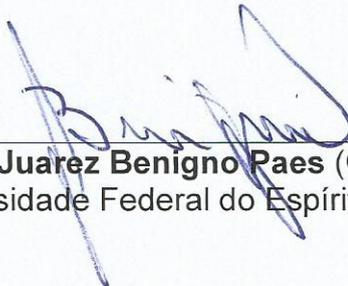
Dr. Yonny Martínez López (Examinador externo)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof.ª Dr.ª Lina Bufalino (Coorientadora)
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr. Juarez Benigno Paes (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

À minha mãe, Ordanira Alves Nicacio, por sempre ter me dado força em todos os momentos, e por ter me ensinado que não devemos aguardar a oportunidade vir até nós, mas que na verdade devemos enfrentar barreiras para alcançá-la.

Ao meu tio, Manoel Maria Alves Nicacio, mais que um tio, um verdadeiro pai, que não impõe barreiras para que possamos seguir em frente, fazendo sempre o possível e até mesmo tentando o impossível para isso.

Dedico...

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre ter me tranquilizado nos momentos tenso e desesperadores, sempre concedendo forças para manter-me firme e por durante todo esse percurso ter posto pessoa especiais no meu caminho.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) e a Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCFL) pela oportunidade concedida de cursar o mestrado. À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo pela bolsa de estudo. Ao Complexo Agroindustrial Pindobas, pelo fornecimento da madeira e ao Sr. Neto Gasoni pela casca de arroz.

Ao Professor Dr. Juarez Benigno Paes (Orientador) e a Professora Dra. Lina Bufalino (Coorientadora) pelo apoio, conhecimento, incentivo e dedicação na realização desse trabalho. Agradeço aos demais Professores por terem contribuído com o compartilhamento de conhecimentos. Aos membros da Banca Examinadora, Dr. Yonny Martinez Lopez e Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira, por terem aceito o convite e pelas contribuições prestadas ao trabalho.

Ao Laboratório de Análise de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - CCAE/UFES, pela disponibilização do moinho de bola. Ao Laboratório de Qualidade do Ar, Departamento de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico - CT/UFES, Prof. Dr. Neyval Costa Reis Junior e ao Doutorando Elson Silva pela realização da técnica de Fluorescência de Raios-X. Ao Laboratório de Nanotecnologia para o Agronegócio – LNNA, Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, na pessoa do Sr. Pedro Claro, pela realização da análise de Microscopia Eletrônica de Varredura.

Agradeço a Harliany e Luandson pelo apoio durante a estadia em Jerônimo Monteiro. Aos meus amigos do Amapá, Fabio e André. Aos amigos que conquistei durante esse tempo, Alice, Anderson, Sandra, Saulo, Leandro, Giselle, Sara, Luciana, Joyce, Sabrina, Dercílio, Ana, Taíse, Yonny, Gaby, Sofia, Marcia, enfim a todos que me ajudaram das mais diversas formas. Em especial aos “pega mal”, pelos momentos de diversão. E a todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização do trabalho.

BIOGRAFIA

Marcos Alves Nicacio, nascido em 02 de outubro de 1989, natural de Almeirim, PA, filho de Ordanira Alves Nicacio.

Em 2006, concluiu o ensino médio no Colégio Estadual Nicias Ribeiro, em Portel, PA.

Em 2008, ingressou na carreira de Policial Militar do Estado do Amapá, onde exerce, até a presente data, suas atividades.

No ano de 2010 ingressou na Universidade do Estado do Amapá no Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal, concluindo no ano de 2014.

No primeiro semestre de 2015, ingressou no Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais na Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, em Jerônimo Monteiro, ES. Submetendo-se a defesa em julho de 2017.

RESUMO

NICACIO, Marcos Alves. **Efeito de biopartículas de sílica obtidas de casca de arroz no tratamento da madeira de *Pinus elliottii***. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Coorientadora: Prof. Dra. Lina Bufalino.

Produtos de origem renovável podem garantir a sustentabilidade ambiental, a saúde humana, e diminuir a utilização de produtos tradicionais que possuem compostos tóxicos na sua formulação. Diante disso a pesquisa teve como objetivo avaliar a resistência biológica da madeira de *Pinus elliottii* contra fungos e cupins xilófagos por meio de impregnação com biopartículas de sílica (SiO_2) obtidas da casca de arroz. Para a obtenção da sílica o material passou por tratamento químico, dois ciclos de lixiviação ácida com ácido clorídrico, e tratamento térmico de 500, 550 ou 600°C. A pureza da sílica obtida foi caracterizada por fluorescência de Raios-X, e o tamanho médio das partículas por microscopia eletrônica de varredura - MEV. O SiO_2 foi aplicado nos corpos de prova nas concentrações de 0,5, 1,0 e 2,0% e as amostras impregnadas submetidas aos ensaios com fungos de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*, *Postia placenta* e *Neolentinus lepideus*), podridão mole e a cupins xilófagos (*Nasutitermes corniger* e *Cryptotermes brevis*). Os tratamentos térmicos promoveram a obtenção de biopartículas de elevada pureza, com valor médio de aproximadamente 90% e diâmetro médio de 263,7 nm. No ensaio de térmitas, as menores perdas de massa e desgaste foram para as amostras impregnadas. A mortalidade dos cupins aumentou com o incremento da concentração das soluções. O SiO_2 não apresentou eficiência contra os fungos xilófagos, sem diferença entre os tratamentos e as testemunhas, indicando que resistência observada foi inerente da própria madeira.

Palavras-chave: Durabilidade da madeira, tratamento alternativo, biossíllica.

ABSTRACT

NICACIO, Marcos Alves. **Bio particles effect of silica from rice husk in the *Pinus elliottii* wood treatment.** 2017. Dissertation (Master's degree in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Co-advisor: Prof. Dra Lina Bufalino.

Renewable products can ensure environmental sustainability, human health, and reduce the use of traditional products that have toxic compounds in their formulation. This research aimed to evaluate the biological resistance of the *Pinus elliottii* wood against fungi and termites xylophagous through impregnation with bio particles of silica (SiO_2) obtained from rice husk. In order to obtain the silica, the material has undergone chemical treatment, two cycles of acid leaching in hydrochloric acid, and heat treatment of 500, 550 or 600 °C. The purity of the silica obtained was characterized by X-Ray fluorescence and the average size of particles by scanning electron microscopy - SEM. The SiO_2 has been applied in wood at concentrations of 0.5, 1.0 and 2.0% and the impregnated test samples were submitted to essay with brown rot fungi (*Gloeophyllum trabeum*, *Neolentinus lepideus* and *Postia placenta*), soft rot fungi and xylophagous termites (*Nasutitermes corniger* and *Cryptotermes brevis*). The heat treatments promoted the attainment of high purity bio particles, with average value of approximately 90% and an average diameter of 263.7 nm. For termite assays, the smallest mass losses and waste have been obtained for the impregnated samples. The termite's mortality has increased with the increase of the concentration of the solutions. The SiO_2 did not present efficiency against xylophagous fungi, with no difference between the treatments and the control, indicating that resistance observed was inherent to the wood.

Keywords: Wood durability, alternative product, bio silica.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 DETERIORAÇÃO DA MADEIRA.....	14
2.1.1 Deterioração causada por térmitas (cupins).....	14
2.1.2 Deterioração causada por fungos	15
2.3 GÊNERO <i>Pinus</i>	16
2.4 CARACTERÍSTICAS DO DIÓXIDO DE SILÍCIO (SiO ₂)	18
3 METODOLOGIA	21
3.1 EXTRAÇÃO DA SÍLICA PROVENIENTE DA CASCA DE ARROZ	21
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BLOSSÍLICA OBTIDA.....	23
3.3 PREPARO E TRATAMENTO DA MADEIRA DE <i>Pinus elliottii</i>	23
3.4 AVALIAÇÃO DA PENETRAÇÃO DA BLOSSÍLICA NA MADEIRA	25
3.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TÉRMITAS XILÓFAGAS	26
3.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FUNGOS XILÓFAGOS	28
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DA BLOSSÍLICA.....	32
4.2 RETENÇÃO DA SÍLICA NA MADEIRA TRATADA	36
4.3 ENSAIOS COM TÉRMITAS E FUNGOS XILÓFAGOS.....	40
5 CONCLUSÕES	47
6 REFERÊNCIAS	48
APÊNDICES	55

1 INTRODUÇÃO

A madeira pode ser utilizada com matéria-prima para uma vasta qualidade de produtos e substâncias que são empregados em vários setores industriais. No entanto, por causa da sua composição química e estrutura anatômica, pode ser atacada por agentes deterioradores, como por exemplo, fungos, térmitas e brocas marinhas, que a utilizam como fonte de energia (PAES; MELO; LIMA, 2007).

Desta foram, os processos que envolvem a deterioração da madeira devem ser investigados visando o correto aproveitamento, contenção de gastos e de desperdícios que ocorreriam com reposições prematuras de material deteriorado (TREVISAN, 2006; PAES et al, 2013).

Os agentes deterioradores da madeira que causam maior dano são os fungos e as térmitas (cupins). A maioria das manchas e bolores e o consumo da madeira são causados por fungos, cujo crescimento e desenvolvimento dependem da temperatura (25 a 30°C), umidade ($\approx 20\%$), oxigênio (O) e pH (4,5 a 5,5) adequados (CLAUSEN, 2010). Já os cupins de madeira seca conseguem se desenvolver em material lignocelulósico com umidade de 10 a 12%, enquanto os de hábito subterrâneos são dependentes de umidade mais alta, que retiram do solo ou de outro substrato.

A capacidade de resistir à deterioração é determinada de acordo com o tempo que a madeira suporta o ataque de tipos específicos de agentes deterioradores, ou do quanto de biomassa é consumido durante um período de tempo de exposição aos mesmos, conforme determina a *American Society for Testing and Materials* - ASTM D-2017 (2008).

Existem espécies madeireiras que possuem resistência ao ataque de agentes deterioradores (organismos xilófagos) por apresentarem características peculiares, como a presença de extrativos de caráter fenólico e componentes minerais da madeira (cinzas) que acarretam inibição e, ou, diminuição do ataque dos agentes biológicos.

Os minerais fazem parte da constituição química da madeira e dependem das condições ambientais sob as quais a árvore cresce e de sua localização na planta. A sílica sob a forma de dióxido de silício (SiO_2), ocorre

no interior das células, nos raios e no parênquima axial. A dureza dos silicatos lhes confere propriedades que reduz o ataque de fungos e, principalmente de insetos e brocas marinhas (SOUZA et al., 2009).

Madeiras que têm alto teor de silicato (>2%) em sua estrutura são consideradas resistentes ao ataque de cupins e brocas marinhas (PANSHIN; DE ZEEW, 1980). Foi constatado que madeiras com aproximadamente 0,5% de sílica causam rápido desgaste em serras, durante o processamento primário e secundário, provavelmente provocado pela ação abrasiva de composto (FARMER, 1968), o mesmo efeito é causado às mandíbulas dos agentes xilófagos mencionados.

No entanto, há espécies que possuem baixo teor de extrativos fenólicos e cinzas, que são susceptíveis ao ataque de agente xilófago, sendo necessária a aplicação de substâncias químicas para aumentar sua vida útil. Dessa forma, são madeiras de baixa durabilidade, cuja vida útil mais curta resulta na necessidade de reposições e maior exploração dos recursos florestais (PAES et al., 2013).

Para prevenir o ataque dos organismos xilófagos, são aplicados métodos de tratamento da madeira com uso de substâncias preservativas, a fim de prolongar a sua vida útil. No entanto, a maioria dos produtos desenvolvidos para esta finalidade inclui na sua formulação substâncias químicas, como arsênio, cromo, cobre e boro, que tornam o processo oneroso, além de serem danosos ao homem e ao ambiente, exigindo cuidados na manipulação, dosagem, vazamentos e descarte ou reutilização do material tratado após o término de sua utilização (SILVA, 2006; EUFLOSINO, 2015).

Na indústria de tratamento de madeira, geralmente buscam redução de custos com o processo, como a utilização de menos produto e resultado satisfatório, deixando na maioria das vezes de lado a busca por métodos e, ou, produtos que acarretem na diminuição dos riscos à saúde e à vida do homem (MORESCHI, 2006).

De forma geral, o desenvolvimento de pesquisas sobre substâncias preservativas para madeira está sempre em expansão, sendo necessário o seu direcionamento para a análise de produtos com menor potencial de danos ambientais e à saúde de outros organismos (BRAND; ANZALDO; MORESCHI, 2006). Assim, tratamentos que envolvam métodos alternativos para a proteção

da madeira são importantes para viabilizar custos, além de reduzir impactos ao ambiente.

Produtos naturais e de origem renovável podem garantir a sustentabilidade do meio ambiente, a saúde humana, e diminuir a utilização de produtos tradicionais que possuem compostos tóxicos na sua formulação (BROCCO et al., 2017; TEIXEIRA et al., 2015). Um método alternativo poderia ser a aplicação de sílica extraída de vegetais, como as obtidas de casca do arroz. Esta é uma cultura de expressividade no Brasil, principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins (SILVA; WANDER, 2014), havendo potencial para obtenção de sílica a partir dessa matéria prima.

Nesse contexto, há a necessidade de investigar a eficácia de métodos alternativos, que torne mais evidente a potencialidade de novos produtos. Assim, a presente pesquisa tem como hipótese que o uso de biossílica, extraída da casca de arroz, pode ser eficaz no tratamento da madeira de *Pinus elliottii* contra organismos xilófagos. Essa espécie de pinus, juntamente com o *P. taeda* é uma das mais plantadas no Brasil.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a resistência biológica da madeira de *Pinus elliottii* contra fungos e cupins por meio de impregnação com biopartículas de sílica obtidas da casca de arroz.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar a melhor temperatura de calcinação (500, 550 e 600°C) para obtenção de biopartículas de sílica obtidas da casca de arroz;
- Verificar o grau de pureza da sílica obtida por meio das temperaturas utilizadas e determinar o tamanho médio das partículas obtidas;

- Avaliar a quantidade de material retida nos diferentes corpos de prova tratados com as soluções aquosas contendo 0,5; 1,0; e 2,0% de biopartículas de sílica.
- Comparar a eficiência das concentrações das soluções de sílica na impregnação da madeira de *Pinus elliottii*;
- Verificar se a temperatura de obtenção da sílica e a concentração da solução de tratamento influenciam na resistência da madeira contra cupins e fungos xilófagos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DETERIORAÇÃO DA MADEIRA

Nenhuma espécie de madeira, nem mesmo aquelas de reconhecida durabilidade natural, é capaz de resistir, às intempéries, variações das condições ambientais, ataque de organismos xilófagos e ação do próprio homem por um longo período de tempo (OLIVEIRA; TOMAZELLO FILHO; SILVA, 2005).

Por ser material de natureza orgânica e no estado em que é normalmente utilizada, a madeira é a parte morta de um vegetal. Este material está sujeito à próxima etapa da sequência natural de qualquer ser vivo que é a decomposição. Os agentes físicos, químicos e biológicos atuam em conjunto ou separadamente na mesma para acelerar seu processo de deterioração (SILVA, 2002).

Mesmo havendo inúmeras vantagens e opções de utilização da madeira, ela apresenta algumas desvantagens, sendo a principal delas a deterioração, por causa de sua composição orgânica. Esse processo pode ocorrer em decorrência da preferência de certos organismos pelos componentes do lenho da mesma. A durabilidade natural envolve grande número de propriedades distintas desse material, que implicam na sua resistência aos ataques biológicos, físicos e químicos (SILVA, 2006).

O maior prejuízo à madeira é causado por agentes biológicos, essa degradação é realizada por fungos, insetos, moluscos, crustáceos e bactérias, sendo os dois primeiros os principais responsáveis por ocasionarem consideráveis danos e perdas de material (CLAUSEN, 2010).

2.1.1 Deterioração causada por térmitas (cupins)

Térmitas ou cupins são insetos da ordem Isoptera, conhecidos por causarem danos em áreas urbanas e rurais. Exercem papel essencial nos

processos de decomposição, de ciclagem de nutrientes e aeração do solo (FIGUEIRÓ, 2013).

No mundo já foram descritas aproximadamente 2.800 espécies. No Brasil as principais famílias encontradas são Kalotermitidae, Termopsidae, Rhinotermitidae, Termitidae e Serritermitidae, entre as quais apenas a Kalotermitidae, Rhinotermitidae e Termitidae consomem madeira e seus derivados (GALLO et al., 2002).

Os isópteras, ao contrário dos coleópteros xilófagos, são insetos sociais, ou seja, de vários tipos morfológicos ou castas com divisão de trabalho e funções biológicas diferentes (LELIS et al., 2001; GALLO et al., 2002), assim como as formigas, abelhas e vespas.

O principal dano ocasionado pelos cupins deve-se a sua capacidade de digerir celulose, em decorrência da existência em sua flora intestinal de protozoários, bactérias ou fungos que exercem essa função. A proliferação dos mesmos pode ser facilitada pelo transporte de madeira de uma região para outra (cupins de madeira seca), por galerias construídas pelos mesmos (cupins de solo ou subterrâneos), revoada e pela disponibilidade de material lignocelulósico encontrado nas cidades (CORREIA; MENEZES; AQUINO, 2008).

As principais diferenças entre os cupins de madeira seca e os de solo ou subterrâneos estão associadas ao local em que os mesmos instalam suas colônias. Os cupins de solo as constroem no subsolo, árvores (arborícolas), forros e porões de construções, os quais se deslocam através de galerias até a fonte do alimento. Já os cupins de madeira seca se alojam na própria peça que usará como alimento, e após o consumo da mesma procuram outra fonte de alimento, por meio da revoada (SILVA et al. 2004). Aqueles insetos que não atingem a idade adulta e criarem asas morrem com o esgotamento da fonte de alimento.

2.1.2 Deterioração causada por fungos

Os fungos são organismos que ocasionam a destruição da maior parte de produtos de madeira, como, postes, moirões de cercas, dormentes e estruturas diversas, o que ocasionam inúmeros prejuízos econômicos (PAES;

MORESCH; LELLES, 2005). Além disso, são agentes que atacam a madeira em maiores proporções, pois sua ocorrência é descrita quase que em todos os nichos ecológicos onde é utilizada a madeira (MORESCHI, 2011). Podem ser divididos entre aqueles que degradam a parede celular e, os que utilizam substâncias de reserva como alimento, como o amido e açúcares simples (BARILLARI, 2002).

Os principais fungos são classificados como emboloradores, manchadores e apodrecedores. Os dois primeiros são conhecidos por ocasionarem alterações apenas na superfície da madeira, não modificando significativamente as propriedades mecânicas do material em ataque. Por outro lado, os causadores de apodrecimento (podridões branca, parda e mole) ocasionam alterações tanto nas propriedades físicas, como também nas mecânicas, pois possuem a capacidade de deteriorar moléculas que constituem a parede das células (CLAUSEN, 2010).

Os fungos de podridão parda e de podridão branca pertencem à Classe Basidiomycetes, sendo considerados mais evoluídos e degradam a celulose e as hemiceluloses em diferentes proporções, dependendo da espécie (PAES; MORAES; LIMA, 2005).

Gloeophyllum, *Poria* (\approx *Postia*), *Lentinus* (\approx *Neolentinus*), *Coniophora* (podridão parda), *Trametes*, *Phanerochaete* e *Polyporus* (podridão branca) são os gêneros mais comuns. Os ataques variam amplamente quanto à espécie de madeira, condições propícias para seu desenvolvimento (umidade, temperatura, oxigênio e pH), estrutura e propriedades químicas da madeira e diferentes posições nas peças (BOUSLIMI et al. 2014).

2.3 GÊNERO *Pinus*

A escassez de madeira de *Araucaria angustifolia* e de outras espécies nativas, que pudesse substituí-la em seus usos, fez com que na década de 1970, madeiras de *Pinus* sp. viessem a ser uma alternativa de utilização no Brasil (MISSIO et al., 2015). As vantagens do gênero incluem a boa adaptabilidade em solos ligeiramente ácidos e a fácil implantação e rusticidade

no campo, permitindo seu plantio em extensas áreas (ANDRADE, 2006; COELHO, 2010).

A madeira de pinus pode ser utilizada para a fabricação de caixas, na construção naval, celulose e papel, madeira serrada, madeira reconstituída, escoras, moirões e postes (ANDRADE, 2006; COELHO, 2010; MISSIO et al., 2015), além da produção de resinas (breu e terebintina).

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2015), 7,74 milhões de hectare (0,9%) do solo do brasileiro é utilizado em floresta plantadas, destinadas para atividades de fins lucrativos, sendo eucalipto (71%) e pinus (20%) os gêneros mais utilizados pela sua capacidade de rápido crescimento. Os plantios de pinus concentram-se principalmente no Paraná e em Santa Catarina com 42,4% e 34,1% do total plantado no Brasil, respectivamente.

O *Pinus elliottii* é uma espécie florestal heliófila de crescimento rápido, de alta competitividade em relação às gramíneas e arbustos lenhosos, uma vez que, seu sistema radicular é capaz de penetrar mais que 5 metros no solo e, chegam a atingir alturas que variam de 20 a 40 metros e um diâmetro a altura do peito (DAP) de 60 a 90 cm (LAMPRECHT, 1990).

Os reflorestamentos com espécies do gênero *Pinus* também contribuem para conservação do solo, por serem culturas de longo prazo com baixo impacto ambiental (VASQUES et al., 2007). Podem também ser utilizadas em consórcio com gado, sem que haja influência sobre a produção e qualidade da floresta, sendo esta associação econômica e tecnicamente viável (BAGGIO; SCHREINER, 1988).

O valor econômico para esse gênero não se restringe apenas à madeira. A resinagem de pinus caracteriza-se como uma das mais importantes explorações econômicas desses plantios. De acordo com a Associação dos Resinadores do Brasil - ARESB, a resina é extraída por meio da abertura de estrias em sua base, onde são aplicados estimulantes que retardam a cicatrização da abertura, o que permite a extração por um maior período de tempo (ARES, 2013; MISSIO et al. 2015).

2.4 CARACTERÍSTICAS DO DIÓXIDO DE SILÍCIO (SiO₂)

Segundo o *Silicosis and Silicate Disease Committee* (1988), citado por Terra Filho e Santos (2006), o silício (Si) é de grande interesse, pois, ao lado do oxigênio (O), são os elementos mais abundantes na crosta terrestre. A associação destes elementos forma o dióxido de silício (SiO₂), comumente chamado de sílica. De acordo com Chaves (2008), esse composto químico pode ser de origem mineral, biogênica (vegetal ou animal) e sintética. A biogênica ou biossílica é toda aquela que é produzida em organismos vivos. As gramíneas como arroz, bambu, trigo, cevada e centeio armazenam grandes quantidades desse material, principalmente nos seus tecidos aéreos (SAPEI, et al., 2007).

A abundância do SiO₂ e os mais variados tamanhos de particulados formados, como as nanopartículas (dimensão ≤ 100 nm), que têm recebido atenção em diversos segmentos industriais, sendo produzidas em escala industrial para diversos fins, podendo ser utilizadas para produção de pigmentos cerâmicos, vidros, refratários, tubos cerâmicos, isolantes térmicos, abrasivos, cimentos, argamassas, materiais avançados (SiC, Si₃N₄, Mg₂Si), zeólitos, e ainda como substitutos da sílica ativa ou microssílica na formulação de concretos de alto desempenho (CARNEIRO et al., 2015).

Na literatura há relatos da produção de partículas de sílica a partir de vegetais capazes de acumular grandes quantidades de silício (Tabela 1). Há referências principalmente com a utilização da casca de arroz e de outros resíduos agrícolas, como casca de café, bambu e bagaço de cana de açúcar (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001).

Durante a produção das partículas de sílica, deve se atentar para algumas particularidades de processamento. O SiO₂ é um composto inorgânico, amorfo, inerte e altamente poroso, apresenta suas propriedades fortemente relacionadas às suas condições de preparo. Entre os quais se pode destacar temperatura, pH, presença de eletrólitos e tamanho de partículas (EL SHAFEI, 2000).

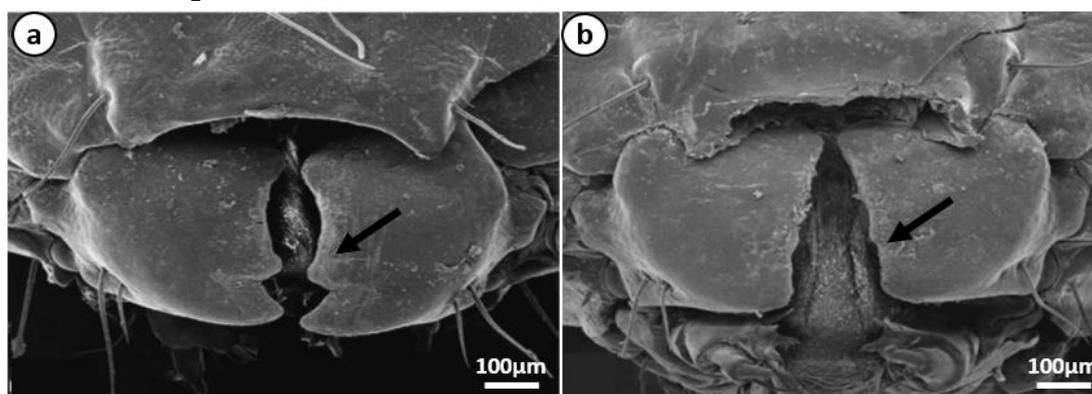
Tabela 1 - Grau de pureza da sílica contido em alguns vegetais

Vegetal	Grau de pureza (%)	Referências
Cavalinha (<i>Equisetum arvenses</i>)	93,50	Carneiro et al. (2015)
Cana de Açúcar	60,96	Cordeiro et al. (2009)
	69,60	Barroso (2011)
	81,60	Heleno et al. (2015)
	83,70	Paula et al. (2008)
Capim elefantes	56,40	Sales (2012)
	95,20	Nakanishi (2013)
Casca de Arroz	72,10	Della et al. (2006)
	98,80	Chaves (2008)
	91,89	Alfaro (2010)
	92,16	Pineda-Vásquez et al. (2014)

Fonte: o Autor.

A presença do SiO_2 nos mais diversos vegetais acarreta certas características, como resistências a pragas que poderiam causar ataques mais severos, caso esse vegetais não possuíssem alto teor de desse composto. Fato esse observado no trabalho de Kvedaras et al. (2009) que evidenciou o desgaste mecânico no aparelho bucal da broca-da-cana (*Eldana saccharina*) (Figura 1), causado pelo composto na cana-de-açúcar.

Figura 1 - Imagens das mandíbulas de *Eldana saccharina* que demonstram (a) início do ataque e (b) grau de dano após desgaste mecânico causado pelo SiO_2 . Setas indicam as mandíbulas



Fonte: Kvedaras et al. (2009).

O acúmulo de sílica nas plantas superiores tem como finalidade o aumento da resistência mecânica e contra fungos fitopatogênicos (FAUTEUX et al., 2005). Na madeira ela pode influenciar na resistência ao ataque de organismos xilófagos, pois podem causar danos às mandíbulas dos insetos, dificultando seu acesso à fonte de alimento (GONÇALVES et al., 2013; PAES et al., 2013), fato constatado por Kvedaras et al. (2009) para a broca-da-cana.

A biossílica oriunda de fontes vegetais tem potencial sustentável, com baixo custo e a possibilidade para a produção de novos materiais. Na literatura, encontram-se diferentes processos, com base em princípios químicos e térmicos, para a produção dessa substância (SOUZA; MAGALHÃES; PERSEGIL, 2002; DELLA et al., 2006; ESPÍNDOLA-GONZALEZ et al., 2010), com pode ser verificado na Tabela1.

3 METODOLOGIA

3.1 EXTRAÇÃO DA SÍLICA PROVENIENTE DA CASCA DE ARROZ

A casca de arroz foi fornecida por uma indústria beneficiadora de pequeno porte, localizada em Jerônimo Monteiro, região Sul do Espírito Santo, proveniente de plantios realizados por agricultores familiares.

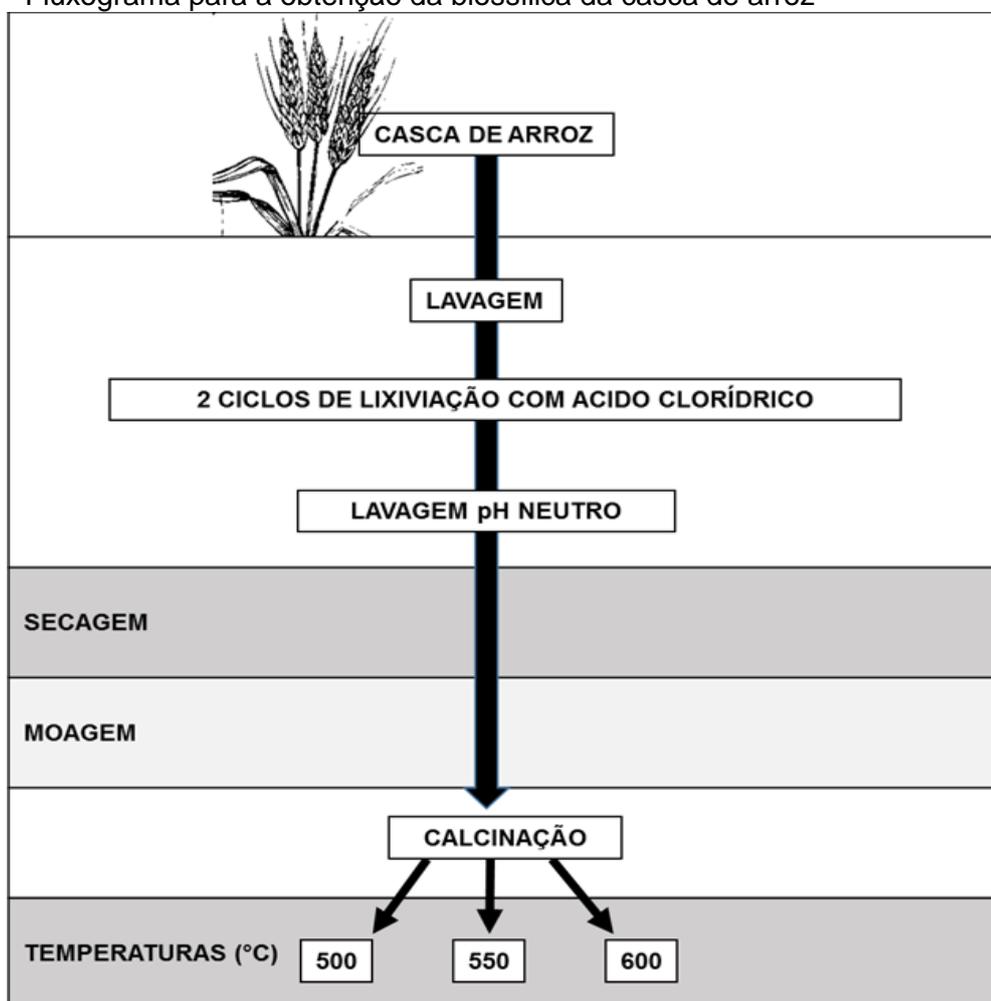
A fim de se obter as biopartículas de sílica (SiO_2) de elevada pureza a partir da matéria-prima utilizada, foram realizados tratamentos químicos e térmicos. Para tanto, o material foi submetido a um processo de lavagem com água destilada para remoção de sujeiras superficiais (poeira, resíduos de processamento e terra) e outros contaminantes possivelmente presentes.

Com o intuito de remover impurezas metálicas presentes no material, responsáveis pela diminuição da pureza da sílica, foram realizados dois ciclos de lixiviação ácida (tratamento químico), conforme metodologia descrita por Carneiro et al. (2015). Foram utilizados 300 g da casca de arroz lavada para cada 2000 mL de solução aquosa de 2% de ácido clorídrico (HCl). O material foi disposto em um recipiente de aço inox, com capacidade de aproximadamente 30 litros (diâmetro de 30,50 cm e altura de 40 cm), onde permaneceu por 2 horas em ebulição em autoclave vertical, com pressão de $1,2 \text{ kgf cm}^{-2}$ e temperatura de 121°C . O material obtido foi lavado com água destilada, até atingir o pH desejado (5 a 7) e seco em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, por 48 horas.

Depois de seco, o mesmo foi triturado em moinho de bola por 4 horas (tempo empregado para o tratamento de todas as amostras). O equipamento utilizado foi o Gira Moinho Horizontal, equipado com jarro de aço inoxidável com 72 bolas de porcelana com diâmetro de 4,0 cm e movido por um motor com rotação aproximada de 82 rpm. A carga empregada para a moagem foi determinada de acordo com as recomendações de Bristot (1996), em que o volume do recipiente foi ocupado com cerca de 20% de casca de arroz e 50% com o meio de moagem (bolas de cerâmica), tendo o vegetal coberto ligeiramente as mesmas.

Após os processos de lixiviação e trituração, o material foi submetido a calcinação em um forno mufla, ao empregar três condições de tratamento térmico, 500, 550 e 600°C. As temperaturas de calcinação foram definidas com base no trabalho de Sapei et al. (2007) e de Carneiro et al. (2015), que obtiveram melhores propriedades para as sílicas produzidas nessa faixa de temperatura. Para calcinação, os materiais foram acondicionados em cadinhos de porcelana de 25 mL, e mantidos nas temperaturas citadas, até a obtenção de cinzas. A metodologia utilizada para produção das biossílicas está esquematizada na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma para a obtenção da biossílica da casca de arroz



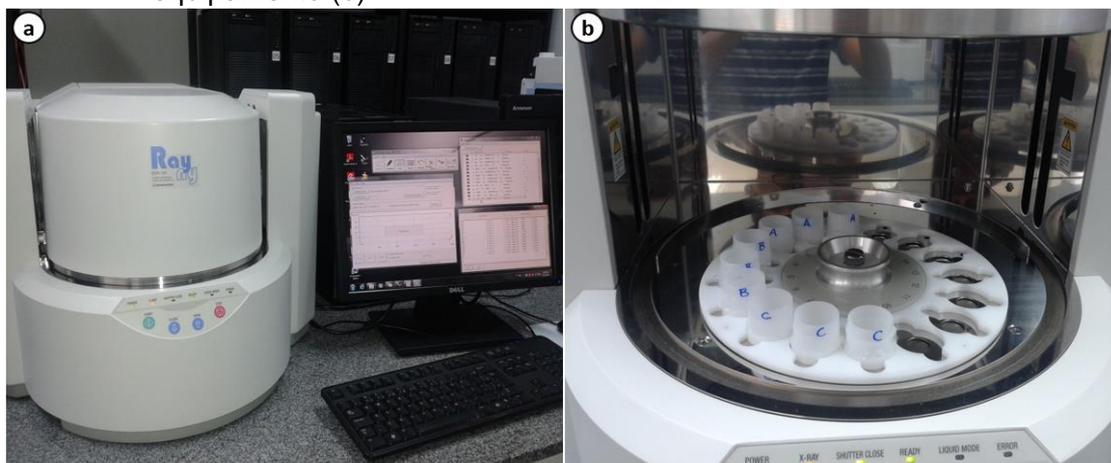
Fonte: O autor.

O rendimento do processo de calcinação realizado nas temperaturas de 500, 550 e 600 °C foi obtido pela diferença em a massa total de casca de arroz e a de cinzas.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BLOSSÍLICA

A caracterização da biossíllica foi realizada no Laboratório de Qualidade do Ar, Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Espírito Santo (CT/UFES), por meio da técnica de fluorescência de raios-X (FRX) (Figura 3), conforme metodologia descrita por Carneiro et al. (2015), que consiste na determinação dos elementos contidos nas amostras. Assim a pureza da sílica (SiO_2) contida nas cinzas obtidas com temperaturas de calcinação de 500, 550 e 600°C foi obtida.

Figura 3 - Espectrômetro de fluorescência de raios-X (a) e amostras inseridas no equipamento (b)



Fonte: O autor.

Para a verificação da disposição das partículas no interior da madeira foi utilizado a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), realizado no Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio – LNNA, EMBRAPA Instrumentação em São Carlos, SP. Para determinar o tamanho médio das partículas existentes no material, utilizou-se o Software AxioVision Rel. 4.8, por meio das imagens obtidas no MEV.

3.3 PREPARO E TRATAMENTO DA MADEIRA DE *Pinus elliottii*

A madeira de *Pinus elliottii* foi obtida de plantio com idade de 21 anos e transformada em vigas de 10 x 10 x 300 cm (largura x espessura x

comprimento). A coleta do material foi realizada na serraria do Complexo Agroindustrial Pindobas Ltda., localizada no distrito de Pindobas, situada a 8 km da sede do município de Venda Nova do Imigrante, região serrana do sul do estado do Espírito Santo, com coordenadas geográficas de 20,38° de latitude, 41,19° de longitude e 727 m de altitude.

As vigas foram transformadas em amostras, em dimensões adequadas para cada ensaio, e aquelas com defeitos (nós, bolsas de resina e rachaduras) foram descartadas. As selecionadas para o trabalho foram lixadas e identificadas convenientemente em função do tratamento a ser empregado, do ensaio biológico e das condições de cada um deles.

Para o tratamento das amostras, foram preparadas soluções aquosas de biossílica nas concentrações de 0,5; 1,0 e 2,0% com adição de 0,5% de hexametáfosfato de sódio (NaPO_3)_n, para evitar decantação imediata do material. As amostras de madeira foram imersas em Kitasatos de 1000 mL, na presença da solução aquosa e aplicou-se vácuo de 760 mmHg, durante 5 minutos, tendo permanecido em repouso durante 8 horas para proporcionar a impregnação das mesmas (Figura 4).

Figura 4 - Impregnação da madeira com solução aquosa de biossílica por imersão e aplicação de vácuo



Fonte: O autor.

Previamente aos tratamentos, as amostras foram secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até massa constante e a massa inicial foi obtida. Após a impregnação, as mesmas foram secas, sob as mesmas condições e as retenções de biossíllicas (kg m^{-3}) foram avaliadas por meio da diferença de massa.

Para cada ensaio foram preparados nove tratamentos correspondentes às diferentes temperaturas de obtenção da biossíllica e concentrações das soluções, mais a testemunha (Tabela 2).

Tabela 2 - Delineamento experimental correspondente às diferentes condições que a madeira de *Pinus elliotti* foi submetida

Tratamentos	Temperatura de Obtenção da Sílica ($^\circ\text{C}$)	Concentração da solução (%)
T _{500/0,5%}	500	0,5
T _{500/1%}	500	1,0
T _{500/2%}	500	2,0
T _{550/0,5%}	550	0,5
T _{550/1%}	550	1,0
T _{550/2%}	550	2,0
T _{600/0,5%}	600	0,5
T _{600/1%}	600	1,0
T _{600/2%}	600	2,0
T ₀	Testemunha - Madeira sem tratamento	

Fonte: o autor

3.4 AVALIAÇÃO DA PENETRAÇÃO DA BIOSSÍLICA NA MADEIRA

Para avaliar a penetração da biossíllica na madeira tratada foi utilizada microscopia eletrônica de varredura (MEV), que não exige tratamentos especiais na superfície da amostra.

As imagens foram obtidas por meio de microscópio eletrônico de varredura por emissão de campo (MEV-FEG). Assim foi possível observar as biopartículas de sílica no interior da madeira de *Pinus elliottii*.

3.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TÉRMITAS XILÓFAGAS

Para avaliar a eficiência do tratamento da madeira de *P. elliotii* foram realizados ensaios de alimentação forçada à térmita subterrânea *Nasutitermes corniger* Motsch. e de resistência à de madeira seca *Cryptotermes brevis* Walker.

O ensaio de alimentação forçada a térmita subterrânea foi realizado conforme a ASTM D - 3345 (2008), com adequações sugeridas por Paes et al. (2013; 2016). Para tanto, foi coletada uma colônia nas proximidades do município de Jerônimo Monteiro, ES.

Na montagem do experimento foram utilizados frascos de 600 mL, preenchidos com 200 g de areia cuja umidade foi corrigida de acordo com a sua capacidade de retenção de água. Foram acondicionados em cada frasco, um corpo de prova, com dimensões de 2,54 x 2,54 x 0,64 cm (longitudinal x radial x tangencial) e $1 \pm 0,05$ g de térmitas *N. corniger* (Figura 5), o que correspondeu a ± 340 indivíduos, sendo de 80% de operários e 20% de soldados (proporção existente na colônia). Foram empregadas seis repetições para cada tratamento conforme consta da Tabela 2.

Figura 5 - Ensaio de alimentação forçada, (a) frasco com corpo de prova e (b) corpo de prova submetido ao ataque dos térmitas subterrâneos



Fonte: O autor.

O ensaio permaneceu em sala climatizada (27 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa), durante quatro semanas. A avaliação da eficiência da biossíllica impregnada na madeira foi realizada em função do desgaste (nota) causado nas amostras e da mortalidade das térmitas (%), conforme designado pela ASTM D - 3345 (2008) (Tabela 3) e da perda de massa (%) corrigida pela perda operacional (ASTM D - 2017, 2008).

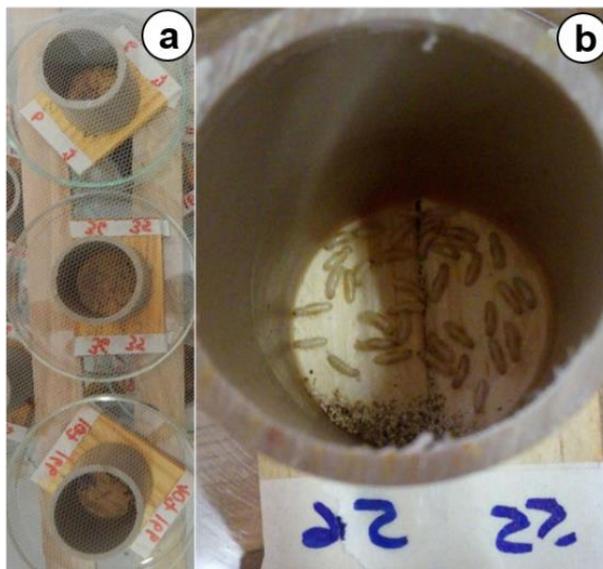
Tabela 3 - Avaliação do desgaste da madeira e da mortalidade das térmitas

Tipos de Desgaste	Nota
Sadio, permitindo escarificações superficiais	10
Ataque superficial, sem penetração	9
Ataque moderado, com penetração	7
Ataque intenso	4
Falha, havendo ruptura dos corpos de prova	0
Mortalidade	(%)
Baixa	0 – 33
Moderada	34 – 66
Alta	67 – 99
Total	100

Fonte: Adaptado de ASTM D-3345 (2008).

O ensaio de resistência com térmita de madeira seca foi conduzido de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica/Divisão de Madeira - IPT/DIMAD D - 2 (1980). Para tanto, foram utilizadas amostras com dimensões de 7,0 x 2,3 x 0,6 cm (longitudinal x radial x tangencial). Foram empregadas seis repetições para cada condição da madeira tratada e testemunha (Tabela 2). Para tanto, os corpos de prova foram agrupados dois a dois formando três conjuntos. Em cada conjunto, foi fixado com parafina, um recipiente de policloreto de polivinila - PVC de diâmetro de 3,5 cm e altura de 4,0 cm, contendo em seu interior 40 térmitas, sendo 39 operárias e um soldado (Figura 6).

Figura 6 - Ensaio de resistência a térmitas de madeira seca, (a) disposição dos corpos de prova no ensaio e (b) madeira submetida ao ataque dos térmitas de madeira seca



Fonte: O autor.

Cada conjunto foi disposto em uma placa de Petri para evitar a fuga dos insetos, e ensaio foi mantido em sala climatizada (27 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa), durante 45 dias. Decorrido tal período, as térmitas remanescentes foram retiradas dos recipientes e novamente contadas para avaliar a mortalidade dos insetos e o desgaste causado às amostras, atribuído por meio de notas, sendo nota 0 (nenhum desgaste), 1 (desgaste superficial), 2 (desgaste moderado), 3 (desgaste acentuado), 4 (desgaste profundo), também foram contabilizados os orifícios produzidos pelos insetos nos corpos de prova (IPT/DIMAD D - 2, 1980) e a perda de massa (ASTM D - 2017, 2008), corrigida pela perda de massa operacional.

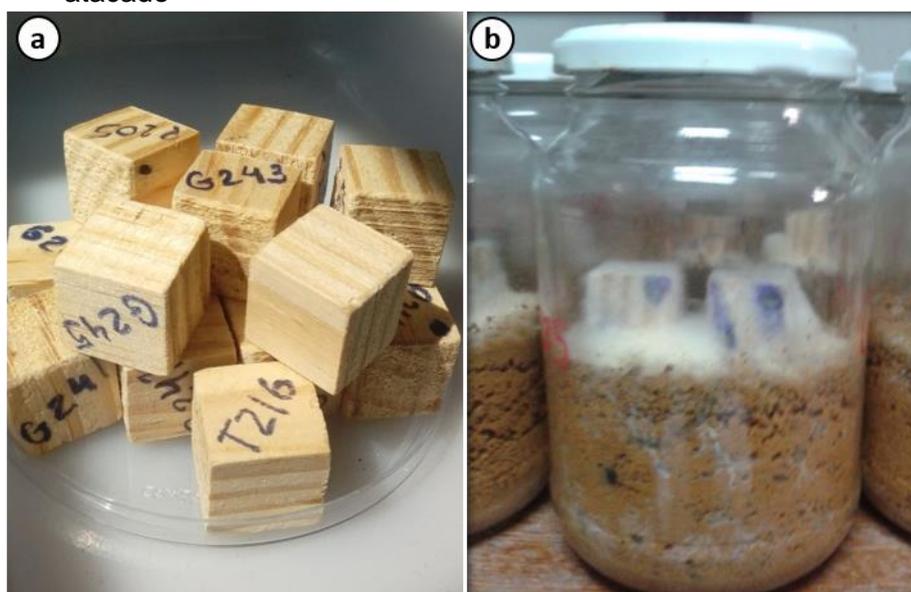
3.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FUNGOS XILÓFAGOS

Para realização do ensaio de apodrecimento acelerado foram seguidas as determinações da ASTM D - 1413 (2008). Foi testada a eficiência do tratamento com biossílca na resistência da madeira aos fungos *Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murrill, *Neolentinus lepideus* (Fr.) Redhead & Ginns e *Postia*

placenta (Fr.) M.J. Larsen & Lomb. (podridão parda). Assim foram utilizadas seis amostras cúbicas de 1,9 cm de aresta, para cada procedimento e situação (Tabela 2).

Foram preparados frascos de 600 mL, preenchidos com 300 g de solo (Figura 7) de pH 7,0 e capacidade de retenção de água de 25,06%. O solo utilizado para o preenchimento dos recipientes teve sua umidade corrigida para 130 % da capacidade de retenção pela adição de 91 mL de água destilada. Foram adicionadas duas placas alimentadoras de madeira de *P. elliotii* em cada recipiente. O material foi esterilizado em autoclave a 103 kPa e 121 °C, por 30 minutos.

Figura 7 - Ensaio de apodrecimento acelerado, (a) corpos de prova a serem submetidos ao ensaio e (b) frasco com solo e corpos de prova sendo atacado



Fonte: O autor.

O ensaio permaneceu em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa) durante 12 semanas, quando foi desativado e a perda de massa causada na madeira, corrigida pela perda operacional, avaliada conforme ASTM D - 2017 (2008) (Tabela 4).

Para o ensaio de resistência a fungos de podridão mole foi utilizada a metodologia descrita pelo IPT/DIMAD D - 5 (1980), que estabelece a utilização de corpos de prova de 3,0 x 1,5 x 0,5 cm (longitudinal x radial x tangencial). Este teste visou submeter o material à ação da microflora natural existente em

solos orgânicos (solos de “jardim”), retirados em mata natural que teve sua umidade ajustada para 100% da capacidade de retenção de água, conforme recomendado pela metodologia citada, onde os corpos de prova foram soterrados.

Tabela 4 - Classificação da perda de massa em ensaio de resistência a fungos xilófagos.

Perda de Massa (%)	Massa Residual (%)	Classe de Resistência
0 – 10	90 – 100	Altamente Resistente
11 – 24	76 – 89	Resistente
25 – 44	56 – 75	Moderadamente Resistente
≥ 45	≤ 55	Não Resistente

Fonte: ASTM D - 2017 (2008).

Neste ensaio, foram utilizados frascos de 600 mL, preenchidos com 300 g de solo (Figura 8), com pH de 5,5 e capacidade de retenção de água de 32,01%, com a adição de 80 mL de água destilada. Para o tratamento dos corpos de prova, foram empregados os mesmos procedimentos citados no item 3.3. O ensaio permaneceu em sala climatizada durante 120 dias, mantido sob as mesmas condições citadas para o ensaio de apodrecimento acelerado. Esse teste preconiza a utilização de 10 amostras por tratamento; seis destas foram soterradas em solo ao natural e quatro, em solo esterilizado.

Figura 8 - Frasco com solo para ensaio de podridão mole (a) e corpo de prova a ser soterrado no mesmo (b)



Fonte: O autor.

Após o término do ensaio foram retirados os corpos de provas dos frascos, sendo removidos os micélios dos fungos e acondicionados em estufa, mantidos até atingirem sua massa constante e pesados para avaliação da perda de massa (ASTM D - 2017, 2008), e corrigida em função das amostras soterradas em solo esterilizado.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Para o teor de cinzas na casca de arroz e pureza da sílica, as análises foram conduzidas em triplicatas e suas médias avaliadas por meio de estatística descritiva (média).

Para os ensaios de impregnação e eficiência no tratamento da madeira (ensaio biológico) foi empregado o delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial (3 x 3), em que foram avaliados os efeitos da temperatura de obtenção (três níveis) da biossílica e concentrações da solução de imersão (três níveis). Para avaliar o apodrecimento acelerado em laboratório, os fungos não foram comparados entre si. O mesmo delineamento foi utilizado para todos os ensaios.

Para todos os ensaios foi verificada a normalidade dos dados (teste de Lilliefors) e a homogeneidade das variâncias (teste de Cochran). Quando necessário, os dados, em porcentagem de perda de massa e da mortalidade dos cupins foram transformados em arcsen [raiz (perda de massa ou mortalidade/100)] e os valores do desgaste (nota) em arcsen [raiz (nota + 0,5)].

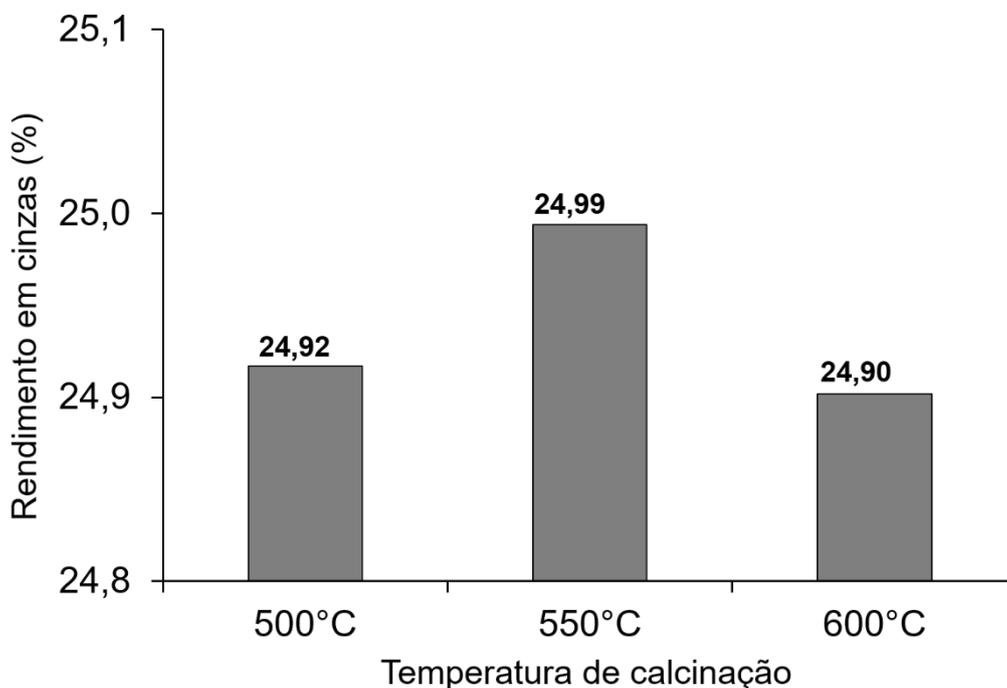
Para os fatores e interação detectados como significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$), para comparação entre tratamentos com a testemunha, foi empregado o teste de Dunnett ($p \leq 0,05$), e para as variáveis que não envolveram ensaio biológico foi empregado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DA BIOSSÍLICA

Verificou-se que não houve diferença significativa entre as temperaturas de calcinação utilizadas (500, 550 e 600°C), no rendimento do material calcinado (Figura 9), tendo o intervalo entre o maior e menor valor sido de 0,09%.

Figura 9 - Rendimento em cinzas da casca de arroz obtidas por diferentes temperaturas de calcinação



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$).

O processo de calcinação foi identificada, por meio da técnica de fluorescência de Raios - X, a composição química das partículas resultantes para verificar se houve diferença no teor de sílica entre as temperaturas de calcinação de 500, 550 e 600°C (Tabela 5).

Os resultados demonstraram que a cinza da casca de arroz é composta principalmente por sílica, não apresentando diferenças substanciais entre as

partículas obtidas com as diferentes temperaturas de calcinação. Os valores foram de aproximadamente 90% (com diferença de 2,59% entre a maior e menor temperatura utilizada), sendo semelhantes ao encontrado por Alfro (2010), de 91,89% de SiO₂.

Tabela 5 - Composição química da cinza da casca de arroz realizada por espectroscopia de fluorescência de Raios-X, para cada temperatura de obtenção

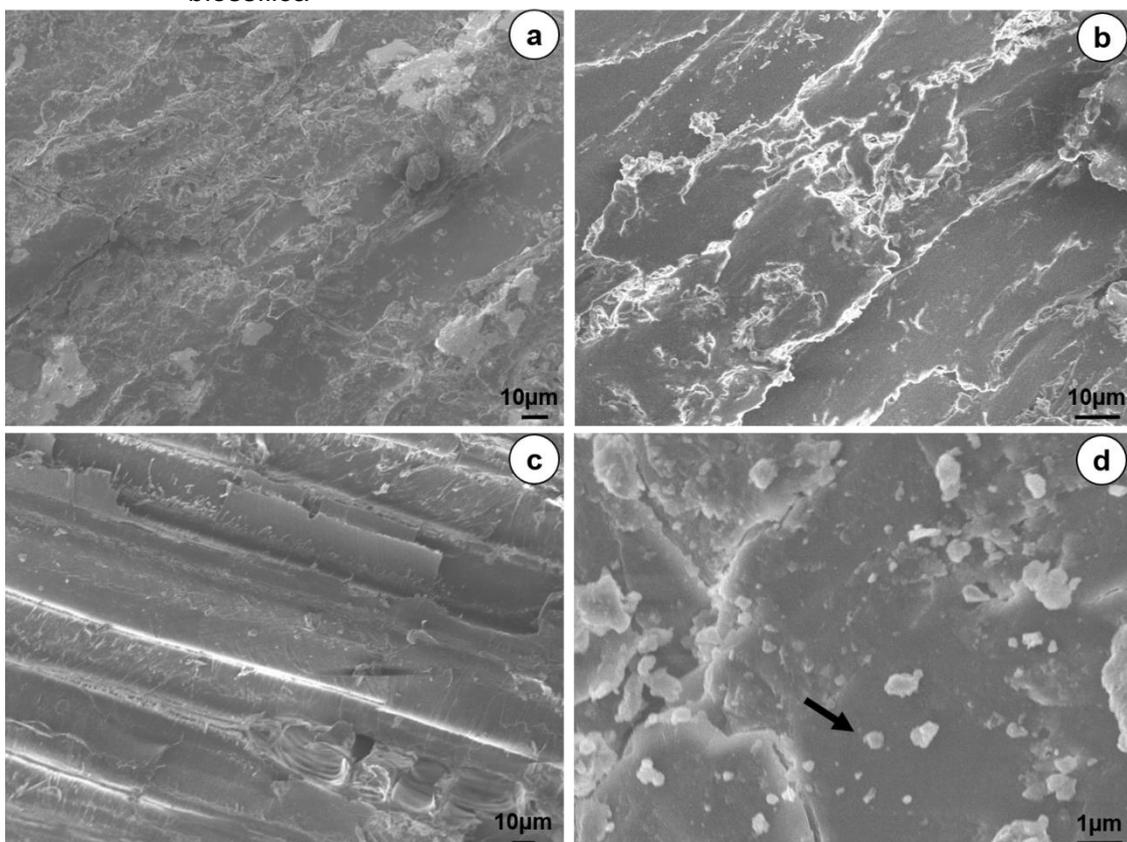
Composto Químico	Temperatura (°C) / Composição (%)		
	500	550	600
SiO ₂	88,36	90,85	90,95
Fe ₂ O ₃	3,40	3,57	2,83
CaO	2,30	2,35	1,99
Cr ₂ O ₃	1,58	1,63	1,30
SO ₃	0,66	0,66	0,48
NiO	0,47	0,47	0,41
CuO	0,18	0,18	0,12
MnO	0,12	0,14	0,11
Outros	2,88	0,16	1,81
Total	100	100	100

Observa-se que os tratamentos químico (ácido clorídrico) e térmico (calcinação) foram eficientes para remoção de compostos diferentes da sílica, assim, elevando a pureza do material obtido. Com a lixiviação, as impurezas são dissociadas e em seguida removidas na lavagem. Segundo Della et al. (2006), o carbono é liberado normalmente durante a calcinação, resultando em uma sílica de maior pureza.

Os resultados corroboram com pesquisa realizada por Carneiro et al. (2015), que analisou a eficiência da aplicação do ácido clorídrico para o tratamento de lixiviação da parte aérea de cavalinha (*Equisetum arvense*). O processo foi eficiente para a redução de íons alcalinos e alcalinos terrosos, que interferem negativamente na concentração de SiO₂. O material calcinado sem lixiviação apresentou teor de 59,6% desse componente, enquanto o material submetido ao processo de lixiviação, seguido de calcinação foi determinado 93,5%.

As micrografias obtidas pela MEV indicaram que as soluções aquosas contendo biopartículas de sílica tiveram penetrações diferentes na madeira de *Pinus elliottii*. Observa-se (Figuras 10 e 11) o aspecto das madeiras tratadas e não tratadas, ao serem analisadas superficialmente e internamente, sendo possível verificar, como a biossílica ficou inserida na estrutura da madeira. Na Figura 10 são apresentadas a testemunha e a madeira tratada com solução de 0,5%, enquanto na Figura 11 os tratamentos com soluções de 1% e 2% de concentração.

Figura 10 - Comparação das madeiras sem tratamento (testemunha) e com a aplicação de solução de 0,5% de sílica por meio de fotomicrografias de MEV. (a) superficial 0% (500x); (b) interna 0% (1.000x); (c) superficial 0,5% (500x); (d) interna 0,5% (10.000x). Seta indica partícula de biossílica



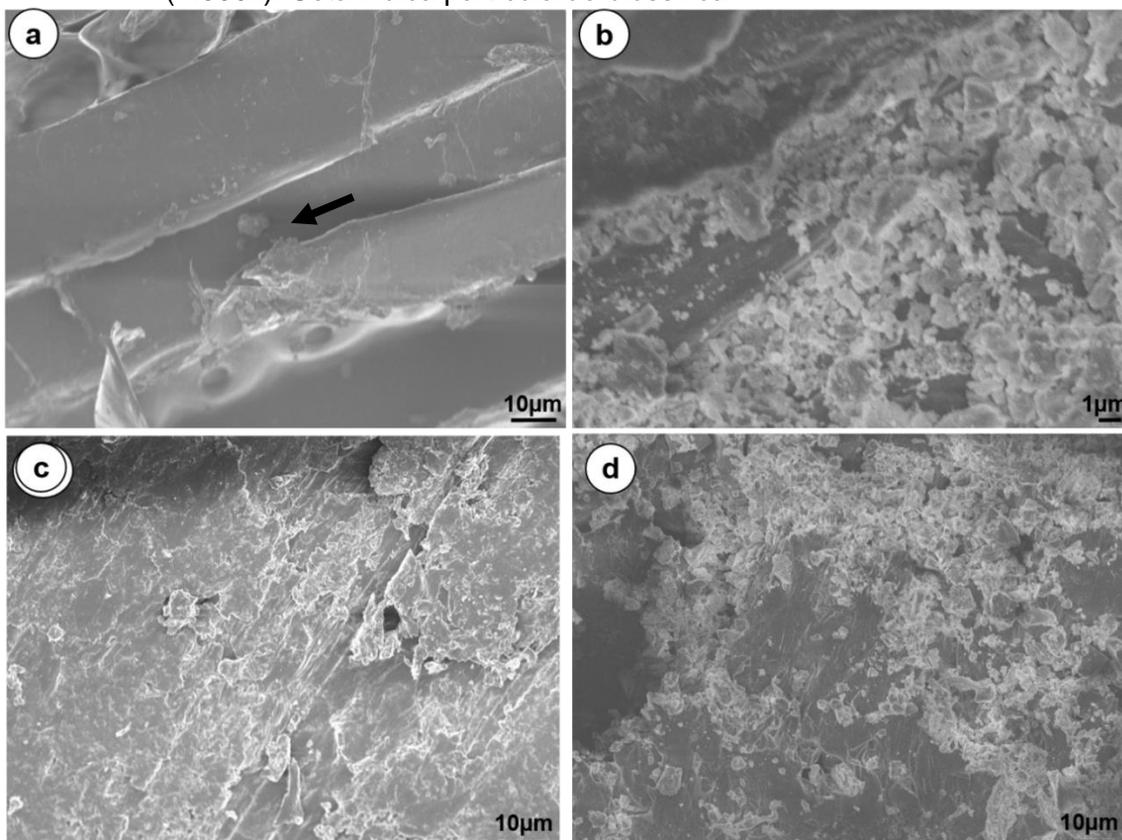
As partículas de SiO_2 obtidas tiveram diâmetro médio de 263,7nm. A definição mais usada atualmente estipula que uma partícula é nano se o seu diâmetro estiver entre 1 a 100 nanômetros, de acordo com *Publicly Available Specification - PAS71* (2011). Assim não sendo possível considerar o material obtido como nanopartículas. Porém, segundo Fernandes e Filgueiras (2008), para serem classificadas como nanopartículas deve estar no intervalo de 0,2 a

100nm. Ferreira e Rangel (2009) relatam que deve estar apenas abaixo de 100nm. Enquanto Amaral (2010) classifica como nanopartículas quando apresentarem tamanho inferior a 1.000nm.

Carneiro et al. (2015) observaram por meio de MEV partícula de 300 nm de diâmetro, uma vez que a técnica empregada não permite a individualização do material. Porém, quando determinado pelo ensaio de sorção de nitrogênio o tamanho médio foi de aproximadamente 8 nm. Assim, como a metodologia de obtenção do SiO₂ foi a mesma empregada na presente pesquisa, pode-se inferir que o diâmetro obtido (263,7nm) trata-se de um aglomerado de partículas.

Ao Analisar as Figuras 10 e 11 pode-se verificar que nos tratamentos com as soluções de 1,0 e 2,0%, ocorreu maior penetração das partículas, podendo ser evidenciadas pela maior ocorrência do produto na parte interna das amostras, isso pode ter ocorrido pela maior quantidade de produtos disponíveis na solução de impregnação da madeira.

Figura 11 - Comparação das madeiras tratadas com solução de 1,0 e 2,0% de sílica por meio de fotomicrografias de MEV. (a) superficial 1,0% (500x); (b) interna 1,0% (5.000x); (c) superficial 2,0% (500x); (d) interna 2,0% (1.000x). Seta indica partícula de biossíllica



Carneiro et al. (2015) ao observarem como as biopartículas sílicas ficaram inseridas no interior da madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*), constataram que as mesmas ocupavam o lume das células e os espaços intracelulares.

4.2 RETENÇÃO DA SÍLICA NA MADEIRA TRATADA

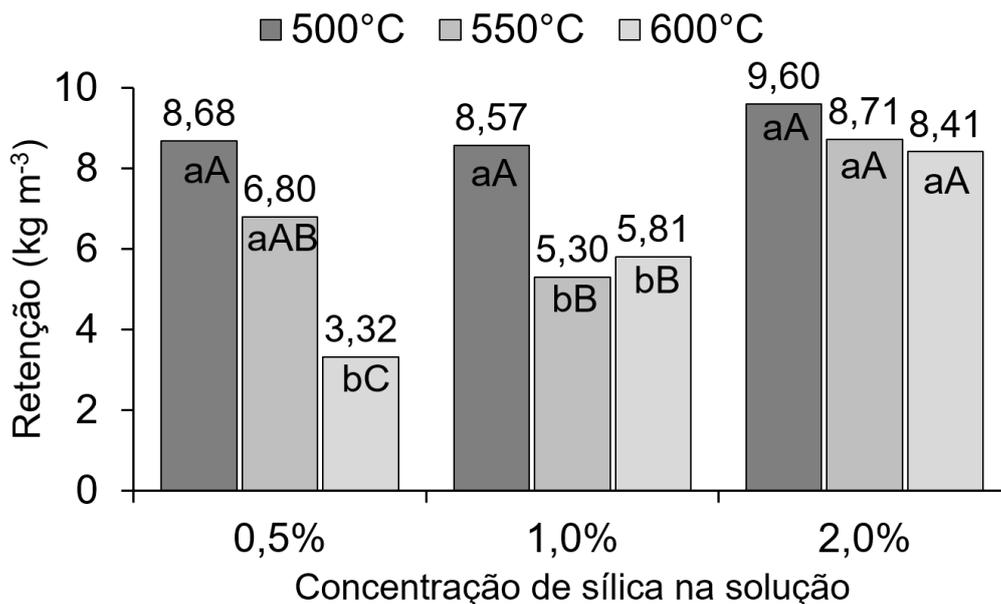
Constatou-se que a madeira de *P. elliotii* possui densidade básica de 0,541 g cm⁻³, com desvio padrão de 0,07 g cm⁻³, o que a classifica como de média densidade de acordo com a *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* - COPANT (1974) e Serviço Florestal Brasileiro - SFB (2017).

Houve interação significativa ente os fatores temperatura de obtenção da sílica e concentração da solução de impregnação na retenção da sílica apenas para as amostras destinadas ao ensaio de podridão mole. Para aquelas a serem testadas no ensaio de alimentação forçada a térmitas subterrâneas, apenas a concentração da solução influenciou a retenção e para ensaio com cupins de madeira seca, não foi verificada influência dos fatores (Apêndice A, Tabela 1 A).

O desdobramento da análise, para o ensaio de podridão mole, demonstrou que dentro de cada concentração, quanto maior a temperatura de obtenção, menor a retenção da sílica e que para cada temperatura, quanto maior a concentração da solução de impregnação, maior a retenção (Figura 12).

As amostras dos ensaios de alimentação forçada a cupim subterrâneo e de apodrecimento acelerado (*G. trabeum*, *N. lepideus* e *P. placenta*) apresentaram diferença significativa em relação ao fator concentração da solução (Apêndice A, Tabela 2 A).

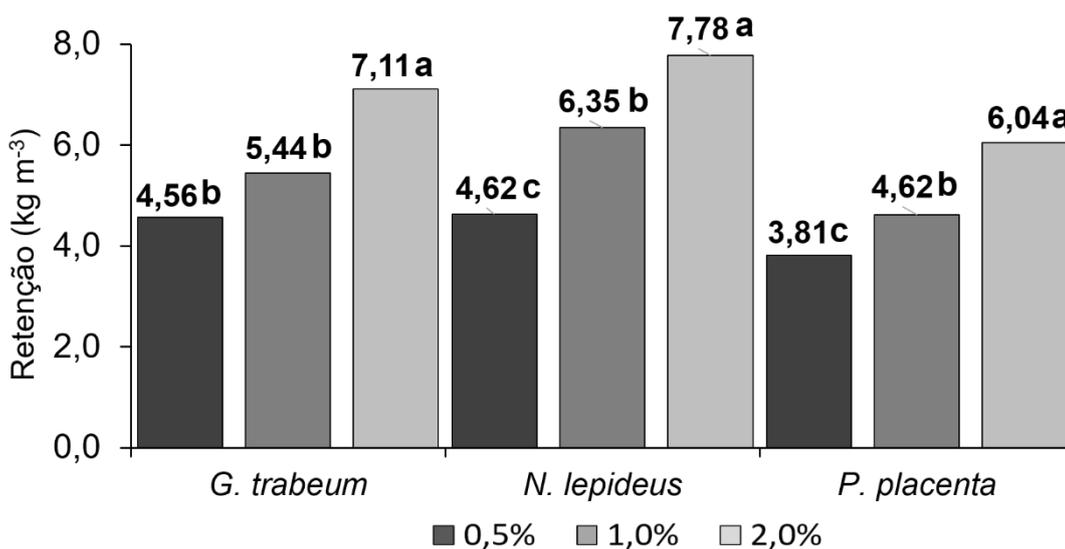
Figura 12 - Comparação entre médias de retenção para as amostras submetidas ao ensaio de podridão mole, para cada temperatura aplicada



Médias seguidas da mesma letra minúscula (temperatura) ou maiúscula (concentração) não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

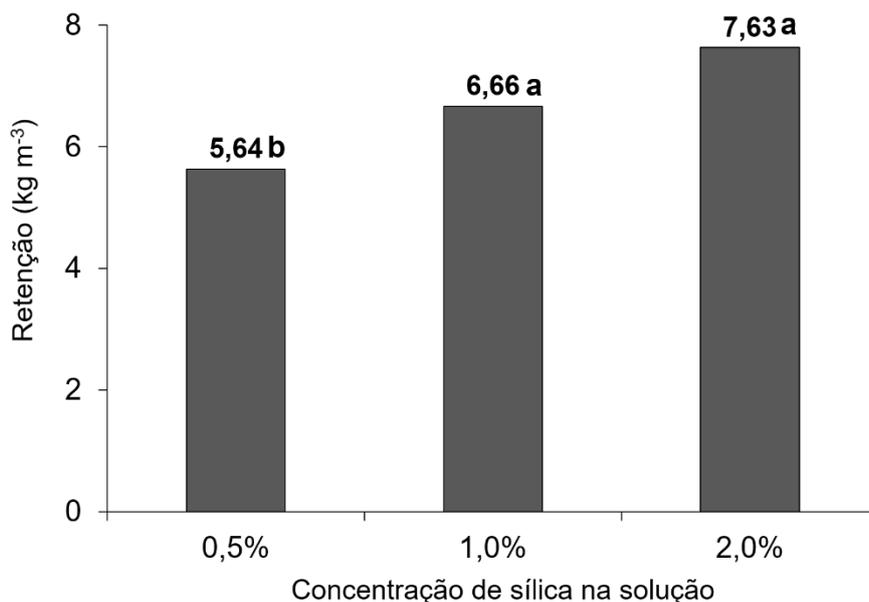
Pode ser verificado que quanto maior a concentração da solução maior a retenção de sílica na madeira, causado pela maior quantidade de produto disponível para difusão na madeira (Figura 13 e 14).

Figura 13 - Comparação entre médias de retenção para as amostras submetidas aos fungos no ensaio de apodrecimento acelerado, para cada concentração aplicada



Médias seguidas de mesma letra, para cada fungo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

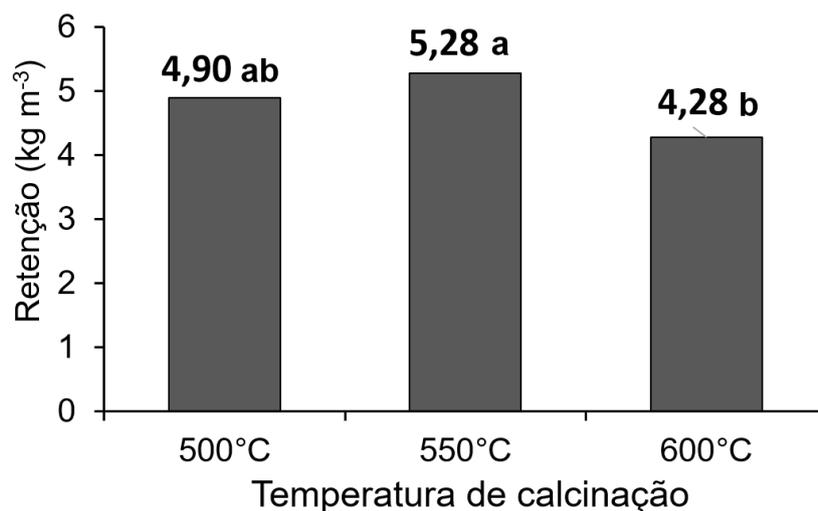
Figura 14 - Comparação entre médias de retenção para as amostras submetidas ao ensaio de alimentação forçada, para cada concentração aplicada



Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Os corpos de prova de apodrecimento acelerado para *P. placenta*, apresentaram também diferenças significativa para o fator temperatura de obtenção de sílica (Apêndice A, Tabela 2 A), conforme Figura 15.

Figura 15 - Comparação entre medias de retenção para o ensaio de apodrecimento acelerado para *P. placenta*, para cada temperatura aplicada



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

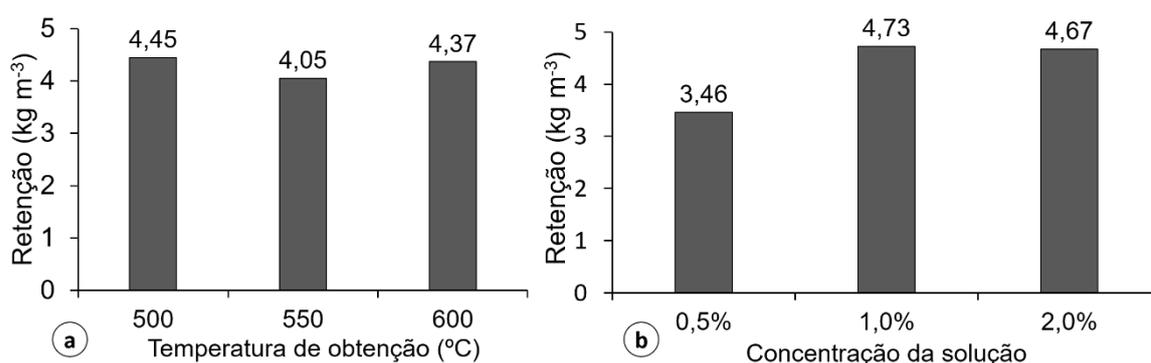
Como pode ser observado, tal resultado (Figura 15) diferenciou dos demais para ensaio de apodrecimento acelerado, os quais não apresentaram diferença significativa entre si para o fator temperatura de obtenção da sílica.

No ensaio com *P. placenta* apenas as amostras impregnadas com sílica obtida na temperatura de 600°C diferenciaram das demais. Isto pode ter sido causado por algum procedimento ou até mesmo por características anatômicas presentes em algumas amostras, como maior proporção de lenho primaveril, uma vez que as partículas ficaram retidas no lume das células.

Para os corpos de prova destinados ao ensaio de resistência ao ataque de cupins de madeira seca, não houve diferença significativas entre os valores de retenção obtidos (Apêndice A, Tabela 1 A), conforme Figura 16.

Desde que haja uma boa penetração da substância química na madeira, a retenção é influenciada principalmente pela concentração da solução de tratamento, ou seja, o percentual de ingredientes ativos dissolvidos de um determinado volume de solução (GROENIER; LEBOW, 2006). Observa-se essa tendência claramente (Figura 13 e 14), para corpos de prova tratados com maior concentração, apresentaram maior retenção

Figura 16 - Valores médios de retenção para os corpos de prova a serem submetidos ao ensaio de resistência a térmita de madeira seca em relação com (a) temperatura de obtenção e (b) concentração da solução aplicada



Quanto menor a concentração da solução maior o tempo de tratamento necessário para que a substância preservativa penetre com mais efetividade na madeira (FARIAS SOBRINHO; PAES; FURTADO, 2005). Portanto, é possível

que a distribuição e retenção melhorassem para as amostras imersas em soluções de 0,5 e 1%, caso o tempo de impregnação fosse ampliado.

4.3 ENSAIOS COM TÉRMITAS E FUNGOS XILÓFAGOS

As análises de variância dos dados de perda de massa e desgaste dos corpos de prova para este ensaio não acusaram diferenças significativas pelo teste de F para comparação entre madeiras tratadas com sílica em diferentes condições. No entanto, observou-se que a perda de massa e o desgaste da testemunha diferiram estatisticamente dos demais tratamentos (Apêndice B, Tabela 1B). A perda de massa da testemunha (8,17%) foi superior em relação a todos os tratamentos correspondentes à madeira tratada, cujos valores variaram de 4,95 a 6,02%. A testemunha recebeu nota inferior em relação às demais condições, o que indica um maior desgaste (Tabela 6).

Quanto aos resultados de mortalidade, pode-se verificar que não houve interação significativa entre os fatores. Entretanto, foi detectada diferença para essa variável entre madeiras tratadas em diferentes concentrações (Apêndice B, Tabela 2B).

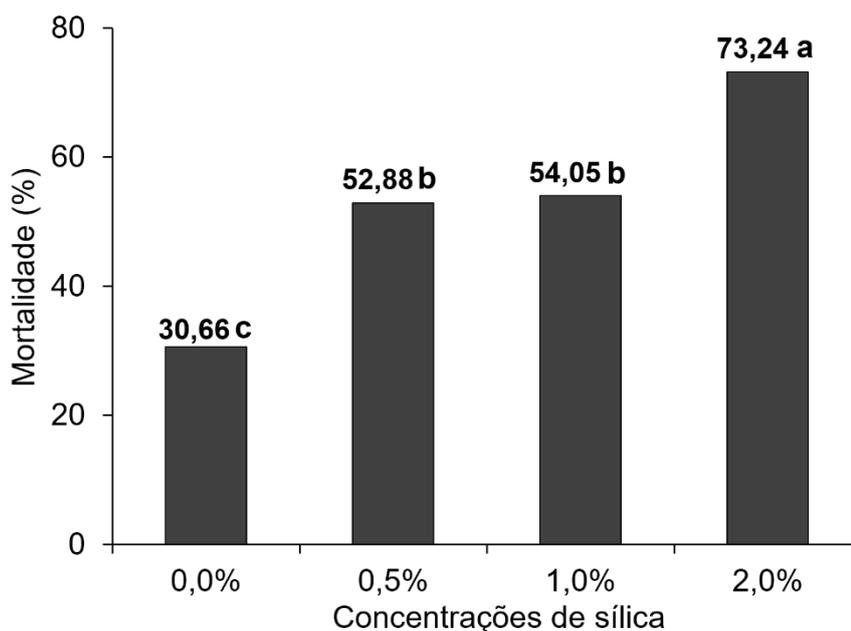
Tabela 6 - Comparação entre as médias de perda de massa e desgaste da madeira submetida ao ensaio de alimentação forçada à térmita testada, para cada tratamento aplicado

Tratamentos	Perda de Massa (%)	Desgastes (Nota)
T ₀	8,17 a	4,86 a
T _{500/0,5%}	5,97 b	8,30 b
T _{500/1%}	4,95 b	8,20 b
T _{500/2%}	5,79 b	8,33 b
T _{550/0,5%}	5,92 b	8,13 b
T _{550/1%}	5,58 b	7,80 b
T _{550/2%}	5,95 b	7,70 b
T _{600/0,5%}	6,02 b	7,90 b
T _{600/1%}	5,75 b	8,60 b
T _{600/2%}	5,25 b	8,13 b

Médias seguidas da mesma letra, para cada característica avaliada, não diferem entre si pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$).

Notou-se que os tratamentos apresentaram térmitas vivos ao final do ensaio (28 dias), sendo encontrados valores mínimos de 43,3% e máximo de 94,57% para a variável mortalidade (Figura 17).

Figura 17 - Comparação das médias de mortalidade obtidas no ensaio de alimentação forçada a térmitas subterrâneas para as diferentes concentrações utilizadas



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$).

A análise de variância dos dados de perda de massa e desgaste (nota) dos corpos de prova para o ensaio de alimentação forçada de térmitas de madeira seca não apresentou significância pelo teste F para a interação entre os fatores. Significância foi verificada quanto as concentrações das soluções aplicadas e quando comparados os tratamentos com sílica em relação à testemunha (Apêndice B, Tabela 3B).

Os resultados apresentados para a perda de massa e desgaste variaram de 5,56 a 6,53% (perda de massa) e de 1,0 a 1,83 (notas de desgastes), valores que diferiram significativamente da testemunha (9,45% e 2,7 respectivamente) (Tabela 7).

Pode-se inferir que o tratamento realizado na condição $T_{500/0,5\%}$ seria o mais viável para a redução da perda de massa e desgaste na madeira causado

pelos cupins testados, pois menor quantidade de sílica e menos energia seriam requeridas, visando o melhor custo-benefício.

Tabela 7 - Comparação entre as médias de perda de massa e desgaste da madeira submetida ao ataque de térmitas de madeira seca, para cada tratamento aplicado

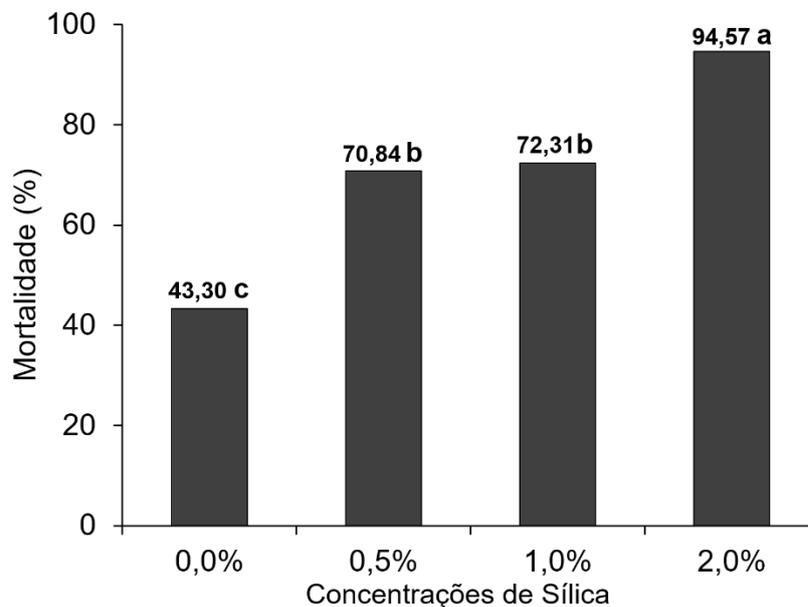
Tratamentos	Perda de Massa (%)	Desgastes (Nota)
T ₀	9,46 a	2,75 a
T _{500/0,5%}	6,52 b	1,83 b
T _{500/1%}	5,57 b	1,12 b
T _{500/2%}	5,94 b	1,00 b
T _{550/0,5%}	6,32 b	1,79 b
T _{550/1%}	5,59 b	1,41 b
T _{550/2%}	5,75 b	1,62 b
T _{600/0,5%}	6,53 b	1,41 b
T _{600/1%}	6,03 b	1,50 b
T _{600/2%}	5,74 b	1,50 b

Médias seguidas da mesma letra, para cada característica avaliada, não diferem entre si pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$).

A análise da variância dos dados de mortalidade das térmitas de madeira seca não apresentou significância para interação entre os fatores, mas apenas entre as diferentes concentrações das soluções, segundo teste F (Apêndice B, Tabela 4B). Quanto menor a concentração de sílica, menor a mortalidade de térmitas de madeira seca do ensaio (Figura 18).

Observa-se que quando a madeira foi tratada, houve menor perda de massa, menos desgaste e maior mortalidade nos ensaios realizados com os dois tipos de térmitas. Quando a testemunha é comparada com os demais tratamentos, verifica-se que quanto maior a perda de massa, menor a mortalidade. Esse resultado pode ser justificado, uma vez que a sílica possivelmente exercer efeito inseticida. Na literatura há relatos de alta mortalidade (12,6 a 100%) de lepidópteras pragas de tomate (*Spodoptera littoralis*) pela a pulverização de nanossílica (EL-BENDARY; EL-HELALY, 2013).

Figura 18 - Comparação das médias da variável mortalidade obtidas no ensaio de resistência com térmitas de madeira seca para as diferentes concentrações testadas



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$).

Outra possibilidade está relacionada ao caráter abrasivo da sílica que causa desgaste no aparelho bucal, ou seja, o enrijecimento dos tecidos vegetais acarreta dificuldades para penetração e mastigação dos insetos (CURRIE; PERRY, 2007; GOMES et al., 2008; KEEPING et al., 2009), causado pelas propriedades mecânicas da sílica biogênica, como pode ser observado por Kvedaras et al. (2009), Figura 1.

A perda de massa não apresentou diferença entre as condições de tratamento, enquanto o oposto foi verificado para a taxa de mortalidade. Dessa forma, a mortalidade não está diretamente relacionada com a perda de massa e a causa da morte dos indivíduos pode ter sido causada pela toxidez da sílica. Isso pode ter ocorrido pelo dano causado na cutícula do inseto, que causa a desidratação e morte por dessecação (ASHFAQ et al., 2012). Assim, quanto maior o contato com a sílica, maior será o dano.

O tratamento preservativo da madeira visa buscar a melhor relação custo-benefício, com menores gastos com produtos e energia, desde que apresente a mesma efetividade (BRAND; ANZALDO; MORESCHI, 2006). Portanto, para um mesmo tempo de condução dos testes, pode-se inferir que o tratamento realizado na condição T_{500/0,5} seria o mais viável, por promover

menor perda de massa e desgaste, pois menor quantidade de sílica e menos energia foram empregados. Entretanto, para a maior mortalidade dos insetos, o mais recomendado é o T_{500/2%}, pela maior quantidade de sílica a entrar em contato com as térmitas.

A madeira de *Pinus* sp. geralmente é utilizada como parâmetro para testes de biodeterioração, sendo considerada susceptível ao ataque das térmitas (IPT/DMAD, 1980). Portanto, os resultados indicam potencial da utilização da sílica como produto alternativo para prevenir o ataque de cupins de madeira seca.

Para o apodrecimento acelerado a fungos xilófagos, os resultados das análises de variância dos dados de perda de massa, demonstraram que não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F, nem mesmo a interação entre os fatores (Apêndice C, Tabela 1C).

A madeira foi classificada em classes de resistências diferentes para os diferentes fungos. As amostras submetidas ao ataque de *G. trabeum* e *P. placenta* ficaram classificadas como não resistente (NR), enquanto aquelas submetidas ao fungo *N. lepideus* foram classificadas como moderadamente resistente (MR) (Tabela 8).

Tabela 8 - Comparação entre as médias de perda de massa no ensaio de apodrecimento acelerado, para cada fungo e tratamento aplicado

Tratamentos	Perda de Massa (%)/Classificação ASTM D - 2017 (2008)		
	<i>G. trabeum</i>	<i>N. lepideus</i>	<i>P. placenta</i>
T ₀	62,71 ^{NR}	32,97 ^{MR}	55.21 ^{NR}
T _{500/0,5%}	57,77 ^{NR}	33,33 ^{MR}	54.54 ^{NR}
T _{500/1%}	57,72 ^{NR}	30,02 ^{MR}	56.88 ^{NR}
T _{500/2%}	57,64 ^{NR}	31,84 ^{MR}	54.65 ^{NR}
T _{550/0,5%}	55,51 ^{NR}	35,16 ^{MR}	59.99 ^{NR}
T _{550/1%}	59,61 ^{NR}	34,82 ^{MR}	57.62 ^{NR}
T _{550/2%}	60,62 ^{NR}	32,62 ^{MR}	61.90 ^{NR}
T _{600/0,5%}	46,56 ^{NR}	30,40 ^{MR}	58.53 ^{NR}
T _{600/1%}	57,53 ^{NR}	31,31 ^{MR}	53.24 ^{NR}
T _{600/2%}	58,07 ^{NR}	32,40 ^{MR}	60.12 ^{NR}

AR – Altamente resistente; R – Resistente; MR – Moderadamente resistente; NR – Não resistente.

Geralmente utilizam-se de *Pinus* sp. como referência de comparação da resistência natural com outras madeiras. Foram encontrados 53,33% de perda de massa causados pelo ataque de *G. trabeum*, por Mendes et al. (2014). Sousa (2016) encontrou 56,69% de perda de massa para madeira de *P. elliottii* (testemunha) no ensaio com *P. placenta*, valor semelhante ao encontrado nesse trabalho.

Para o ensaio de podridão mole não houve interação entre os fatores para a perda de massa, assim como não diferiram significativamente pelo teste F (Apêndice C, Tabela 2C), não apresentando vantagem relacionada ao tratamento preservativo. Os valores de perda de massa variaram entre 13,80 a 19,52% (Tabela 9).

Pode se constatar que a madeira utilizada nesse experimento apresentou coloração escurecida após o ensaio, quando comparada a amostra não atacada por fungos de podridão mole.

Tabela 9 - Comparação entre as médias de perda de massa para ensaio de podridão mole, para cada tratamento aplicado

Tratamentos	Perda de massa (%)
T ₀	15,48
T _{500/0,5%}	17,81
T _{500/1%}	17,80
T _{500/2%}	19,52
T _{550/0,5%}	18,23
T _{550/1%}	18,71
T _{550/2%}	15,95
T _{600/0,5%}	17,16
T _{600/1%}	13,80
T _{600/2%}	16,83

Segundo Fauteux et al. (2005), a sílica tem capacidade de reduzir a incidência de ataque de patógenos, impedindo a contaminação por fungos, em virtude do SiO₂ fazer parte da composição química de certos vegetais, os quais são pouco atacados por esta classe de agentes. Ashfaq et al. (2012) citam que o SiO₂ tem a capacidade de adsorver umidade e promover a morte de inseto por dessecação. Esse efeito pode correr também com relação às hifas de fungos. Porém Isso não foi verificado no presente trabalho, uma vez que, os

ensaios com fungos xilófagos utiliza solo com alto teor de umidade, e desta, tal efeito torna-se negligenciável.

O resultado com a aplicação de sílica na madeira de pinus, não apresentou essa característica para nenhuma das condições de tratamento, podendo ser pela sílica ter preenchido apenas espaços intracelulares. O resultado poderia ser diferente se fosse aplicado maior tempo de vácuo e, ou, pressão que causasse maior preenchimento dos espaços vazios, dificultando ou até mesmo impedindo o desenvolvimento das hifas. Uma vez que o SiO_2 tem efeito de dissecação, provavelmente se a concentração da solução e, ou, o tempo de aplicação fossem maiores, poderiam causar o mesmo efeito as hifas dos fungos, assim reduzindo o ataque desses agentes deterioradores.

Em função da não diferenciação entre a testemunha e a madeira tratada para os ensaios de biodeterioração com fungos, pode-se afirmar que classificações de resistência que foram determinadas são inerentes a essa espécie. Portanto, a sílica não teve carácter protetor contra o ataque dos fungos xilófagos analisados nesse trabalho.

Embora os ensaios de laboratórios tenham indicado eficiência do produto contra térmitas, para que se possa comprovar a eficácia da biossílica obtida da casca de arroz, são necessários ensaios de campo, o que demandaria maior tempo e custos.

5 CONCLUSÕES

Todas as temperaturas aplicadas na casca de arroz (500, 550 e 600°C) permitiram a obtenção de biossílica de elevada pureza, com valor médio de aproximadamente 90%, apresentando um tamanho médio de 263,7 nm.

A concentração de 2,0% de biopartículas de sílica proporcionou uma maior retenção na madeira de *Pinus elliottii*.

A impregnação do SiO₂ para os ensaios de alimentação forçada a térmita subterrânea e de apodrecimento acelerado apresentaram um padrão diretamente proporcional à concentração das soluções aplicadas. Enquanto para as amostras destinadas ao ensaio de podridão mole apresentou interação entre os fatores, que dentro de cada concentração apresentou menor retenção conforme aumento da temperatura de obtenção da sílica.

No ensaio de térmitas subterrâneos e de madeira seca, as menores perdas de massa e desgaste, quando comparadas com a testemunha, foram encontradas em todas as situações de tratamento, não diferenciando entre si, apresentando a mesma eficiência. A mortalidade dos térmitas aumentou com o incremento da concentração das soluções.

Para os ensaios de apodrecimento acelerado para os fungos utilizados, não apresentou eficiência contra esses agentes xilófagos, sem diferença entre os tratamentos e as testemunhas, inferindo que resistência obtida é inerente da própria madeira de *P. elliottii*, que foi não resistente a *G. trabeum* e *P. placenta*, e moderadamente resistente a *N. lepideus*.

6 REFERÊNCIAS

ALFARO, E. F. **Estudos da utilização de cinzas de casca de arroz como carga em matriz de polipropileno e do efeito da radiação ionizante sobre este compósito**. 2010, 77f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D - 1413**: standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, 2008. 7p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D - 2017**: standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, 2008. 5p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D - 3345**: standard method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termites. Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, 2008. 3p.

ANDRADE, A. S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em Pinus taeda L.: Influência da idade e classe de produtividade**. 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ASHFAQ, M. et al. Improved method for preparation of anhydrous silica by microwave irradiation with spectroscopic characterization and toxicity assay. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 358, n. 4, p. 847-853, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Anexo B – Determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ASSOCIAÇÃO DOS RESINADORES DO BRASIL - ARESB . **Estatísticas gerais**. 2013. Disponível em: <<http://www.aresb.com.br/>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

BAGGIO, A. J.; SCHREINER, H. G. Análise de um sistema silvipastoril com *Pinus elliottii* e gado de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 16, p.19-29, 1988.

BARROSO, T. R. **Estudo da Atividade Pozolânica e da Aplicação em Concreto de Cinzas do Bagaço de Cana-De-Açúcar com Diferentes Características Físicas e Químicas**. 2011. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro”, Campos do Goytacazes, 2011.

BOUSLIMI, B.; KOUBAA, A.; BERGERON, Y. Effects of biodegradation by brown-rot decay on selected wood properties in eastern white cedar (*Thuja*

occidentalis L.). **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 87, n.2, p. 87-98, 2014.

BRAND, M. A.; ANZALDO, J.; MORESCHI, J. C. Novos produtos para o tratamento preservante da madeira: "perspectivas da pesquisa e utilização". **Floresta**, v. 36, n. 1, p 139-138, 2006.

BRISTOT, V.M. **Máquinas e equipamentos para cerâmica**. Criciúma: Editora e Livraria Luana Ltda. 1996.

BROCCO, V. F. et al. Potential of teak heartwood extracts as a natural wood preservative. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, n. 4, p. 2093-2099, 2017.

CARNEIRO, M. E. et al. Preparation and characterization of nano silica from *Equisetum arvense*. **Bioprocessing & Biotechniques**, v. 5, n. 2, p. 1-7, 2015.

CHAVES, M. R. M. **Preparação de sílica organofuncionalizada a partir de casca de arroz, com capacidade de adsorvente de íons metálicos**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CLAUSEN, C.A. Biodeterioration of wood. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. 100.ed. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, p.312-327(FPL-GTR-190).

COELHO, V. C. **Avaliação do manejo da produção econômica de madeira de Pinus taeda L. com características qualitativas superiores**. 2010. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - COPANT. **Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas**. Buenos Aires, v. 30, p. 1-19, 1974

CORDEIRO, G. C. Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios. **Química Nova**, v. 32, n. 1, 1-5, 2009.

CORREIA, M. E. F.; MENEZES, E. L. A.; AQUINO, A. M. **Associação entre térmitas e microrganismos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. 20 p. (Documentos, 254).

CURRIE, H. A.; Perry; C. C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, v. 100, p.1383-1389, 2007.

DELLA, V. P. et al. Estudo comparativo entre a sílica obtida por lixiviação ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**, v. 29, n.6, p.1175-1179, 2006.

EL SHAFEI, G.M.S. Silica surface chemical properties. In: PAPIER, E. (Ed.). **Adsorption on silica surfaces**. New York: Marcell Dekker, 2000, p.35-62.

EL-BENDARY, H. M.; EL-HELALY, A. A. First record nanotechnology in agricultural: silica nano-particles a potential new insecticide for pest control. **Applied Science Report**, v. 4, n. 3, p. 241-246, 2013.

ESPÍNDOLA-GONZALEZ, A. et. al. Novel crystalline SiO₂ nanoparticles via annelids bioprocessing of agro-industrial wastes. **Nanoscale Research Letters**, v.5, n. 9, p.1408–1417, 2010.

EUFLOSINO, A. E. R. **Análise química da madeira tratada com CCA - C, do carvão vegetal e do licor pirolenhoso**. 2015. 40f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

FARIAS SOBRINHO, D.W.; PAES, J.B.; FURTADO, D. A. Tratamento preservativo da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.), pelo método de substituição de seiva. **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 225-236, 2005.

FARME, V. C. Infrared spectroscopy in clay mineral studies. **Clay Minerals**, v.7, n.4, p. 373-387, 1968.

FAUTEUX, F. et al. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiology Letters**, v. 249, n.1, p.1-6, 2005.

FIGUEIRÓ, R. **Noções básicas de ecologia para engenheiros**. Volta Redonda: Fundação Oswaldo Aranha - FOA, 2013.

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**, Piracicaba: FEALQ, 2002, 920p.

GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; ASSIS, G.A. Silício e imidacloprid na colonização de plantas por *Myzus persicae* e no desenvolvimento vegetativo de batata inglesa. **Ciência Rural**, v.38, n.5, p.1209-1213, 2008.

GONÇALVES, F. G. et al. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p 110-116, 2013.

GROENIER, J. S.; LEBOW, S. T. **Preservative-treated wood and alternative products in the Forest Service**. Madison: USDA, Forest Service, Technology Development Program, 2006, 44p (0677280p MTPC).

HELENO, R. A. et al. Síntese de sílica gel obtida a partir das cinzas de resíduo de biomassa da cana-de-açúcar por diferentes processos. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES CLEANER PRODUCTION, "CLEANER PRODUCTION TOWARDS A SUSTAINABLE TRANSITION" 5., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEN, 2015, p.1-9.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores**. 2015. 77p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA / DIVISÃO DE MADEIRA. **IPT/DMAD D-2**: ensaio acelerado de laboratório de resistência natural ou madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes* (Fam. Kalotermitidae). São Paulo: IPT/DMAD, 1980. 1p. (Publicação IPT, 1157).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA / DIVISÃO DE MADEIRA. **IPT/DMAD D-5**: ensaio acelerado de laboratório para determinação de eficiência de preservativos contra fungos de podridão mole. São Paulo: IPT/DMAD, 1980. 2p. (Publicação IPT, 1157).

KEEPING, M. G.; KVEDARAS, O. L.; BRUTON, A. G. Epidermal silicon on sugarcane: cultivar differences and role in resistance to sugarcane borer *Eldana saccharina*. **Environmental and Experimental Botany**, v.60, p.54-60, 2009.

KVEDARAS, O.L.; BYRNE, M.J.; COOMBES, N.E.; KEEPING, M.G. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, 11, 301-306, 2009.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Rossdorf: TZ-Verl.-Ges, 1990. 343p.

LELIS, A.T. et. **Biodeterioração de madeiras em edificações**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2001. 54p. (Publicação IPT 2686).

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L. E., KORNDÖRFER, G. H., SNYDER, G. (Eds.). **Silicon in agriculture**. New York: Elsevier Science. 2001. p.17-39.

MENDES, R. F. et al. resistência de painéis compensados de *Pinus Taeda* tratados com preservantes ao ataque de fungos xilófagos. **Cerne**, v. 20, n. 1, p.105-111, 2014.

MISSIO, A.L. et al. Propriedades mecânicas da madeira resinada de *Pinus elliottii*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p.1432-1438, 2015.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira**. 3 ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2011. 33p. (Manual Didático).

NAKANISHI, E. Y. **Cinza residual da queima de biomassa do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) como material pozolânico substituto do cimento Portland**. 112f. 2013. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, 2013.

OLIVEIRA, J. T.; TOMAZELLO, M.; SILVA, J. C. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Revista Árvore**, v.29, n.6, p.993-998, 2005.

PAES, J. B. et al. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 399-405, 2013.

PAES, J. B.; MELO, R. R.; LIMA, C. R. Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos em condições de laboratório. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 160-169, 2007.

PAES, J. B.; MORAES, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a fungos causadores da podridão-mole. **Revista Árvore**, v.29, n.3, p.365-371, 2005.

PAES, J. B.; MORESCHI, J. C.; LELLES, J. G. Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* Lab. e de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) pelo método de substituição da seiva. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 1, p. 75-86, 2005.

PAES, J.B. Resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* (Hook.) K.D.Hill & L.A.S. Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.761-767, 2002.

PAES, J. B. et al . Biological resistance of thermally treated *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson and *Pinus taeda* L. woods against xylophagous termites. **Revista Árvore**, v.40, n.3, p. 535-541, 2016.

PANSHIN, A.J.; De ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**: structure identification, properties and uses of the commercial woods of the United States and Canada. 4. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1980, 722p.

PAULA, M. O. et al. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.31, p. 353-357, 2009.

PINEDA-VÁSQUEZ, T. G. et al. Influence of process parameters on obtention of silica from rice husk ash by action of *Fusarium oxysporum*. **Química Nova**, v. 37, n. 5, p. 816-820, 2014.

PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION - PAS. **BSI standards publication**: Nanoparticles – vocabulary. London: British Standards Institution (BSI), 2011. 28p. (PAS 71:2011).

SALES, C. P. **Produção e caracterização de cinzas de capim elefante com vista a sua aplicação como pozolana**. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro”, Campos do Goytacazes, 2012.

SAPEI, L. et al. Structural and analytical studies of silica accumulations in *Equisetum hyemale*. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v.389, n.4, p.1249-1257, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB. LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS – LPF. **Banco de dados de madeiras brasileiras [online]**. Brasília: IBAMA; 2017. <<http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/caracteristicas.php?ID=163&caracteristica=112>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. C. **Métodos práticos de tratamento de madeira na propriedade rural**. Viçosa: UFV, PEC, Núcleo de Difusão de Tecnologia, 2006. 40 p. (Boletim de Extensão, 49).

SILVA, J. C.; CABALLEIRA LOPEZ, A. G.; OLIVEIRA SILVA, J. T. S. Influência da idade na resistência natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden ao ataque de cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*). **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p.583-587, 2004.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **O arroz no Brasil: evidências do censo agropecuário 2006 e anos posteriores**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2014. 58p. (Documentos, 229).

SOUSA, S. F. **Eficiência dos óleos de andiroba, copaíba e pinhão manso na melhoria da resistência da madeira de *Pinus elliotii* a organismos xilófagos**. 2016. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.

SOUZA, M.F.; MAGALHÃES, W.L.E.; PERSEGIL, M. C. Silica derived from burned rice hulls. **Material Research**, v.5, n.4. p.46-474, 2002.

SOUZA, S. S. et al. **Deteção do teor de cinzas e sílica em materiais lignocelulósicos**. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 61. Manaus: SBPC, 2009. Disponível em:< <http://www.sbpnet.org.br/manaus/>>. Acesso em: 15 maio 2017.

TEIXEIRA, J. G. et al. Eficiência do óleo de neem e dos resíduos de candeia sobre a inibição de desenvolvimento de fungos xilófagos. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 417-426, 2015.

TERRA FILHO, M.; SANTOS, P. Silicosis. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 32, n. 2, p. 41-47, 2006.

TREVISAN, H. **Degradação natural de toras e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais.** 2006. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

VASQUEZ, A. G. et al. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**, v.37, n.3, p.445-450, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Resumo das análises de variância para os ensaios de retenção de sílica na madeira de *P. elliotii*.

Tabela 1 A - Resumo das análises de variância para a retenção de sílica pelas amostras destinadas aos diferentes testes de biodeterioração

Fator de Variação	Podridão Mole	Alimentação Forçada	Madeira Seca
	Valores de p		
Temperatura (T)	<0,0001**	0,1812 ^{ns}	0,9042 ^{ns}
Concentração (C)	<0,0001**	0,0001**	0,3339 ^{ns}
T x C	0,0103*	0,0655 ^{ns}	0,4556 ^{ns}

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), * significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$), ^{ns} não significativo ($p > 0,05$).

Tabela 2 A - Resultado das análises de variância para a retenção de sílica pelas amostras destinadas aos ensaios de apodrecimento acelerado

Fator de Variação	<i>P. placenta</i>	<i>G. trabeum</i>	<i>N. lepidus</i>
	Valores de p		
Temperatura (T)	0,0099**	0,0984 ^{ns}	0,1455 ^{ns}
Concentração (C)	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**
T x C	0,4942 ^{ns}	0,6559 ^{ns}	0,784 ^{ns}

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), ^{ns} não significativo ($p > 0,05$).

APÊNDICE B - Resumo das análises de variância para a resistência a térmitas xilófagos.

Tabela 1 B - Resumo das análises de variância para a perda de massa e desgaste para o ensaio de alimentação forçada a térmitas subterrâneos

Fator de Variação	Perda de Massa	Desgaste
	Valores de p	
Temperatura (T)	0,3669 ^{ns}	0,1839 ^{ns}
Concentração (C)	0,3471 ^{ns}	0,8174 ^{ns}
T x C	0,9113 ^{ns}	0,3840 ^{ns}
Fator x Testemunha	<0,0001**	<0,0001**

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), ^{ns} não significativo ($p > 0,05$).

Tabela 2 B - Resumo da análise de variância para a mortalidade de para o ensaio de alimentação forçada a térmitas subterrâneos

Fator de Variação	Valores de p
Temperatura (T)	0,7015 ^{ns}
Concentração (C)	<0,0001*
T x C	0,7721 ^{ns}
Fator x Testemunha	<0,0001*

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), ^{ns} não significativo ($p > 0,05$).

Tabela 3 B - Resumo das análises de variância para a perda de massa e desgaste para o ensaio de resistência com térmitas de madeira seca

Fator de Variação	Perda de Massa	Desgaste
	Valores de p	
Temperatura (T)	0,5339 ^{ns}	0,1278 ^{ns}
Concentração (C)	0,0004**	0,0516 ^{ns}
T x C	0,6921 ^{ns}	0,0653 ^{ns}
Fator x Testemunha	<0,0001**	<0,0001**

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), ^{ns} não significativo ($p > 0,05$).

Tabela 4 B - Resumo da análise de variância para mortalidade para o ensaio de resistência com térmitas de madeira seca

Fator de Variação	Valores de p
Temperatura (T)	0,7773 ^{ns}
Concentração (C)	<0,0001*
T x C	0,9925 ^{ns}
Fator x Testemunha	<0,0001*

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), ^{ns} não significativo ($p > 0,05$).

APÊNDICE C - Resumo das análises de variância para os ensaios de apodrecimento acelerado e de fungo de podridão mole.

Tabela 1 C - Reumo das análises de variância para a perda de massa para os ensaios de apodrecimento acelerado

Fator de Variação	<i>G. trabeum</i>	<i>N. lepideus</i>	<i>P. placenta</i>
	Valores de p		
Temperatura (T)	0,2054 ^{ns}	0,0547 ^{ns}	0.122 ^{ns}
Concentração (C)	0,0826 ^{ns}	0,7494 ^{ns}	0.3837 ^{ns}
T x C	0,4024 ^{ns}	0,3771 ^{ns}	0.4635 ^{ns}
Fator x Testemunha	0,0898 ^{ns}	0,739 ^{ns}	0.4128 ^{ns}

^{ns} não significativo ($p > 0,05$).

Tabela 2 C - Resumo da análise de variância para a perda de massa para o ensaio de podridão mole

Fator de Variação	Valores de p
Temperatura (T)	0,0981 ^{ns}
Concentração (C)	0,6881 ^{ns}
T x C	0,213 ^{ns}
Fator x Testemunha	0,2173 ^{ns}

^{ns} não significativo ($p > 0,05$).