

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

JEAN KARLOS BARROS GALOTE

**PERDAS POR EVAPORAÇÃO E ARRASTE EM
SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA**

São Mateus - ES

Julho de 2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
MESTRADO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**PERDAS POR EVAPORAÇÃO E ARRASTE EM SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA**

JEAN KARLOS BARROS GALOTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. D.Sc. Robson Bonomo

São Mateus - ES

Julho de 2016

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
(Divisão de Biblioteca Setorial do CEUNES - BC, ES, Brasil)

G178p Galote, Jean Karlos Barros, 1986-
Perdas por evaporação e arraste em sistema de irrigação por
aspersão fixa / Jean Karlos Barros Galote. – 2016.
47 f. : il.

Orientador: Robson Bonomo.
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do
Espírito Santo.

1. Irrigação agrícola. 2. Irrigação por aspersores. 3. Recursos hídricos.
4. Bibliometria. I Bonomo, Robson. II. Universidade Federal do Espírito
Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. III. Título.

CDU: 63

PERDAS POR EVAPORAÇÃO E ARRASTE EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA

JEAN KARLOS BARROS GALOTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada: 22 de julho de 2016.

Prof. D.Sc. Robson Bonomo
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)

Prof. D.Sc. Edilson Romais Schimdt
Universidade Federal do Espírito Santo
(Membro Interno)

Prof. D.Sc. Daniel Fonseca de Carvalho
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
(Membro externo)

A Deus sempre presente em minha vida.

*Aos meus pais, Aroldo Henrique Galote e Vilma Isabel de Barros Garcia Galote, pelo
carinho, educação e apoio incondicional.*

Ao meu irmão Alan Jones Baltazar Galote, pelo carinho.

AGRADECIMENTO

Agradeço aos meus amigos, pela compreensão de minha ausência, pelos momentos de alegria, e pelas palavras de conforto.

Aos colegas de trabalho, que sempre estiveram em boa vontade para o auxílio nas etapas do trabalho quando necessários.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, em especial meu orientador o Sr. Prof. D.Sc. Robson Bonomo, pela dedicação e esforço para conosco enquanto classe.

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pela oportunidade de estudo por meio de bolsa.

A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em especial o Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), pela oportunidade.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VIII
LISTA DE TABELAS	X
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XIII
1 CAPÍTULOS.....	1
1.1. BIBLIOMETRIA SOBRE PERDAS POR EVAPORAÇÃO E ARRASTE PELO VENTO EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA	1
1 Resumo	1
2 Abstract	2
3 Introdução	2
4 Material e métodos.....	3
5 Resultado e discussão	3
6 Conclusão	8
7 Agradecimentos	8
8 Referências	8
1.2 QUANTIFICAÇÃO E ESTIMATIVA DAS PERDAS POR EVAPORAÇÃO E ARRASTE PELO VENTO, EM DIFERENTES CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E DE OPERAÇÃO, EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA.....	11
1 Resumo	11
2 Abstract	12
3 Introdução	12
4 Material e métodos.....	13

5 Resultados e discussão.....	18
6 Conclusão	29
7 Agradecimentos	30
8 Referências	30

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.1. Número de autores, periódicos, artigos e instituições por ano de publicação4
- Figura 1.2. Distribuição de artigos por estado brasileiro, relacionados a perdas por evaporação e arraste pelo vento em sistema de aspersão fixa4
- Figura 2.1. Croqui da área experimental: (A) espaçamento entre coletores (ruas e linhas) 1 x 1m, entre aspersores 6 x 9m, (B), 1,5 x 1,5m entre coletores, e aspersores nos espaçamentos (12 x 12m), coletores (amarelo) aspersores (preto) 14
- Figura 2.2. Perdas por evaporação e arraste pelo vento em função das condicionantes climáticas: Velocidade do vento (C , $m\ s^{-1}$), umidade relativa do ar (UR , %), temperatura média do ar (T_{med} , $^{\circ}C$), Irradiância solar ($kJ\ m^{-2}$), pressão atmosférica (P , kPa) e o déficit de pressão de vapor (Δe , kPa), para 108 avaliações, no período de setembro de 2015 a julho de 2016..... 19
- Figura 2.3. Valores de perdas observados (%), em função do modelo de aspersor, horário de avaliação e pressão de serviço do aspersor para o período de setembro de 2015 a julho de 2016.21
- Figura 2.4. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942) em função da pressão de serviço (kPa), modelo de aspersor e horário de avaliação ..22
- Figura 2.5. Distribuição espacial das lâminas de água coletadas para melhor resultado do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), para o

aspersor MC20, no horário de 21h00min, classificado como “Excelente”, e menor valor para o aspersor ZM8503, no horário de 12h00min, classificado como “Inaceitável”	23
Figura 2.6.Valores de perdas estimados (EA) em função do modelo proposto por Beskow et al. (2011), Playán et al. (2005), Tarjuelo et al. (2000), Trimmer (1987) e Yazar (1984), comparação entre tipo de aspersor, coeficiente de determinação (r), índice de Willmott (d) e índice de confiança e desempenho (c).	25
Figura 2.7.Resposta do índice de confiança e desempenho (c), índice de Willmott (d) e coeficiente de correlação (r), para os valores de perdas estimados (EA) em função dos valores de perdas observados (PEAV), para o modelo de aspersor MC20.....	28
Figura 2.8.Resposta do índice de confiança e desempenho (c), índice de Willmott (d) e coeficiente de correlação (r), para os valores de perdas estimados (EA) em função dos valores de perdas observados (PEAV), para o modelo de aspersor NY12	28
Figura 2.9.Resposta do índice de confiança e desempenho (c), índice de Willmott (d) e coeficiente de correlação (r), para os valores de perdas estimados (EA) em função dos valores de perdas observados (PEAV), para o modelo de aspersor ZM8503	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Relação de participação em autoria e coautoria em artigos, sobre perdas por evaporação e arraste pelo vento	6
Tabela 1.2. Numero de citações por artigos.....	7
Tabela 1.3. Nome do periódico, número de artigos, classificação “qualis” e ISSN	7
Tabela 2.1. Modelos matemáticos para estimativa de perdas de água durante a irrigação por aspersão.....	15
Tabela 2.2. Valores máximos e mínimos das condições atmosféricas observados no período de setembro de 2015 a julho de 2016 nos diferentes horários de avaliação	18

RESUMO

GALOTE, Jean Karlos Barros; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Julho de 2016; **Perdas por evaporação e arraste pelo vento em sistemas de irrigação por aspersão fixa**; Orientador: Robson Bonomo.

A busca de informações sobre as perdas por evaporação e arraste (PEAV), em sistema de irrigação por aspersão fixa, permitiu o uso da bibliometria para a disseminação das informações existentes sobre as pesquisas ligadas a instituições de ensino brasileiras, referentes à PEAV de aspersores de pequeno e médio porte. Foram realizadas pesquisas em periódicos indexados nas bases ISI, Scopus, Scielo, Google Acadêmico, utilizando como fontes de acesso “PERIÓDICOS CAPES” e Google Acadêmico. Como método de pesquisa foi utilizado as palavras-chaves sprinkler, losses wind drift, evaporation, modeling, aspersor, perdas por evaporação, arraste pelo vento e deriva, como foco principal do estudo, podendo estar contidas nos títulos e ou especificados nos resumos. Os resultados foram transformados em uma base de dados multidimensional que permite, por meio de análise estatística, a geração de indicadores históricos do assunto. Sendo identificados 7 artigos publicados no período de 1999 a 2013, envolvendo 8 instituições de ensino e pesquisa brasileiras e 28 autores. Com os recursos hídricos cada vez mais escassos, em função das adversidades climáticas da última década o uso eficiente da água por meio da irrigação torna-se imprescindível para a

agricultura moderna, haja vista as constantes mudanças climáticas, a alternância nos regimes hídricos, e a necessidade cada vez maior do uso consciente e sustentável da água. A agricultura é responsável por grande parte de seu uso e desperdício e mesmo em sistemas de irrigação bem manejados, as perdas são inerentes em função das condições meteorológicas locais. O conhecimento das características de funcionamento do aspersor, bem como das condicionantes atmosféricas (vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar, e o déficit de pressão de vapor) na área destinada à irrigação permite a adequação de um sistema mais eficiente. As perdas ocorrem por evaporação da gotícula aspergida, e por arraste pelo vento. Com base no exposto objetivou-se neste trabalho a análise de desempenho, quantificando as perdas de água por evaporação e arraste, dos aspersores: Zm[®]8503, Plasnova[®] MC-20, Asperjato[®] Junior NY12, operando sobre as pressões de serviço de 155, 207, 258 e 310 kPa, por intervalo de tempo de irrigação de 60 minutos, em diferentes horários de funcionamento (04h00min, 12h00min, 21h00min) abrangendo os períodos secos e chuvosos do ano e que apresentavam condições atmosféricas distintas. Os valores observados foram comparados com os valores estimados por métodos empíricos propostos por Yazar (1984), Trimmer (1987), Tarjuelo et al. (2000), Playán et al. (2005) e Beskow et al. (2011). Para os testes a campo verificou-se perdas de 0,0 a 64,7%. As perdas variaram com uma média de 18,3%. Para o horário das 4h00min as perdas variaram de 0,0 a 25,1%, para o horário das 12h00min, variaram de 9,7 a 64,7% e para o horário das 21h00min variaram de 0,0 a 17,7%. Os modelos empíricos utilizados não obtiveram bons ajustes, apresentando índices de confiança e desempenho (c) variando de “péssimo” ($c \leq 0,40$) a “mediano” ($0,61 \leq c \leq 0,65$). O modelo proposto, neste trabalho, para o aspersor MC20 apresentou (c) de 0,89, para o aspersor NY12 o (c) foi de 0,96 para o aspersor ZM8503 o (c) foi de 0,92, sendo classificados como “ótimo” ($c \geq 0,85$).

Palavras-chave: Uniformidade, eficiência, bibliometria

ABSTRACT

GALOTE, Jean Karlos Barros; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; July, 2016; **Evaporation losses and drift the wind under sprinkler irrigation systems fixed**; Advisor: Robson Bonomo.

The search for information on evaporation losses and wind drift (PEAV) in fixed sprinkler irrigation system allowed the use of bibliometrics for the dissemination of existing information on research related to Brazilian educational institutions, referring to PEAV sprinkler small and medium businesses. Surveys were conducted in journals indexed in the ISI, Scopus, Scielo, Google Scholar, using as sources of access "PERIODIC CAPES" and Google Scholar. As a research method was used keywords sprinkler, wind drift losses, evaporation, modeling, spray, evaporation losses, drag the wind and drift, as the main focus of the study, which may be contained in the titles and summaries or specified. The results were processed in a multidimensional database that allows, by means of statistical analysis, generating historical indicators of the subject. Being identified 7 articles published from 1999 to 2013, involving 8 educational institutions and Brazilian research and 28 authors. With water resources becoming increasingly scarce, due to climatic adversities of the past decade the efficient use of water through irrigation becomes essential to modern agriculture, given the constant climate changes, switching the water regimes, and increasing need of conscious and sustainable use of water. Agriculture is responsible

for much of its use and waste and even in well-managed irrigation systems, losses are inherent depending on local weather conditions. Knowledge of sprinkler operating characteristics and atmospheric conditions (wind, relative humidity, air temperature, and the vapor pressure deficit) in the area for irrigation allows the suitability of a more efficient system. The losses occur due to evaporation of sprayed droplet, and the wind drift. Based on the above objective of this work performance analysis, quantifying the loss of water by evaporation and wind drift the sprinklers: Zm "8503, Plasnova© MC-20, Asperjato© Junior NY12, operating on the service pressures 155, 207, 258 and 310 kPa, irrigation interval of 60 minute, at different working hours (04h00min, 12h00min, 21h00min) covering the dry and wet periods of the year and had different weather conditions. The observed values were compared with the values estimated by empirical methods proposed by Yazar (1984), Trimmer (1987), Tarjuelo et al. (2000), Playán et al. (2005) and Beskow et al. (2011). For the field tests verified losses from 0.0 to 64.7%. The losses vary with an average of 18.3%. For the time of 4h00min losses ranged from 0.0 to 25.1% for the time from 12h00min ranged from 9.7 to 64.7% and the time of 21h00min ranged from 0.0 to 17.7% . The empirical models used did not obtain good fits, with confidence indexes and performance (c) ranging from "very poor" ($c < 0.40$) the "average" ($0.61 < c < 0.65$). The model proposed in this work to the sprinkler MC20 presented (c) 0.89, for the sprinkler NY12 (c) was 0.96 for the sprinkler ZM8503 (c) was 0.92, being classified as "great" ($c > 0.85$).

Keywords: Uniformity, efficiency, bibliometrics

1 CAPÍTULOS

1.1. BIBLIOMETRIA SOBRE PERDAS POR EVAPORAÇÃO E ARRASTE PELO VENTO EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA

“Preparado de acordo com as normas do periódico Irriga”

1 RESUMO

A bibliometria permite compreender a disseminação das informações existente sobre um determinado assunto. Em função das constantes mudanças climáticas, a alternância nos regimes hídricos, é cada vez mais necessário o uso consciente e sustentável da água em que a agricultura é responsável por grande parte de seu uso e desperdício. Buscou-se por meio das técnicas de bibliometria as informações sobre as pesquisas desenvolvidas em instituições brasileiras, com relação às perdas por evaporação e arraste pelo vento em sistema de irrigação por aspersão fixa, de pequeno e médio porte. A pesquisa foi realizada em periódicos indexados nas bases ISI, Scopus, Scielo, Google Acadêmico, utilizando como fontes de acesso “PERIÓDICOS CAPES” e Google Acadêmico. Nos artigos eleitos para a pesquisa deveriam constar, como foco principal do estudo, as palavras *sprinkler, losses wind drift, evaporation, modeling*, aspersor, perdas por evaporação, arraste pelo vento e deriva, podendo estar contidos nos títulos e ou especificados nos resumos ou nas palavras-chave. As informações obtidas foram inseridas em um banco de dados, submetidos às análises estatísticas de georreferenciamento. No Brasil, o estudo é recente com início em 1991, sendo a Universidade Federal de Campina Grande, PB, a responsável por grande parte dos autores citados e o artigo de maior impacto com 12 citações pertencente a Conceição e Coelho (2003).

Palavras-chave: Recurso hídrico, manejo, deriva, coeficiente de uniformidade

2 ABSTRACT

Bibliometry allows us to understand the dissemination of existing information on a particular subject. Due to the constant climate changes, switching the water regimes, is increasingly necessary, conscious and sustainable use of water in agriculture is responsible for much of its use and waste. Sought by means of bibliometric techniques information about the research developed in Brazilian institutions, with respect to evaporation losses and drag the wind in fixed sprinkler irrigation system, small and medium. The survey was conducted in journals indexed in the ISI, Scopus, Scielo, Google Scholar, using as a source of access "PERIODIC CAPES" and Google Scholar. Articles chosen for research should be included, as principal focus of the study, the sprinkler words, losses wind drift, evaporation, modeling, spray, evaporation losses, drag the wind and drift, which may be contained in the securities and or specified in the summaries or in keywords. The information obtained was inserted into a database submitted to statistical analysis of georeferencing. In Brazil, the study is recent beginning in 1991, and the Federal University of Campina Grande, PB, responsible for most of these authors and the greater impact of Article 12 citations belonging to Conceição and Coelho (2003).

Keywords: water resource, management, drift, uniformity coefficient

3 INTRODUÇÃO

A bibliometria consiste de uma técnica quantitativa e estatística de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico (ARAÚJO, 2006), compreendendo ao campo das áreas de biblioteconomia e ciência da informação. Por meio dos seus resultados, essa técnica permite a geração de indicadores sobre a evolução da informação pesquisada, no âmbito local, regional, nacional e em nível mundial.

Por meio de modelos matemáticos propostos por Lotka (1926, apud ARAUJO 2007), Brandfor (1934 apud ARAUJO 2007) e Zipf (1949 apud ARAUJO 2007), a produtividade individual e coletiva entre autores são relacionadas, permitindo conhecer a dispersão da informação publicada em periódicos e sua frequência usual em citações.

O uso da irrigação na agricultura remete aos primórdios da civilização, havendo registros históricos de uso dessa técnica por parte dos egípcios e babilônios. As civilizações hidráulicas, ou seja, aquelas que já realizavam algum controle da água foram as pioneiras no desenvolvimento da agricultura irrigada. Atualmente os métodos de irrigação são classificados em pressurizados em que a água é conduzida por tubulações submetidas à pressões diferentes que as atmosféricas, e os não pressurizados, nos quais a água é distribuída, em canais ou dutos abertos, por diferença de nível na parcela a ser irrigada. Os sistemas pressurizados podem ser classificados em: aspersão e microirrigação (MANTOVANI, 2001), sendo a aspersão fixa, a mais usual nas atividades agrícolas em função das condições presentes no estado do Espírito Santo (BONOMO e REIS, 2013).

Mesmo em sistemas bem manejados, as perdas de água podem ocorrer em função das características operacionais (pressão de serviço, tipos de bocais dos aspersores), acarretando em uma maior pulverização das gotículas de água. Concomitantemente as condições atmosféricas (velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, temperatura da água, e do ar) no momento de irrigação, podem favorecer a ocorrência da evaporação da gotícula de água aspergida, em forma de ascensão de vapor, e/ou seu arraste pelo vento, para fora da área alvo de irrigação (KELLER e BLIESNER, 1990; CARRIÓM et al., 2001; SILVA e SILVA, 2003; SOUZA, et al., 2005).

O conhecimento científico disponíveis em periódicos indexados, nas bases ISI, Scopus, Scielo e Google Acadêmico, oriundo de pesquisa de autores ligados a instituições de ensino brasileiras, sobre os estudos das perdas por evaporação e arraste pelo vento em sistemas de irrigação por aspersão fixa e modelagem estatística é o objetivo deste trabalho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As atividades foram desenvolvidas na Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), Campus de São Mateus.

A principal fonte de pesquisa dos artigos foi a plataforma Periódicos Capes, sendo eleita as bases ISI, Scopus, Scielo, bem como a base e ferramenta de busca Google Acadêmico.

Os critérios de seleção ocorreram em virtude de: (a) temas (irrigação, *irrigation*, perdas evaporação e por arraste pelo vento, *evaporation losses and wind drift*, aspersor, *sprinkler*), constarem como foco principal do trabalho; (b) um dos autores estar vinculado à instituição de ensino e pesquisa brasileira, (c) o estudo ser realizado nas condições climáticas brasileiras e (d) constar nas bases de pesquisa selecionadas.

Os dados foram tabulados em planilha eletrônica, utilizada como banco de dados, e submetidos à análises estatísticas, permitindo a geração de gráficos, e mapas, com indicadores sobre produtividade e dispersão de informação.

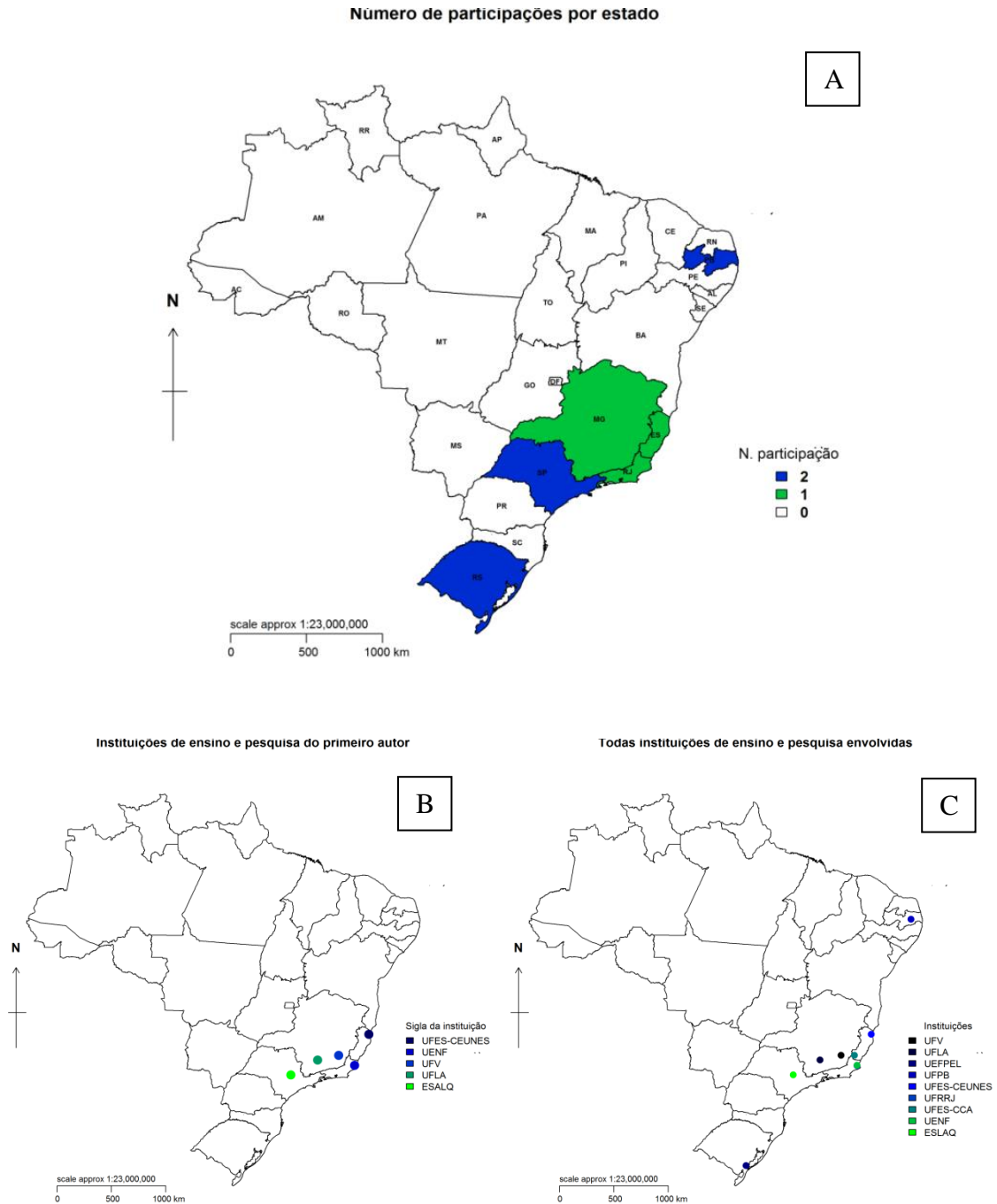
As análises foram realizadas no pacote estatístico R (R CORE TEAM, 2016) e os mapas nos pacotes Maptools (BIVAND e LEWIN-KOH, 2016) e Plotrix (LEMON, 2006), com base em arquivos (SHAPEFILE) disponibilizados no site do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE).

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

A distribuição de artigo sobre perdas por evaporação e arraste pelo vento, em função do estado da Federação, instituição de ensino e pesquisa vinculados ao autor principal, e todas instituições envolvidas, são apresentados na Figura 1. Foram identificados 6 estados da Federação com maior participação nas produções técnicas-científicas sobre as perdas por evaporação e arraste pelo vento (PEAV) em sistema de irrigação por aspersão fixa de baixo e médio porte (Figura 1A). O estado de Pernambuco (Figura 1A) é responsável pela participação de 2 coautores na publicação de artigos sobre as PEAV, representando a instituição de ensino e pesquisa Universidade Federal da Paraíba (UFPB) (Figura 1C), o estado do Rio Grande do Sul também figura a participação em coautoria nas publicações, com 2 autores ligados a Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) (Figura 1C).

As instituições de ensino ligadas aos autores principais dos artigos são: a Universidade Federal do Espírito Santo – Centro Universitário Norte do Espírito Santo (UFES-CEUNES), a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) (Figura 1B).

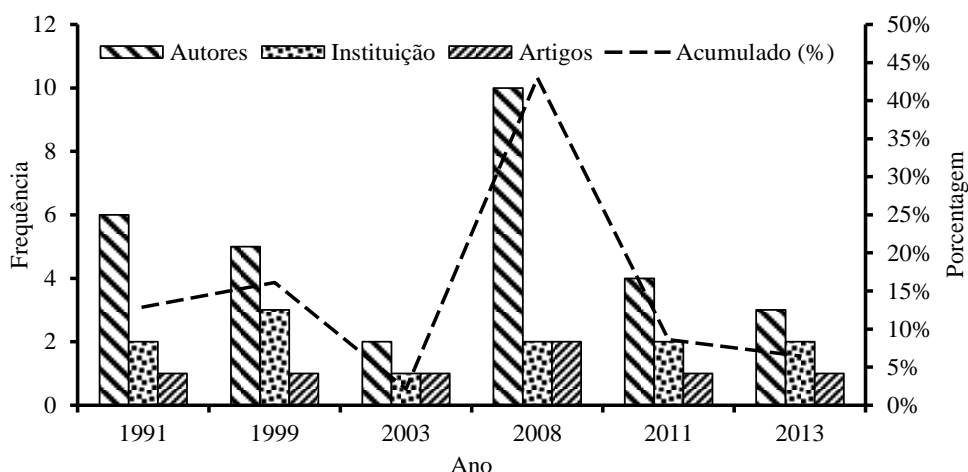
Figura 1. Distribuição dos artigos sobre Perdas por evaporação e arraste pelo vento em função do número de participações por estado da Federação (A); das instituições de ensino e pesquisa vinculadas ao primeiro autor (B) e total de instituições de ensino e pesquisa envolvidas (C)



Fonte: Elaborado pelo autor.

A relação do número de autores, artigos e instituições de ensino e pesquisa em função do ano de publicação são apresentados na Figura 2. Ao todo foram eleitos 7 artigos que atendiam as exigências, envolvendo 9 instituições de ensino e pesquisa, com um total de 23 autores envolvidos (Figura 2).

Figura 2. Número de autores, periódicos, artigos e instituições por ano de publicação



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Brasil os artigos que atendiam as exigências são encontrados a partir de 1991, com a publicação de 1 artigo de Paz et al. (1991), que realizaram estudo sobre as perdas de água na irrigação por aspersão para as condições do projeto de irrigação São Gonçalo, na Paraíba. A partir dos dados coletados, os autores ajustaram um modelo matemático para a estimação das PEAV em função das condições climáticas locais: $PEV = -17,034 + 6,075 \times (\text{altura do tubo de elevação} - m^{-1} \text{ "ALT"}) - 0,659 \times (\text{umidade relativa média do ar} - \% \text{ "UR"}) + 10,168 \times (\text{velocidade média do vento a 2 metros de altura "V"}) - 0,151 \times (V \times UR) + 0,048 \times (\text{temperatura média do ar} \times UR) - 0,125 \times (ALT \times UR)$ ($R^2: 0,80$).

No ano de 1999, a publicação de Azevedo et al. (1999), fez uma abordagem da influência dos elementos do clima no desperdício de energia em sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. A umidade relativa do ar, a velocidade do vento, a pressão de serviço, e a radiação, (ordenado da maior influência para a menor) demonstraram ser os principais fatores responsáveis pelas perdas.

Em 2003, novo estudo avaliou o efeito do vento na distribuição de água em microaspersores (CONCEIÇÃO e COELHO, 2003). Os testes foram realizados na fazenda experimental em Piracicaba-SP, e permitiram a estimação das perdas por meio do software SIRIAS, para os modelos de microaspersores testados. As perdas variaram de 17,1 a 30,2%, quando os dados simulados pelos modelos lineares ($0,619 \leq R^2 \leq 0,880$) foram comparados com os obtidos a campo.

As publicações retornam em 2008 com 2 artigos publicados. No primeiro relacionado ao estudo das perdas de água por evaporação e arraste na irrigação por aspersão em condições climáticas de Lavras-MG, Beskow et al. (2008a) utilizaram três modelos de aspersores de impacto de tamanho médio, (Agropolo NY-7 com bocais de 4,6 x 4mm e ângulo de inclinação 7°, Agropolo NY-12, com bocal 3,5mm e ângulo 12° e o aspersor Naan com bocal de 3,0mm e ângulo 12°) e compararam as perdas com base em um aspersor por linha lateral e vários aspersores por linhas laterais. Foram observadas perdas variando de 8,5 a 40,3% para testes com um único aspersor e 4,7 a 20,2% com o sistema operando com vários aspersores nas linhas laterais.

O segundo artigo publicado apresentou um estudo simulando as PEAV em um sistema de irrigação operando sob as pressões de serviço de 245, 294 e 343 kPa, utilizando aspersor Agropolo NY-7, com bocais de 4,6x4,0mm (BESKOW et., 2008b). As perdas obtidas com base em um único aspersor e de vários aspersores foram comparadas com as perdas simuladas modelos empíricos. Foi possível ajustar um modelo de estimação de PEAV, com boa

aplicabilidade com raiz do erro quadrado médio (REQM) de 4,47% para testes com um único aspersor e 1,81%, para testes com vários aspersores nas linhas laterais.

Beskow et al. (2011) confeccionaram um modelo matemático para a estimação das perdas por evaporação e arraste pelo vento em aspersores de média pressão, comparando-o com modelos propostos por Yazar (1984), Trimmer (1987), Seginer et al. (2001), Tarjuelo et al. (2000) e Playán et al. (2005). De acordo com o índice de confiança e desempenho (CAMARGO e SENTELHAS, 1997), os modelos disponíveis apresentaram classificações como “péssimo” ($c \leq 0,40$), ou no máximo “sofrível” ($0,51 \leq c \leq 0,60$), enquanto o modelo proposto por Beskow et al. (2011) apresentou um índice de confiança e desempenho variando de “bom” ($0,66 \leq c \leq 0,75$), a “muito bom” ($0,76 \leq c \leq 0,85$).

Saraiva et al. (2013) estudaram as perdas, por evaporação e arraste pelo vento em aspersores de pequeno porte, muito comuns na região norte do Espírito Santo (BONOMO e REIS, 2013), testando o sistema operando sob as pressões de serviço de 200, 250, 300 e 350 kPa, em diferentes horas do dia (5h00min, 13h00min e 21h00min). Comparando os valores obtidos com os estimados por meio de modelos empíricos, os autores observaram que as perdas em campo foram inferiores a 4%, enquanto os modelos empíricos não apresentaram bom desempenho na estimação dos resultados.

Na Tabela 1, pode se observar a participação individual por autor e o número de artigos publicados por autor ou que apresentou em sua coautoria.

Tabela 1. Relação de participação em autoria e coautoria em artigos, sobre perdas por evaporação e arraste pelo vento

Autores	Autoria						Total de participação em artigos
	Primeiro	Segundo	Terceiro	Quarto	Quinto	Sexto	
Azevedo, H.M.	1	-	-	-	1	-	2
Bernardo, S.	-	2	-	-	-	-	2
Beskow, S.	3	-	-	-	-	-	3
Bonomo, R.	-	1	-	-	-	-	1
Cecon, P.R.	-	-	-	-	1	-	1
Coelho, R.D.	-	1	-	-	-	-	1
Colombo, A.	-	2	1	-	-	-	3
Conceição, M. A. F.	1	-	-	-	-	-	1
Faria, L. C.	-	1	-	-	-	-	1
Ferreira, L. S.	-	-	-	1	-	-	1
Moura, D. C. M	-	-	-	1	-	-	1
Paz, P. V.	1	-	-	-	-	-	1
Pereira, G. M.	-	-	1	-	-	-	1
Ramos, M. M.	-	-	-	2	-	-	2
Regazzi, A. J.	-	-	-	-	-	1	1
Ribeiro, M. S.	-	-	1	-	-	-	1
Ricardo, C. M.	-	-	-	-	1	-	1
Rossi, R.	-	-	-	-	1	-	1
Saraiva, G. S.	1	-	-	-	-	-	1
Sedyama, G. C.	-	-	2	-	-	-	2
Souza, J. M.	-	-	-	1	-	-	1
Taveira, J. H. S.	-	-	-	-	1	-	1

Fonte: Paz et al. (1991), Azevedo et al. (1999), Conceição et al. (2003), Beskow et al. (2008a, 2008b, 2011) e Saraiva et al. (2013).

O número de citações por artigos são apresentados na Tabela 2, em destaque para os trabalhos de Conceição e Coelho (2003) com 12 citações em artigos, seguidos por Beskow et al. (2008b); Beskow et al. (2011), com 11 citações em artigos respectivamente. Já o número de periódicos, número de publicações por periódico, e classificação QUALIS – CAPES, são apresentados na Tabela 3. Sendo os 7 artigos distribuídos em 6 periódicos (Tabela 2), em destaque para o periódico Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, com dois artigos disponíveis, seguidos por: Engenharia Agrícola, Irriga, Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Revista Ceres e Scientia Agricola com 1 artigo cada.

Tabela 2. Numero de citações por artigos

Artigos	Autores/Ano	N. de citações¹
Perdas de água na irrigação por aspersão, para as condições do projeto de irrigação São Gonçalo, Paraíba	Paz et al. (1991)	2
Influência de elementos do clima no desperdício de energia em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão	Azevedo et al. (1999)	2
<i>Simulating wind effect on microsprinkler water distribution</i>	Conceição e Coelho (2003)	12
Perdas de água por evaporação e arraste na irrigação por aspersão nas condições climáticas de Lavras – MG, utilizando aspersores de tamanho médio	Beskow et al. (2008a)	4
Simulação das perdas de água por evaporação e arraste, no aspersor NY-7 (4,6 mm x 4,0 mm), em sistemas de aspersão convencional	Beskow et al. (2008b)	11
Modelagem das perdas de água por evaporação e arraste em aspersores de média pressão	Beskow et al. (2011)	11
Perdas de água por evaporação e arraste pelo vento, em sistemas de aspersão fixa, norte do Espírito Santo	Saraiva et al. (2013)	1

1 – Fonte: google acadêmico.

Tabela 3. Nome do periódico, número de artigos, classificação “qualis” e ISSN

Periódicos	N. artigos	QUALIS*	ISSN
Engenharia Agrícola	1	B1	0100-0916
Irriga	1	B2	1808-8546
Revista Brasileira de Agricultura Irrigada	1	B5	1982-7679
Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	2	B1	1807-1929
Revista Ceres	1	B1	2177-3491
Scientia Agricola	1	A1	0103-9016

* segundo classificação 2014.

6 CONCLUSÃO

Os estudos no Brasil a respeito de PEAV em aspersão fixa de pequena e média vazão datam de 1991 a 2013.

O artigo de maior impacto em função do número de citações é o produzido por Conceição e Coelho (2003) sobre a simulação do efeito do vento na distribuição de água em microaspersores, com 12 citações em artigos.

O principal autor em autoria e participação em coautoria, é Beskow, S. com 3 artigos publicados.

Não há até a presente data, artigos ligados a instituições brasileiras de ensino e pesquisa sobre o estudo de perdas por evaporação e arraste pelo vento em sistema de aspersão fixa, publicados em periódicos internacionais.

O periódico Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental apresenta o maior número de artigos publicados.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Fundo de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa, ao centro universitário norte do Espírito Santo pelo suporte técnico.

8 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, 2006, p.11-32.

AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. Influência de elementos do clima no desperdício de energia em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 1999, p.336-341.

BESKOW, S.; COLOMBO, A.; PEREIRA, G. M.; TAVEIRA, J. H. D. S.; RICARDO, C. M. Perdas de água por evaporação e arraste na irrigação por aspersão nas condições climáticas de Lavras-MG, utilizando aspersores de tamanho médio. **Irriga**, Botucatu, 2008a, p.113-127.

BESKOW, S.; COLOMBO, A.; RIBEIRO, M. S.; FERREIRA, L. S.; ROSSI, R. Simulação das perdas de água por evaporação e arraste, no aspersor ny-7 (4,6 mm x 4,0 mm), em sistemas de aspersão convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 2008b, p.427-437.

BESKOW, S.; FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; MOURA, D. C. M. D. Modelagem das perdas de água por evaporação e arraste em aspersores de média pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 2011, p.221-228.

BIVAND, R.; LEWIN-KOH, N. **maptools**: Tools for Reading and Handling Spatial Objects. R package version 0.8-39, 2016.

BONOMO, R.; REIS, E. F. Irrigação do Conilon: Manejo de irrigação. In: PARTELLI, F. L.; OLIVEIRA, M. G.; SILVA, M. B. **Café Conilon: Qualidade, Adubação e Irrigação**. São Mateus, 2013.

- BRADFORD, S. C. Sources of information on specific subjects. **Engineering**, 1934, p.85-86. In: ARAÚJO, C. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, 2006, p.11-32.
- CAMARGO, A. P. D.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 1997, p.89-97.
- CARRIÓM, P.; TARJUELO, J.; MONTERO, J. SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation. **Irrigation Science**, 20, 2001, p.73-84.
- CONCEIÇÃO, M. A. F.; COELHO, R. D. Simulating wind effect on microsprinkler water distribution. **Scientia Agricola**, Piracicaba, 2003, p.205-209.
- KELLER, J. ; BLIESNER, R. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
- LEMON, J. **Plotrix**: a package in the red light district of R, 2006.
- LOTKA, A. J. The frequency of distribution of scientific productivity. **Journal of the Washington Academy of Sciences**, Washington, 1926, p.317-323. In: ARAÚJO, C. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, 2006, p.11-32.
- MANTOVANI, E. C. **AVALLIA**: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, 2001.
- PAZ, V. P. D. S.; BERNARDO, S.; SEDIYAMA, G. C.; RAMOS, M. M.; AZEVEDO, H. M. D.; REGAZZI, A. J. Perdas de água na irrigação por aspersão, para as condições do projeto de irrigação São Gonçalo, Paraíba. **Revista CERES**, Viçosa, 1991, p.117-124.
- PLAYÁN, E.; SALVADOR, R.; FACI, J.; ZAPATA, N.; MARTÍNEZ-COB, A.; SÁNCHEZ, I. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. **Agricultural Water Management**, 2005, p.139-159.
- SARAIVA, G. S.; BONOMO, R.; SOUZA, J. M. Perdas de água por evaporação e arraste pelo vento, em sistemas de aspersão fixa, norte do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 2013, p.235-427.
- SEGINER, I.; KANTZ, D.; NIR, D. The distortion by wind of the distribution patterns of single sprinklers. **Agricultural Water Management**, 1991, p.341-359.
- SILVA, R. A.; SILVA, A. M. Avaliação das características hidráulicas do microdifusor autocompensante Dan Jet 7200. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, 2003, p.873-878.
- SOUZA, J. A. R.; DENICULI, W.; BATISTA, R. O.; VAL, J. C. C.; ATOS, A. T. Caracterização hidráulica de microaspersor aplicando água limpa, água residual de avicultura e de bovinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Vicosa, 2005, p.161-172.

TARJUELO, J.; ORTEGA, J.; MONTERO, J.; JA, J. Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. **Agricultural Water Management**, 2000, p.263-284.

R CORE TEAM R. R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>, Acesso em: 12 de julho de 2016.

TRIMMER, W. L. Sprinkler evaporation loss equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 1987, p.616-620.

YAZAR, A. Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, 1984, p.439-449.

ZIPF, G. K. **Human behavior and the principle of least effort**. Cambridge, 1949. In: ARAÚJO, C. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, 2006, p.11-32.

1.2 QUANTIFICAÇÃO E ESTIMATIVA DAS PERDAS POR EVAPORAÇÃO E ARRASTE PELO VENTO, EM DIFERENTES CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E DE OPERAÇÃO, EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO FIXA

“Preparado de acordo com as normas do periódico Irriga”

1 RESUMO

Com os recursos hídricos cada vez mais escassos, em função das adversidades climáticas da última década, além de uma demanda crescente por parte da agricultura, o uso eficiente da água por meio da irrigação torna-se imprescindível para a agricultura moderna. Mesmo em sistema de irrigação bem manejado, as perdas, podem ocorrer em função das condições operacionais e meteorológicas locais. O conhecimento das características de funcionamento do aspersor, bem como das condicionantes atmosféricas (vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor) na área destinada à irrigação permite a adequação de um sistema mais eficiente de fornecimento de água. Na irrigação por aspersão, perdas ocorrem por evaporação da gotícula aspergida, e por arraste pelo vento. Com base no exposto, objetivou-se neste trabalho a análise de desempenho, quantificando as perdas de água por evaporação e arraste (PEAV), dos aspersores: Zm[®] 8503, Plasnova[®] MC-20, e Asperjato[®] Junior NY 12, operando sobre pressões de serviço de 155, 207, 258 e 310 kPa em diferentes condições atmosféricas (04h00min, 12h00min, 21h00min) em períodos secos e chuvosos. Os valores observados foram comparados aos estimados por métodos empíricos. Em campo, as perdas variaram de 0,0 a 64,7%. Para as 4h00min, 12h00min e 21h00min as perdas variaram de 0,0 a 25,1%; 9,7 a 64,7% e 0,0 a 17,7% respectivamente. Não houve ajuste satisfatório pelos modelos empíricos sugeridos na literatura. Os três modelos de estimativa proposto neste trabalho apresentaram índice de confiança e desempenho (c) acima de 0,86, sendo classificados como “ótimo” (c > 0,85), sendo adequados para estimativa da PEAV em condições semelhantes as testadas.

Palavras-chave: Eficiência, modelos empíricos, economia.

2 ABSTRACT

With water resources becoming increasingly scarce, due to climatic adversities of the past decade, in addition to a growing demand from agriculture, efficient use of water through irrigation becomes necessary for modern agriculture. Even in well-managed irrigation system, losses may occur in accordance with the operational and local weather conditions. The knowledge of the operating characteristics of the sprinkler, as well as atmospheric conditions (wind, relative humidity, air temperature, vapor pressure deficit) in the area for irrigation allows the suitability of a more efficient system of water supply. In sprinkler irrigation, losses occur by evaporation of sprayed droplet, and wind drift. Based on the above, the objective of this work was the performance analysis, quantifying the loss of water by evaporation and wind drift (PEAV), the sprinklers: Zm" 8503, Plasnova© MC-20, and Asperjato© Junior NY 12, operating on operating pressures of 155, 207, 258 and 310 kPa at different atmospheric conditions (04h00min, 12h00min, 21h00min) in dry and rainy periods. The observed values were compared with those estimated by empirical methods. In the field, the losses ranged from 0.0 to 64.7%. For 4h00min, 12h00min and 21h00min losses ranged from 0.0 to 25.1%; 9.7 to 64.7% and from 0.0 to 17.7% respectively. There was no satisfactory adjustment by empirical models suggested in the literature. The three models proposed estimate this work showed confidence and performance index (c) above 0.86 and were classified as "excellent" (c > 0.85), and suitable for estimating PEAV under similar conditions tested.

Keywords: Efficiency, empirical models, economy.

3 INTRODUÇÃO

A água é o bem de maior importância e principalmente na atividade agrícola, seu uso requer responsabilidade. O uso na irrigação é milenar e o desenvolvimento de novos métodos e equipamentos para a agricultura é cada vez mais frequente. A utilização da irrigação permite a intensificação da produção agrícola, permitindo produção na entressafra, além de reduzir as incertezas de produtividade ao produtor irrigante em períodos de estiagem. A irrigação possibilita o plantio em áreas antes não recomendadas, devido à escassez hídrica (SANTINATO et al., 2008).

Um sistema de irrigação bem manejado permite ao produtor fornecer em quantidade adequada, o volume de água necessário para o bom desenvolvimento da cultura, garantindo assim uma boa produtividade (MANTOVANI et al., 2000).

Para o correto dimensionamento de um sistema de irrigação é necessário o conhecimento e avaliação criteriosa das características dos emissores (SILVA et al., 2003; SOUZA et al., 2005), sendo suas principais características, a pressão de serviço, os tipos de bocais e ângulo de saída do jato de água (CARRIÓN et al., 2001), além das características da incidência de ventos, tais como sua direção e velocidade média. Keller e Bliesner (1990) ressaltam também a influência da altura do aspersor.

Diferentes coeficientes estatísticos são empregados na avaliação do desempenho de sistemas de irrigação quanto a distribuição da água, dentre eles o coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942) (CUC), o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e o coeficiente de uniformidade estatístico (Us) (FARIA et al, 2016). A uniformidade influencia o custo do sistema de irrigação, bem como o desempenho da cultura, pois áreas em que o sistema apresenta baixa uniformidade de aplicação proporcionarão o desenvolvimento desuniforme da cultura (SANTOS et al., 2003; BASTOS et al., 2014).

No sistema de irrigação por aspersão, o jato de água é fracionado em gotas ao atravessar o bocal com determinada pressão (KELLER e BLIESNER, 1990) e aplicado sobre

a superfície do terreno. Mesmo em sistemas bem manejados, perdas por evaporação e arraste pelo vento (PEAV) podem ocorrer estando diretamente associadas à pressão de serviço e diâmetro do bocal do aspersor. Além desses fatores, o desempenho do sistema, quanto a estas perdas, é altamente dependente das condições climáticas no momento da irrigação, principalmente pela umidade relativa e velocidade do vento (FROST e SCHWALEN 1955; YAZAR 1984; SMAJSTRLA e ZAZUETA 2003; OLIVEIRA et al., 2009).

Normalmente as perdas por evaporação não são maiores que 3% (THOMPSON et al., 1993; THOMPSON et al., 1997) mas podem atingir valores de 8% para diâmetros de gotículas de 0,3 a 3,0mm (LORENZINI, 2004).

A avaliação das perdas de água pelo sistema pode ser realizada diretamente em campo (MERRIAM e KELLER, 1978) ou obtida por meio de modelos matemáticos (Yazar, 1984; Trimmer, 1987; Seginer et al., 1991; Tarjuelo et al., 2000; Playán et al., 2005; Beskow et al., 2008b; Beskow et al., 2011). Porém alguns tendem a superestimar, e ou subestimar os efeitos a campo, haja vista o tipo de equipamento utilizado, a pressão avaliada, além do tamanho de gota aspergida.

McLean et al. (2000), relatam que, se por meio da deriva ou arraste pelo vento, ocorre um o maior acúmulo de água em uma parte da área, porém, desde que esta compreenda a área a ser irrigada, podem ser desconsideradas para o cálculo global de perdas, desde que o acúmulo não acarrete em uma percolação profunda abaixo da zona radicular da cultura, pois quando este fato ocorre, seus valores devem ser quantificados e são levados em consideração para o cálculo.

No estado do Espírito Santo, os sistemas de aspersão fixa são os mais comuns em lavouras cafeeiras (BONOMO e REIS, 2013) e utilizam normalmente aspersores que operam com baixa vazão (0,5 a 1,0 m³ h⁻¹) e média pressão (200 a 300 kPa), acarretando em baixa intensidade de aplicação e, por isso, necessitando maior tempo de irrigação (MANTOVANI et al., 2009).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar as perdas por evaporação e arraste pelo vento em eventos de irrigação com 3 modelos de aspersores, operando sob diferentes pressões de serviço, horário de funcionamento e condições atmosféricas. Bem como ajustar um modelo de estimação que possibilitem estimar as perdas em função das variáveis operacionais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo, no Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), localizada no município de São Mateus, região norte do estado do Espírito Santo, a 18°40'32''S, 39°51'39''W e 37,7m de altitude. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é seco sub-úmido, com temperaturas média variando de 25°C a 30°C no verão e 19°C a 21°C no inverno, com precipitação média anual de 1.200 mm (PEZZOPANE, et al., 2010).

Foram testados três modelos de aspersores, de uso mais comum na região, contemplando 3 diferentes mecanismos de giro, definidos por meio de consulta a revendedores de equipamentos para irrigação:

(a) aspersor ZM® modelo 8503 (ZM8503), similar ao aspersor Super 10 NaanDanJain, mecanismo de giro por track ball, bocal amarelo, vazão nominal de 570 L h⁻¹ 400, diâmetro molhado de 19 m, recomendado para uso nos espaçamentos de 12 x 12 metros a 6 x 9 m;

(b) microaspersor rotor Plasnova® MC-20 ½ (MC20), mecanismo de giro por reação da saída do jato na asa giratória, bocal vermelho de 2,4 mm, com vazão nominal de 398 L h⁻¹ à pressão de serviço de 294,2 kPa, diâmetro molhado de 12 m, e espaçamento recomendado

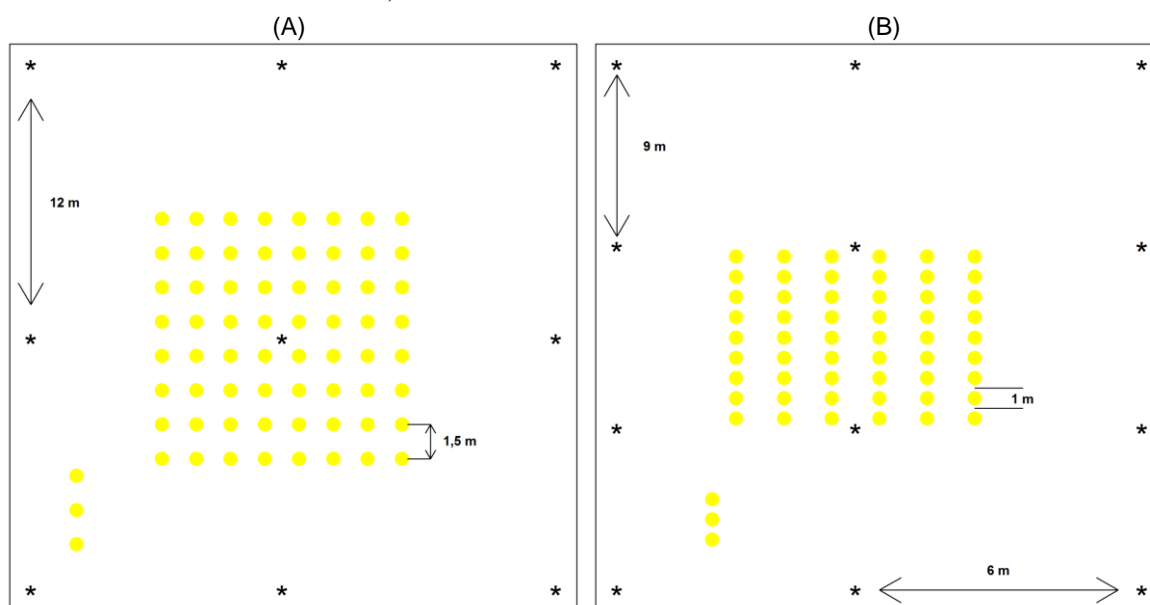
de 8 x 8m apesar de ser utilizado no espaçamento 9 x 6m para se ajustar ao espaçamento empregado no cafeeiro;

(c) aspersor de impacto Asperjato© Junior NY 12 (NY12), mecanismo de giro por impacto do jato de água no defletor, bocal duplo amarelo 2,50 x 2,50 mm, com vazões de 0,35 a 0,49m³ h⁻¹ para o bico 1, e 0,63 a 0,89m³ h⁻¹, para o bico 2, nas pressões variando de 200 a 400 kPa, diâmetro molhado de 22 m.

Foi utilizado sistema de irrigação por aspersão fixa, operando em dois espaçamentos: a) malha 12 x 12m, com 9 aspersores, sendo 3 linhas de aspersores, com 3 aspersores por linha, para os aspersores ZM8503 e NY12 (Figura 1A) e b) malha 9 x 6m, sendo três linhas de aspersores, com 4 aspersores por linha totalizando 12 aspersores, para o aspersor MC20 (Figura 1B).

A interceptação das lâminas durante o evento de irrigação as lâminas foram coletadas por recipientes de PVC com seção de captação de 50,1 cm² (pluviômetros), instalados em suporte com 25 cm de altura e em malha de 1,5 x 1,5 m, para os aspersores ZM8503 e NY12 (Figura 1A) e 1 x 1 m para o aspersor MC20 (Figura 1B).

Figura 1. Espaçamentos adotados entre aspersores e coletores (aspersores em preto e coletores em amarelo)



Fonte: Elaborada pelo autor.

O sistema de irrigação era abastecido por uma bomba centrífuga, que acionada durante 1 hora. A pressão era regulada na entrada dos aspersores por meio de manômetro de Bourdon, graduado de 0,0 – 6,0 kgf cm⁻² (0,0 – 620 kPa). Para o controle de pressão (aumento ou diminuição) de operação do aspersor, foram utilizadas válvulas no tubo de subida de cada emissor. Anteriormente à execução dos testes os mesmos foram testados individualmente, em laboratório, para caracterizar a relação pressão x vazão (MERRIAM et al., 1983; BESKOW et al., 2011; SARAIVA et al., 2013), sendo posicionado no centro da área o aspersor que apresentava vazão média do lote avaliado.

Para os aspersores ZM8503 e NY12, os coletores foram dispostos circundando o aspersor central (Figura 1A), que estava fixado ao sistema de irrigação a uma altura de 2 metros em relação ao nível do solo (MERRIAM e KELLER, 1978).

Os parâmetros meteorológicos (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, Irradiância solar global e precipitação) foram registrados a cada 5 min em uma estação automática instalada a 30 metros da área do experimento.

Para analisar o efeito climático sobre o evento de irrigação, foram realizados 3 testes para cada tipo de aspersor, em função do horário de avaliação e pressão de serviço, totalizando 36 testes por aspersor, os testes foram realizados em diferentes horários: 4h00min, 12h00min e 21h00min, em diferentes épocas do ano, compreendendo o período de setembro de 2015 a julho de 2016.

A quantificação da lâmina era realizada imediatamente após o término de irrigação, quando as amostras eram recolhidas e levadas para pesagem, em balança semi-analítica, para melhor precisão.

Para correção da evaporação ocorrida, durante o processo de aplicação de lâmina de água e leitura da mesma, adaptou-se metodologia proposta por Tarjuelo et al. (2000), pela qual os coletores foram disponibilizados dentro da área irrigada (Figura 1). Foi utilizada uma estrutura individual transparente sobre os coletores capaz de permitir a incidência de radiação luminosa, além de permitir a passagem de ar, por aberturas na parte inferior. Dessa forma os coletores expressaram de maneira mais eficiente o comportamento de evaporação em função do microclima local.

Cada recipiente recebeu um volume de 30 mL correspondente a uma lâmina de aproximadamente 6,0 mm, por evento de irrigação, sendo aferido por pesagem. Ao final de cada evento o volume era novamente mensurado. Com base na diferença de massa inicial e final, foi definida a taxa de evaporação adicional de 50% da média total obtida nos 3 recipientes.

Para os cálculos de perdas por evaporação e arraste utilizou-se da equação (1). Sendo a lâmina média aplicada calculada pela equação (2).

$$P_{EAV} = \frac{Lm_{aplic} - \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n}}{Lm_{aplic}} 100 \quad (1)$$

$$Lm_{aplic} = \frac{Vol}{A} \quad (2)$$

Sendo:

P_{EAV} - Perdas por evaporação e arraste pelo vento; Lm_{aplic} - lâmina média aplicada, mm; L_i - lâmina coletada em cada coletor, mm, n - número total de coletores. Vol - volume total aplicado L ; A - área coberta pelos aspersores, m^2 .

As $PEAV$ foram também estimadas pelos modelos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos para estimativa de perdas de água durante a irrigação por aspersão

Modelo proposto	Equação
Yazar (1984)	$EA = 0,003 \exp^{(0,20U)} (10\Delta e)^{0,59} T^{0,23} P_s^{0,76} + 0,27U^{2,15}$
Trimmer (1987)	$EA = (1,98D^{-0,72} + 0,22\Delta e^{0,63} + 3,6 \times 10^{-4} P_s^{1,16} + 0,14U^{0,7})^{4,2}$
Tarjuelo et al. (2000)	$EA = 0,007P_s + 7,38\Delta e^{0,5} + 0,844U$
Playán et al. (2005)	$EA = 20,3 + 0,214U^2 - 2,29 \times 10^{-3} UR^2$
Beskow et al. (2011)	$EA = -0,0304P_s + 13,2976\Delta e^{0,5} + 5,485U$

Para o cálculo do déficit de pressão de vapor Δe , utilizou método apresentado por Trimmer (1987).

$$\Delta e = 0,61 \exp\left(\frac{17,27T}{T+237,3}\right) \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (3)$$

Sendo:

EA - perda de água por evaporação e arraste, %; D - diâmetro do bocal, mm; Δe - déficit de pressão de vapor, kPa; PS - pressão de serviço do aspersor, kPa; U - velocidade média do vento, $m\ s^{-1}$; T - temperatura do ar, °C e UR - umidade relativa do ar, %.

O modelo proposto por Yazar (1984) (Tabela 1) foi desenvolvido na *University of Nebraska Field Laboratory at Mead*, no período de julho a novembro de 1979, utilizando aspersor de impacto, bocal duplo 5,2 x 5,6 mm, ângulo de inclinação de 23°, submetidos as pressões de operação de 207, 276 e 310 kPa, sob as condições climáticas: velocidade do vento 0,91 a 6,71 $m\ s^{-1}$, déficit de pressão de vapor de 2,93 a 33,14 kPa e temperatura do ar de 18,4 a 36,7 °C.

Trimmer (1987) apresenta um modelo de predição geral para as PEAV, baseado no nomograma proposto por Frost e Schwalen (1955) em condições ambientais do Arizona (USA), para aspersores com diâmetros de 3,175 a 25,4mm e pressões de serviço de 138 a 552 kPa.

O modelo apresentado por Tarjuelo et al. (2000) utilizou os aspersores Agros-35®; Agros-46® e Rain Bird-46® aspersores operando sob pressão de 350 kPa, em sistema com um único aspersor, e vários aspersores nas linhas laterais, para condições semiáridas .

O modelo proposto por Playán et al. (2005) (Tabela 1) foi desenvolvidos na Espanha no *Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA)* para testes em aspersores VYR70 (VYRSA™) com bocal duplo de 4,4 e 2,4 mm sob pressões de 380 kPa, comparando eventos de irrigação noturnos e diurnos.

O modelo apresentado por Beskow et al. (2011) (Tabela 1) foi desenvolvido sob condições experimentais, na Universidade Federal de Lavras – MG, utilizando os aspersores Agropolo® NY (bocal 3,5 mm) nas pressões de operacionais de 196, 245, 294 kPa e Naan® (bocal 3,00 mm), nas pressões de operacionais de 245, 294, 343 kPa, ambos aspersores com ângulo de inclinação de 12°. Sendo avaliados testes com um único aspersor, e vários aspersores nas linhas laterais.

Para a determinação da uniformidade utilizou-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942) (CUC).

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum |L_i - L_m|}{n \cdot L_m}\right) \quad (4)$$

Sendo:

L_i – lâmina coletada, L_m – lâmina média coletada, n – numero total de coletores.

Como critério de classificação do CUC, adotou-se metodologia proposta por Mantovani et al. (2009), variando de “inaceitável” (CUC < 60%), “ruim” (60% < CUC ≤ 70%), “razoável” (70% < CUC ≤ 80%), “bom” (80 < CUC ≤ 90) e “excelente”, (CUC > 90%) respectivamente.

Buscando adequar um modelo que pudesse melhor se ajustar às condições climáticas locais, utilizou-se o software estatístico R (R CORE TEAM, 2016), procurando estabelecer um modelo de estimação linear generalizado e ou multivariado, nos coeficientes explicativos.

Para a confecção dos modelos utilizou-se de 24 testes por modelo de aspersor, nas quais foram testadas as variáveis independentes: velocidade do vento - V , $m\ s^{-1}$; direção do vento - graus; pressão de serviço - P_s , kPa; diâmetro do bocal - D , mm; índice de gotas - CI ; irradiância solar global - Q_g , $kJ\ m^{-2}$; temperatura média de ar - T_{med} , $^{\circ}C$; umidade relativa do ar - UR , %; pressão atmosférica - P_{atm} , kPa; déficit de pressão de vapor - Δe , kPa, tendo como variável dependente: Perda por evaporação e arraste pelo vento (PEAV, %), medidas no período de setembro de 2015 a julho de 2016.

Para o cálculo do índice de gotas (CI), utilizou-se a equação na forma apresentada por Keller e Bliesner (1990).

$$CI = 0,032 \times P^{1,3} \times Db^{-1} \quad (5)$$

Sendo:

CI - índice de gotas; P - pressão de serviço, kPa; Db - diâmetro do bocal do aspersor, mm.

Para obtenção das equações de estimação, e validação, dos 36 testes realizados por modelo de aspersor, destinou-se 24 testes para confecção das equações, e 12 testes para a validação das equações, os dados responsáveis pela validação não infringiam as amplitudes amostrais destinadas a confecção dos modelos.

Para adequação do modelo, foi realizada regressão linear generalizada (GLM) com distribuição Poisson, sendo detectada “overdispersion”, e seus erros padrões foram corrigidos usando um modelo Quasi-GLM, em que a variância é dada por $f \times \mu$, sendo μ a média, e f é o parâmetro de dispersão (PROVETE et al., 2011).

Para validação dos resultados foram utilizados o coeficiente de correlação de Pearson, expressa à precisão dos resultados (r) (Equação 6), o índice de Willmott, que expressa à exatidão dos resultados (d) (Equação 7), e o índice de Camargo e Sentelhas (1997) denominado índice de confiança e desempenho (c) (Equação 8), com critério de classificação: Ótimo ($c > 0,85$); Muito Bom ($0,76 \leq c \leq 0,85$); Bom ($0,66 \leq c \leq 0,75$); Mediano ($0,61 \leq c \leq 0,65$); Sofrível ($0,51 \leq c \leq 0,60$); Mau ($0,41 \leq c \leq 0,50$), e Péssimo ($c \leq 0,40$).

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{S_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{S_y} \right) \quad (6)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (y_i - x_i)^2}{\sum (|y_i - \bar{X}| + |x_i - \bar{X}|)^2} \right] \quad (7)$$

$$c = r \times d \quad (8)$$

Sendo:

x_i - valores observados, \bar{X} - média dos valores observados, S_x - desvio padrão dos valores observados, y_i - valores estimados, \bar{Y} - média dos valores estimados, S_y - desvio padrão dos valores estimados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amplitudes das condicionantes meteorológicas registradas em cada irrigação são descritas na Tabela 2. As temperaturas variaram de 14,5°C a 33,5°C, com média de 24,7°C, para a umidade relativa do ar, houve uma variação de 48% a 99%, e as velocidades dos ventos variaram de 0,25 a 7,15 m s⁻¹, durante os eventos de irrigação. Tais verificações atmosféricas local corroboram com os dados apresentados por Pezzopane et al. (2010) em estudos realizados no norte do estado do Espírito Santo, para o período do ano avaliado.

Tabela 2. Valores máximos e mínimos das condições atmosféricas observados no período de setembro de 2015 a julho de 2016 nos diferentes horários de avaliação

Valor	V.vento* (m s ⁻¹)	Irradiância (kJ m ⁻²)	T. (°C)	UR (%)	Δe (kPa)	Pressão (kPa)
Horário 4h00min						
Máximo	2,32	-	23,40	99,0	0,4546	1021,80
Mínimo	0,26	-	14,05	71,0	0,0146	1007,10
Horário 12h00min						
Máximo	5,35	3494,50	33,55	72,5	1,3620	1014,25
Mínimo	2,51	888,85	25,80	48,3	0,5772	1004,98
Horário 21h00min						
Máximo	2,99	-	26,90	97,8	0,5016	1023,10
Mínimo	0,19	-	18,05	68,0	0,0376	1008,18

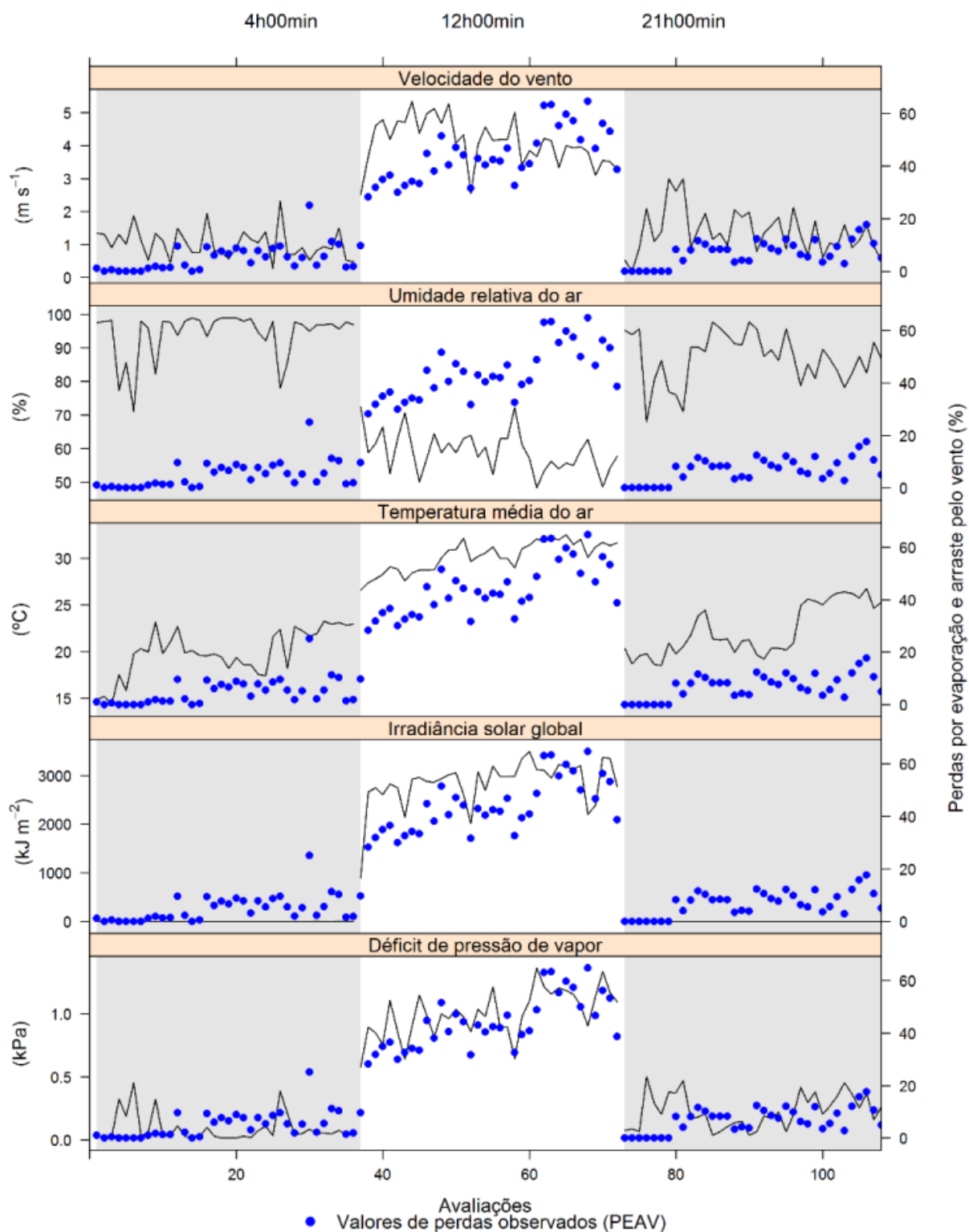
* Velocidade do vento a 2,0 metros de altura; Δe: Déficit de pressão de vapor, UR: umidade relativa do ar, T.: temperatura do ar.

As perdas por evaporação e arraste (PEAV) em função das condicionantes meteorológicas são apresentadas na Figura 2.

Há uma relação entre as maiores PEAV e os valores observados mais elevados de velocidade do vento, temperatura média do ar, radiação solar e déficit de pressão de vapor e valores mais baixos de umidade relativa do ar, corroborando com Azevedo et al. (1999).

Os menores valores de velocidade do vento foram observados, para o horário de 4h00min (Figura 2), com valores entre 0,26 a 2,32 m s⁻¹ (Tabela 2), e perdas variando de 0,0 a 25,1% em função da pressão de serviço e modelo de aspersion. Tais resultados estão dentro da faixa de 0,0 a 40,0% (KOHL et al., 1987). Valores próximos foram observados por Saraiva et al. (2013), sendo observados valores de 0,21 a 1,97 m s⁻¹, para velocidade do vento a 2 metros de altura, para o período do inverno.

Figura 2. PEAV (%) em função das condicionantes climáticas: velocidade do vento (m s^{-1}), umidade relativa do ar (%), temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), Irradiância solar (kJ m^{-2}), pressão atmosférica (kPa) e o déficit de pressão de vapor (kPa), para 108 avaliações, no período de setembro de 2015 a julho de 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

As maiores PEAV (9,7 a 64,8%) foram obtidas durante os ensaios iniciados às 12h00min, sendo verificadas velocidades do vento de 2,51 a 5,35 m s⁻¹. Beskow et al. (2008a) e, Colombo et al. (2015), também verificaram maiores perdas em função das maiores velocidades do vento (V: 3,34 m s⁻¹ e PEAV: de 9,99%) e (V: 3,08 m s⁻¹ e PEAV: 55,72%), respectivamente.

Para o horário de 21h00min, verificaram-se velocidades de vento de 0,19 a 2,99 m s⁻¹, e perdas variando de 0,0 a 17,7%. Saraiva et al. (2013) registraram velocidades de vento variando de 0,01 a 0,10 m s⁻¹ e perdas entre 0,05 a 1,40%, trabalhando com o aspersor da marca Asperjato © modelo Junior e bocal duplo de 3,5 x 2,5mm.

Para o horário de 21h00min, verificaram-se velocidades de vento de 0,19 a 2,99 m s⁻¹ e perdas variando de 0,0 a 17,7%. Saraiva et al. (2013) observaram velocidades de vento variando de 0,01 a 0,10 m s⁻¹ e PEAV de 0,05 a 1,40%, trabalhando com aspersor Asperjato © modelo Junior e bocal duplo de 3,5 x 2,5 mm.

A umidade relativa do ar (UR) apresentou variação de 48,3 a 99,0% (Tabela 2, Figura 2), com os maiores valores nos períodos noturnos e, associados a menores PEAV. Colombo et al. (2015) encontraram PEAV de 0,20 a 1,96%, em função das umidades relativas do ar variando de 87,0 a 91,0%, para os horários noturnos, e PEAV de 0,36 a 6,58% com UR de 46,9 a 69,7% para as avaliações diurnas.

O déficit de pressão de vapor (Δe) variou de 0,01 a 1,36 kPa, sendo os maior valores observados no horário de 12h00min (Tabela 2). Nota-se uma relação entre o aumento do Δe com o aumento das PEAV (Figura 2). Beskow et al. (2008a) identificaram valores de PEAV acima de 40%, quando maiores valores de Δe foram observados.

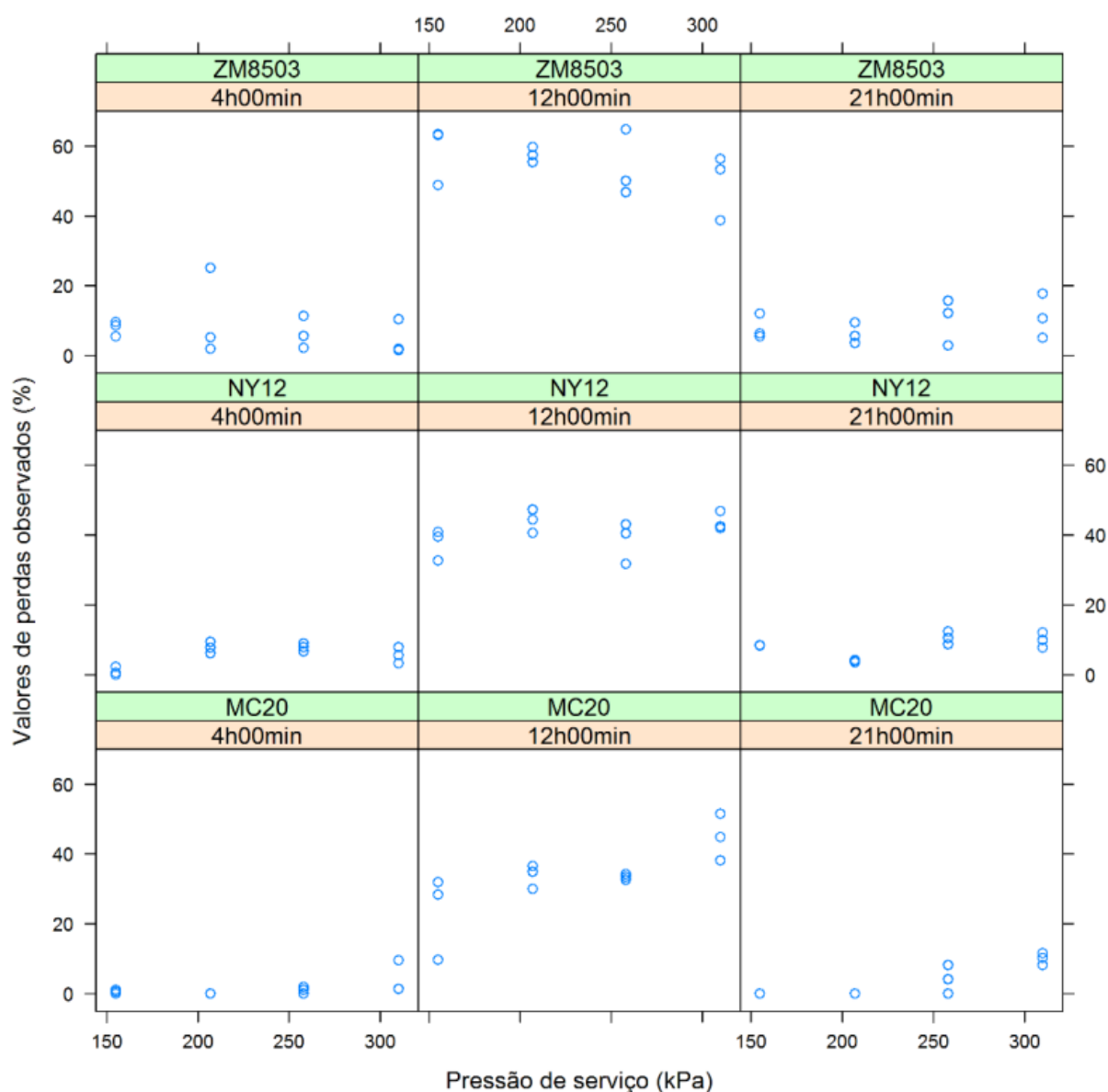
Observa-se que os menores valores de umidade relativa do ar estão associados a maiores temperaturas do ar e velocidade do vento e que também estão relacionadas a maiores PEAV.

As maiores PEAV corresponderam aos menores valores de UR e maiores valores de T_{med} e V, enfatizando a relação direta entre as perdas e as condições climáticas (FROST e SCHWALEN 1955; YAZAR 1984; SMAJSTRLA e ZAZUETA 2003; KOHL et al., 1987; TARJUELO et al., 2000; BESKOW et al., 2008, OLIVEIRA et al., 2009; BESKOW et al., 2011; SARAIVA et al., 2013; COLOMBO et al. 2015; FARIA et al., 2016).

Na Figura 3 é apresentada a relação das PEAV em função do modelo de aspersor, horário de avaliação e pressões de serviço adotadas. As maiores perdas ocorreram para o período de verão, no horário de maior incidência de radiação solar (12h00min), no qual o aspersor modelo ZM8503 apresentou PEAV variando de 38,72 a 64,77%, seguido pelo MC20 (9,71 < PEAV < 51,56%) e o NY12 (31,68 < PEAV < 47,20%).

Saraiva et al. (2013) em condições de inverno, avaliando o aspersor da marca Asperjato© modelo Junior NY, com bocais de 3,5 x 2,5 mm, verificaram perdas variando de 0,35 a 2,48%, para o mesmo horário de avaliação.

Figura 3. PEAV (%) em função do modelo de aspersor, horário de avaliação e pressão de serviço do aspersor para o período de setembro de 2015 a julho de 2016.



Fonte: Elaborado pelo autor.

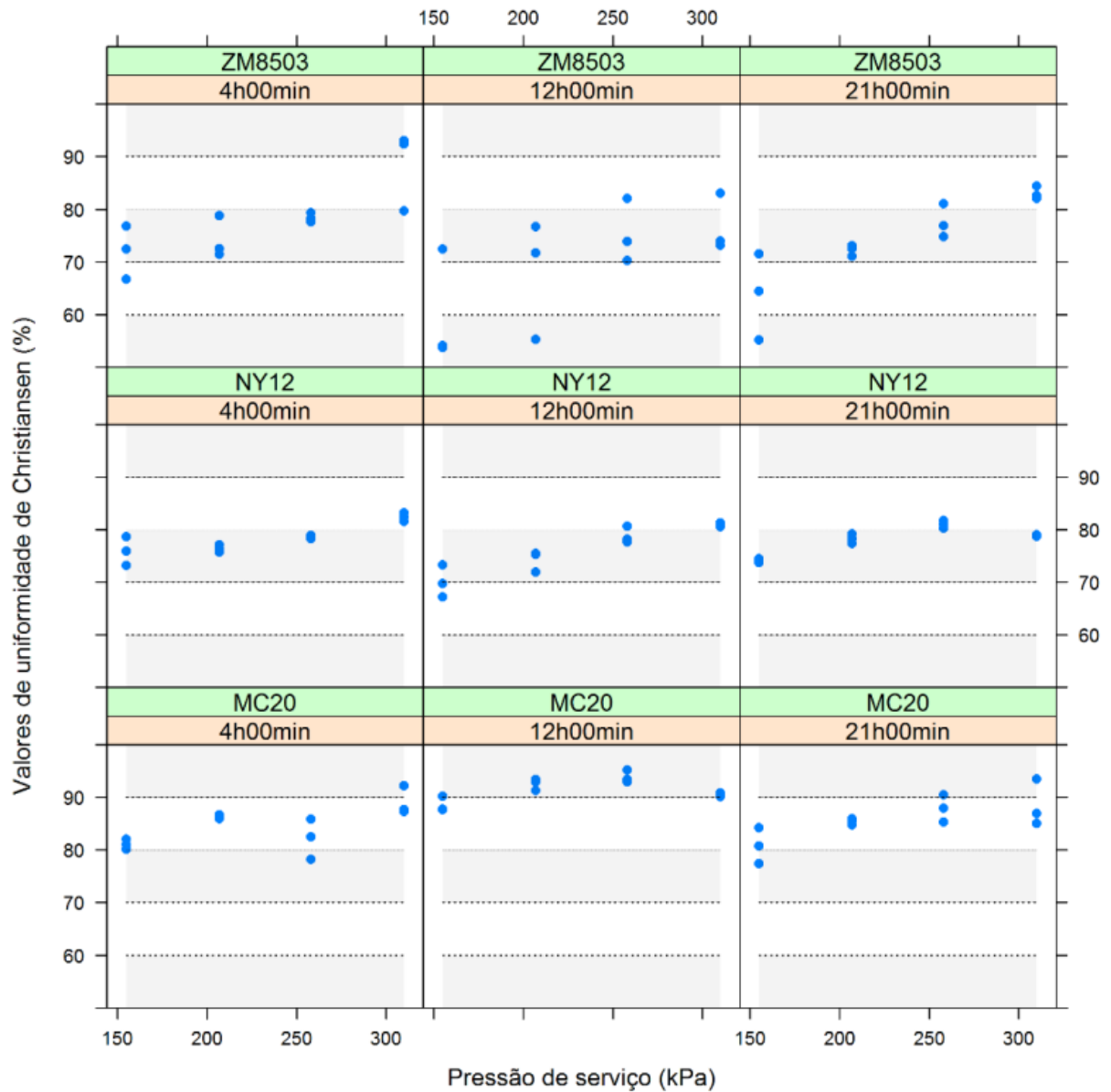
As menores perdas foram observadas no horário de 4h00min, sendo os aspersores NY12 e MC20 que apresentaram as menores perdas ($0,00 < PEAV < 9,6\%$). As PEAV medidas com o aspersor ZM8503 variou de 1,50 a 25,10%.

As perdas observadas para o horário de 21h00min variaram de 0,00 a 17,68%, sendo que o aspersor MC20 proporcionou as menores perdas (0,00 a 11,6%). O aspersor NY12 apresentou perdas de 3,44 a 12,37%, e o aspersor ZM8503 perdas de 2,84 a 17,68%.

Saraiva et al. (2013) trabalhando com o aspersor NY12, modelo Junior © verificaram valores de perdas variando de 0,05 a 1,40%.

Os valores de CUC em função do modelo de aspersor, pressão de serviço e horário de avaliação são apresentados na Figura 4, e na Figura 5, o comportamento das lâminas coletadas para o pior e melhor resultado.

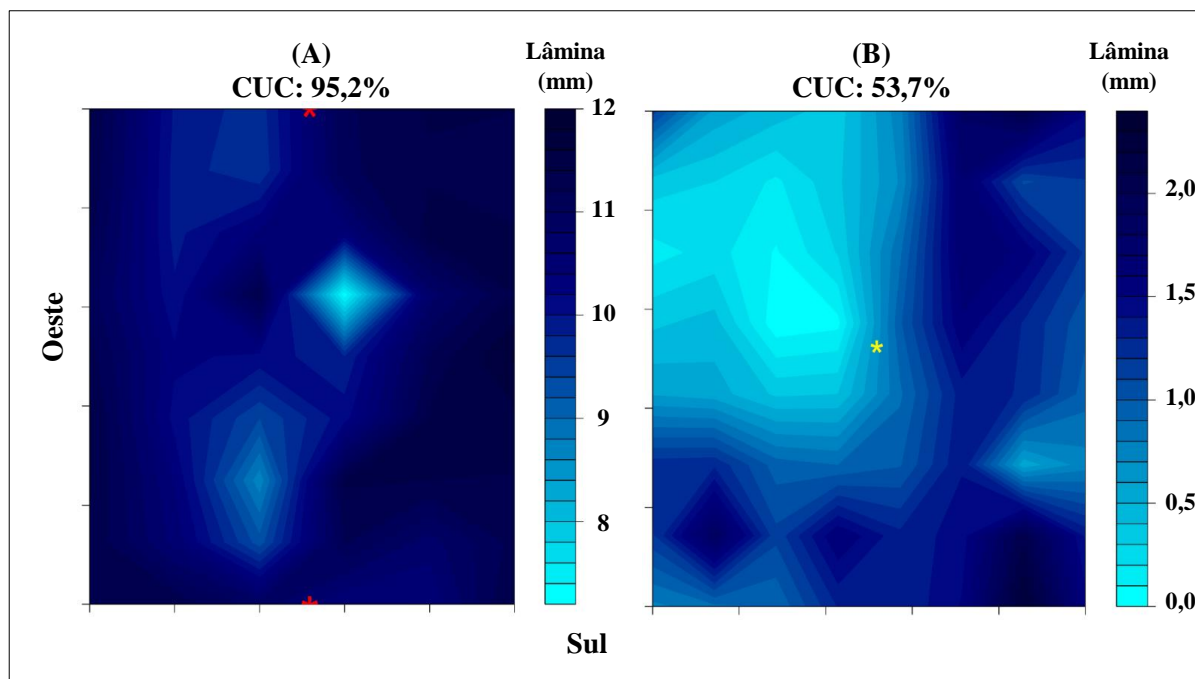
Figura 4. Coeficiente de uniformidade de Christiansen em função da pressão de serviço (kPa), modelo de aspersor e horário de avaliação



Classificação segundo Mantovani et al. (2009): “inaceitável” ($CUC < 60\%$), “ruim” ($60\% < CUC \leq 70\%$), “razoável” ($70\% < CUC \leq 80\%$), “bom” ($80 < CUC \leq 90$) e “excelente”, ($CUC > 90\%$) respectivamente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5. Distribuição espacial das lâminas de água coletadas: melhor CUC para o aspersor MC20, no horário de 21h00min, classificado como “Excelente”, e menor CUC para o aspersor ZM8503, no horário de 12h00min, classificado como “Inaceitável”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores do CUC variaram de 53,7% a 95,2%, em função do modelo de aspersor, horário de avaliação e pressão de serviço.

Para as avaliações ocorridas no horário de 4h00min, observou-se uma variação de CUC de 66,7 a 82% (pressão de 155 kPa), de 71,4 a 86,7% (pressão de 207 kPa) e de 77,6 a 85,9% (pressão de 258 kPa), classificadas, respectivamente, como “ruim” a “excelente”, “ruim” a “bom”, “razoável” a “bom”. Para os testes realizados sob pressão de serviço de 310 kPa, os valores de CUC variaram de 79,7 a 93,0%, com classificação variando de “razoável” a “excelente”.

Para as avaliações ocorridas no horário de 12h00min, as variações de CUC foram de 53,7 a 95,2%, com classificação variando de “inaceitável” (CUC < 60%) a “excelente”, (CUC > 90%). Os testes submetidos às pressões de serviço de 155 e 207 kPa apresentaram valores de CUC variando de 53,7 a 90,20% e 55,2 a 93,4% respectivamente, com classificação variando de “inaceitável” (CUC < 60%) a “excelente”, (CUC > 90%). Para os testes realizados sob as pressões de serviço de 258 e 310 kPa, os valores de CUC variaram de 70,2 a 95,2% e 73,1 a 90,8% respectivamente, com classificação variando de “razoável” (70% < CUC ≤ 80%) a “excelente”, (CUC > 90%).

Para as avaliações ocorridas no horário de 21h00min, verificou-se variações de CUC de 55,1 a 93,5%, com classificação variando de “inaceitável” (CUC < 60%) a “excelente”, (CUC > 90%). Avaliando os testes submetidos à pressão de serviço de 155 kPa os valores de CUC apresentaram variação de 55,1 a 84,2%, e classificação variando de “inaceitável” (CUC < 60%) a “bom” (80 < CUC ≤ 90). Para os testes realizados sob pressão de serviço de 207 kPa o CUC variou de 71,1 a 85,9% e sua classificação variou de “razoável” (70% < CUC ≤ 80%) a “bom” (80 < CUC ≤ 90). As avaliações submetidas as pressões de serviço de 258 e 310 kPa, apresentaram CUC com variações de 74,8 a 90,5% e 78,7 a 93,5% respectivamente, suas classificações variaram de “razoável” (70% < CUC ≤ 80%) a “excelente”, (CUC > 90%).

Ao se comparar por modelo de aspersor, o aspersor MC20 apresentou CUC variando de 77,4 à 95,2% (Figura 4) sob as condições de vento (2 m de altura) variando de 0,19 a 5,35 m s^{-1} (Figura 2). Para o horário das 4h00min, verificou-se CUC, variando de 78,2 a 92,2%. Sendo 1 teste classificado como “razoável” ($70\% < \text{CUC} \leq 80\%$), 10 testes classificados como “bom” ($80\% < \text{CUC} \leq 90\%$) e 1 teste classificado como “excelente” ($\text{CUC} > 90\%$). No horário de 12h00min, verificou-se CUC, variando de 87,7% a 95,2%. Sendo 2 testes classificados como “bom” ($80\% < \text{CUC} \leq 90\%$), e 10 testes classificados como “excelente” ($\text{CUC} > 90\%$). Para o horário de 21h00min, o CUC apresentou variação de 77,4 a 93,5%, sendo 1 teste classificado como “razoável” ($70\% < \text{CUC} \leq 80\%$), 9 testes classificados como “bom” ($80\% < \text{CUC} \leq 90\%$) e 2 testes classificados como “excelente” ($\text{CUC} > 90\%$).

Sob mesmas condições de operação de serviço, modelo e bocal de aspersor, Bernardino e Bonomo (2014) obtiveram valores de CUC variando de 87,9 a 95,6%.

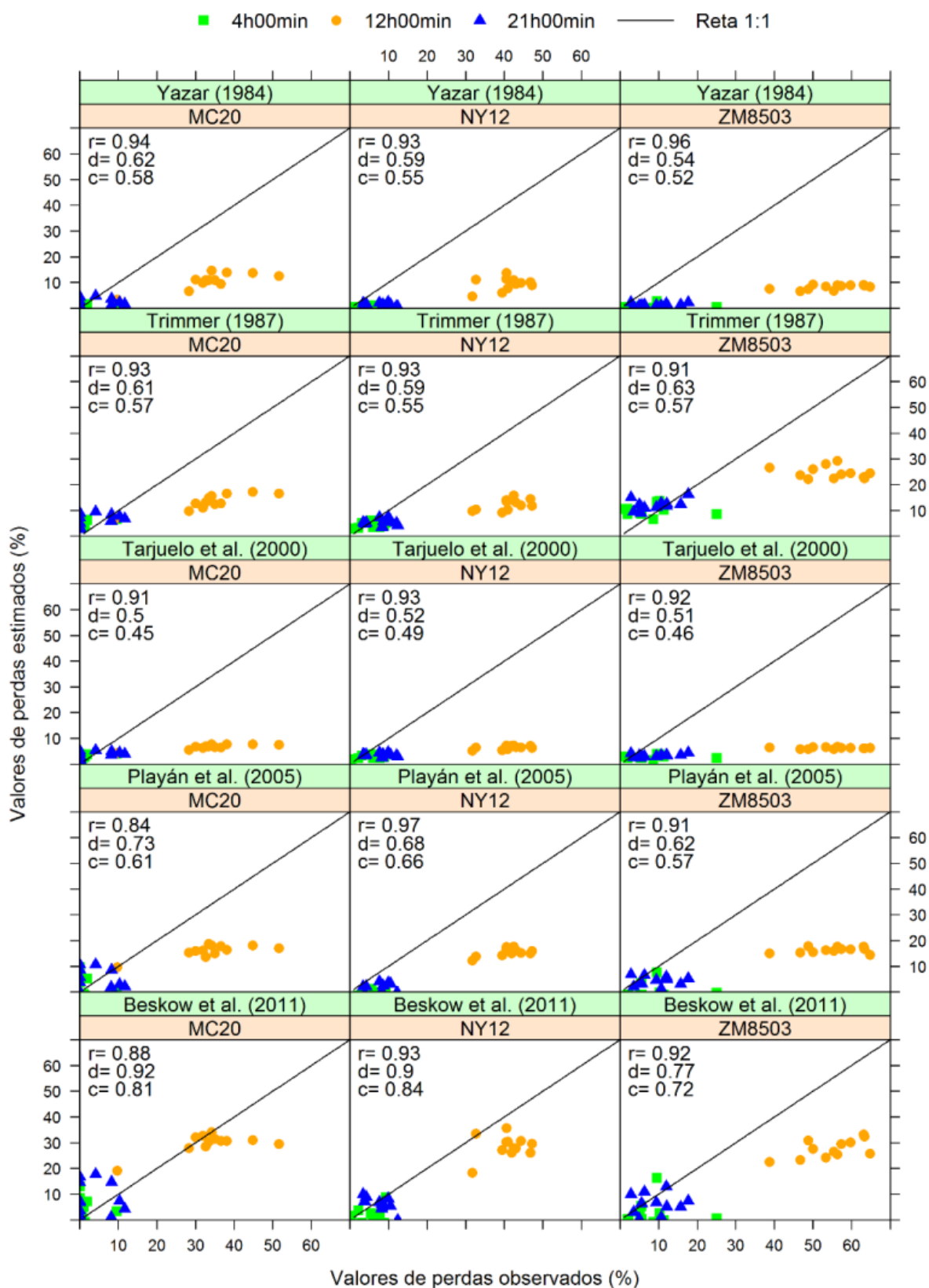
O aspersor NY12 da marca Asperjato® modelo Junior apresentou CUC com variação de 67,2 a 83,2% (Figura 4) sob as condições de vento (2 m de altura) variando de 0,56 a 5,27 m s^{-1} (Figura 2). Para os testes realizados no horário das 4h00min, os valores de CUC variaram de 73,8 a 83,2%, sendo 9 testes classificados como “razoável” ($70\% < \text{CUC} \leq 80\%$), e 3 testes classificados como “bom” ($80\% < \text{CUC} \leq 90\%$). No horário de 12h00min, os testes apresentaram valores de CUC variando de 67,2 a 81,3%, sendo 2 testes classificados como “ruim” ($60 < \text{CUC} \leq 70$), 6 testes classificados como “razoável” ($70\% < \text{CUC} \leq 80\%$), e 4 testes classificados como “bom” ($80\% < \text{CUC} \leq 90\%$), para os testes realizados as 21h00min, o CUC variou de 73,7 A 81,7%, Sendo 9 testes classificados como “razoável” ($70\% < \text{CUC} \leq 80\%$) e 3 testes classificados como “bom” ($80\% < \text{CUC} \leq 90\%$).

Saraiva et al. (2013) trabalhando com o aspersor Asperjato® modelo Júnior, com bocal duplo 3,5 x 2,5mm, nas mesmas condições a este trabalho, obtiveram valores de CUC de 80,8 a 88,2%, sob condições de vento variando de 1,28 a 2,14 m s^{-1} .

Os testes com o aspersor ZM8503 da marca ZM® apresentaram CUC com variação de 53,7 a 93,0% (Figura 4), com ventos (2,0 m de altura) de 0,26 a 4,23 m s^{-1} (Figura 2), em função do horário de avaliação, pressão de serviço e condições atmosféricas. Para os testes realizados as 4h00min, o CUC apresentou variação de 66,7 a 93,0%, sendo 1 teste classificado como “ruim” ($60 < \text{CUC} \leq 70$), 9 testes classificados como “razoável” ($70\% < \text{CUC} \leq 80\%$), e 2 testes classificados como “excelente” ($\text{CUC} > 90\%$). No horário de 12h00min, os valores de CUC variaram de 53,7 a 83,1%, sendo 3 testes classificados como “inaceitável” ($\text{CUC} < 60\%$), 7 testes classificados como “razoável” ($70\% < \text{CUC} \leq 80\%$) e 2 testes classificados como “bom” ($80\% < \text{CUC} \leq 90\%$). Os testes realizados as 21h00min apresentaram valores de CUC variando de 55,1 a 84,4%, sendo 1 teste classificado como “inaceitável” ($\text{CUC} < ,60\%$), 1 teste classificado como “ruim” ($60 < \text{CUC} \leq 70$), 6 testes classificados como “razoável” ($70\% < \text{CUC} \leq 80\%$) e 4 testes classificados como “bom” ($80\% < \text{CUC} \leq 90\%$).

Os valores do índice de confiança e desempenho (c), o índice de Willmott (d) e o coeficiente de correlação (r), para os valores de perdas estimados pelos modelos de predição propostos por Beskow et al. (2011), Playán et al. (2005), Tarjuelo et al. (2000), Trimmer (1987) e Yazar (1984), em função dos três modelos de aspersores testados, são apresentados na Figura 6.

Figura 6. Valores de perdas estimados (EA) em função dos modelos: Beskow et al. (2011), Playán et al. (2005), Tarjuelo et al. (2000), Trimmer (1987) e Yazar (1984), comparação entre tipo de aspersor, coeficiente de correlação (r), índice de Wilmott (d) e índice de confiança e desempenho (c).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A equação proposta por Yazar (1984) (Tabela 1), não permitiu um bom ajuste para a estimativa das perdas (EA), haja vista que os valores referentes aos coeficientes de confiança e desempenho variaram de 0,52 a 0,58 para os três modelos de aspersor, sendo classificados como “sofrível” ($0,51 \leq c \leq 0,60$) (Figura 6). Embora tenha o coeficiente de correlação de Pearson (r) tenha apresentado valores acima de 0,92, caracterizando potencial para uma boa precisão dos resultados, para os 3 modelos de aspersores testados, quando se confrontou seus resultados com o índice de Willmott ($d= 0,62; 0,59$ e $0,54$) para os aspersores MC20, NY12 e ZM8503 respectivamente, o modelo proposto por Yazar não apresentou uma boa exatidão.

Beskow et al. (2011) relataram não ter obtido bons ajustes quando o sistema operou com apenas um aspersor ($c = 0,20$), e com vários aspersores na linha lateral ($c = 0,30$), salientando divergências entre os tamanhos de bocais e a pressão de serviço, utilizada por Yazar.

O modelo empírico proposto por Trimmer (1987) (Tabela 1), que leva em consideração o diâmetro do bocal, o déficit de pressão de vapor, a pressão de serviço e a velocidade do vento, também não permitiu ajustes, sendo seus índices de confiança e desempenho (c) classificados como “sofrível” ($0,51 \leq c \leq 60$) para os três modelos de aspersores testados (Figura 6).

Saraiva et al. (2013), trabalhando com o aspersor da marca Asperjato® modelo Junior, com bocal duplo (3,5 x 2,5mm), sob condições similares de operação de serviço, no período de inverno (2011), não obteve êxito ao utilizar o modelo supracitado, sendo alcançado o índice de confiança de 0,05, sendo classificado como “péssimo” ($c \leq 0,40$).

Ao comparar as perdas observadas (PEAV) com as estimadas (EA) pela equação proposta por Tarjuelo et al. (2000) (Tabela 1) foram observados valores relevantes para o coeficiente de correlação (r), com valores de 0,91 a 0,93. Porém, quando se comparou com o índice confiança e determinação (c), as EA para os modelos de aspersor MC20, NY12 e ZM8503 foram classificadas como “mau” ($0,41 \leq c \leq 0,50$) (Figura 6) não sendo viável seu uso.

Para a metodologia proposta por Playán et al. (2005), que leva em consideração a umidade relativa do ar (UR) e a velocidade do vento (V), os coeficientes de correlação apresentaram satisfatórios para os três modelos de aspersor : MC20 ($r= 0,84$), NY12 ($r = 0,97$) e ZM8503 ($r = 0,91$) indicando uma boa precisão dos resultados. Os índices de confiança e desempenho apresentaram valores baixos: $c= 0,61$, para os aspersores MC20, $c= 66$ para o aspersor NY12, sendo ambos classificados como “mediano” ($0,61 \leq c \leq 0,65$) e $c= 0,57$ para o modelo de aspersor ZM8503, classificado como “sofrível” ($0,51 \leq c \leq 0,60$) (Figura 6).

Saraiva et al. (2013) e Beskow et al. (2008) não obtiveram sucesso ao utilizar o modelo proposto por Playán et al. (2005), com valores de (c) de 0,03 e 0,36, ambos classificados como “péssimo”, respectivamente. Para Beskow et al. (2013) e Beskow et al. (2008b), a falta de ajuste pode ser resultado dos diferentes tamanhos de diâmetros utilizados por Playán et al. (2005), o que acarreta em diferentes pulverizações de gotas.

Beskow et al. (2011) buscaram adequar uma equação que melhor expressasse as perdas por evaporação e arraste pelo vento. Utilizando metodologia preconizada Tarjuelo et al. (2000) ajustou-se os coeficientes B0, B1 e B2, em função da pressão de serviço (kPa), déficit de pressão de vapor (kPa) e velocidade do vento (V). Obteve um índice de confiança de 0,74, para os testes realizados com múltiplos aspersores nas linhas laterais, sendo classificado como “bom”.

Ao se utilizar o modelo supracitado, este apresentou índices de confiança e determinação (c) para o modelo de aspersor MC20 $c= 0,72$ classificado como “bom” ($0,66 \leq c \leq 0,75$), e para os modelos NY12 e ZM8503 classificados como “muito bom” ($0,76 \leq c \leq$

0,85) (Figura 6). Salientando os melhores resultados para os horários de 04h00min e 21h00min.

Buscando um ajuste mais preciso das EA em função das condições climáticas locais e modelos de aspersores utilizados, foram geradas 3 equações, que possibilitaram melhores predições. As equações 6,7 e 8 foram obtidas para os aspersores modelos MC20, NY12 e ZM8503, respectivamente:

$$EA = 1,9947T_{med} - 0,4112UR \quad (9)$$

$$EA = 0,2147T_{med} + 34,262\Delta e \quad (10)$$

$$EA = 14,5851V - 0,0481UR \quad (11)$$

Sendo:

EA – Perdas por evaporação e arraste pelo vento, V – velocidade do vento a 2 metros de altura ($m s^{-1}$), UR - umidade relativa do ar (%), Tmed - temperatura média do ar ($^{\circ}C$); Δe : déficit de pressão de vapor (kPa).

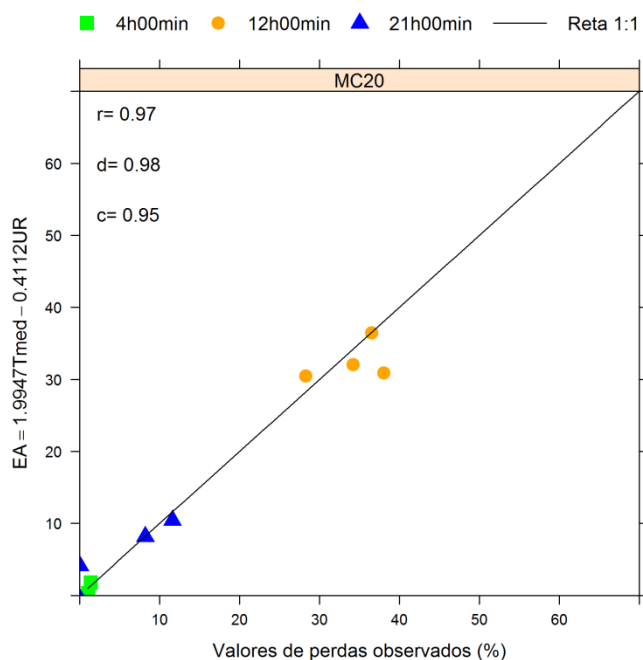
Para o modelo de aspersor MC20 levou-se em consideração a temperatura média do ar (Tmed, $^{\circ}C$) e a umidade relativa do ar (UR, %) (Equação 9). Para o modelo de aspersor de impacto NY12, gerou-se a equação de estimação das perdas (EA) (Equação 10), como base nas condicionantes meteorológicas: temperatura média do ar (Tmed, $^{\circ}C$) e déficit de pressão de vapor (Δe , kPa). Para o modelo de aspersor ZM8503, de sistema de rotação por “track ball”, utilizou-se as condicionantes meteorológicas, velocidade do vento (V, $m s^{-1}$) e umidade relativa do ar (UR, %) (Equação 11).

A equação de estimação de perdas para o modelo de aspersor MC20 (Equação 9), submetida a validação, apresentou um alto coeficiente de correlação (r), além de um alto índice de Willmott (d) (Figura 7), que tem por característica validar a exatidão dos resultados, e um índice de confiança e desempenho (c) acima de 0,85, o que a classifica como “ótima”,. Com base no bom ajuste observado pode-se indicar o uso desta equação para a estimação das perdas por evaporação e arraste pelo vento, em sistemas de irrigação por aspersão fixa, operando sob pressões de serviço de 155 a 310 kPa, empregando o uso de microaspersores com diâmetros de 2,44mm.

A validação da equação de estimação das EA para o modelo de aspersor NY12 (Equação 10), apresentou (c = 0,97) classificada como “ótimo” (c > 0,85), apresentando uma alta taxa de precisão (r = 0,98) além de altíssima taxa de exatidão (d = 0,99). Indicando seu uso para a estimação das perdas por evaporação e arraste pelo vento, em sistemas de irrigação operando sob pressões de serviço de 155 a 310 kPa, empregando o aspersor o modelo de aspersor Junior NY12.

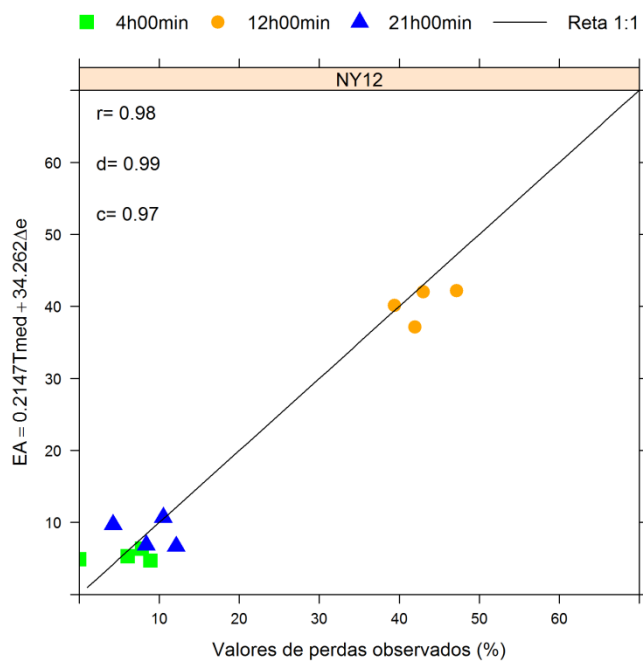
Verificou-se bons ajustes para a Equação 8, para o modelo de aspersor ZM8503, apresentando coeficiente de correlação (r = 0,96) com alta taxa de precisão, índice de Willmott (d = 0,97) indicando altíssima exatidão, e o coeficiente de confiança e desempenho (c = 0,94) classificado como “ótimo” (c > 0,85).

Figura 7. Resposta do índice de confiança e desempenho (c), índice de Willmott (d) e coeficiente de correlação (r), para os valores de perdas estimados (EA) em função dos valores de perdas observados (PEAV), para o modelo de aspersor MC20



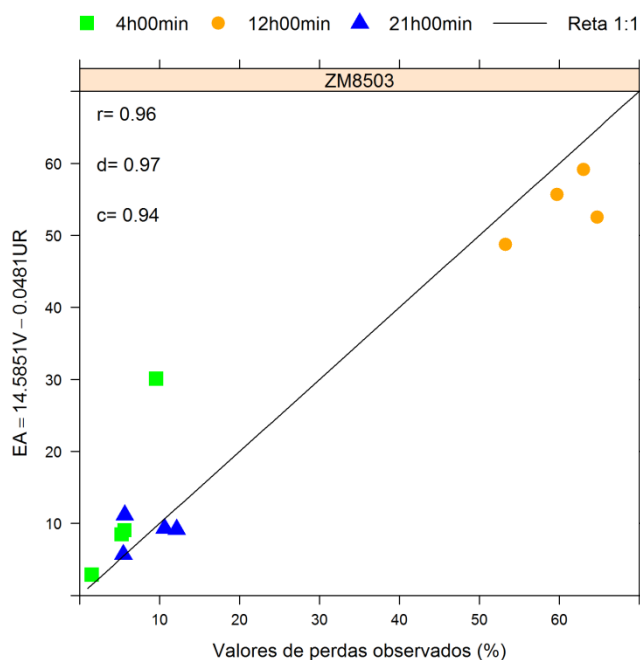
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8. Resposta do índice de confiança e desempenho (c), índice de Willmott (d) e coeficiente de correlação (r), para os valores de perdas estimados (EA) em função dos valores de perdas observados (PEAV), para o modelo de aspersor NY12



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9. Resposta do índice de confiança e desempenho (c), índice de Willmott (d) e coeficiente de correlação (r), para os valores de perdas estimados (EA) em função dos valores de perdas observados (PEAV), para o modelo de aspersor ZM8503



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos indicam a necessidade de ajustes de equação locais para estimativa da PEAV, e específicas para diferentes modelos de aspersor.

Atualmente na região Norte/ES, já não é permitida a irrigação diurna, em função da crise hídrica enfrentada, segundo o estipulado pela Agência Estadual de Recursos Hídricos – AGERH, órgão estadual responsável pela fiscalização dos recursos hídricos, em função da escassez hídrica foi decretado “Cenário de Atenção” pela resolução 003/2015 de 06 de maio de 2015, passando para “Cenário de Alerta”, pela resolução 005/2015 de 02 de outubro de 2015, e mantendo-se atualmente pela resolução 035/2016 de 03 de junho de 2016, que prorroga o “Cenário de Alerta” por mais 60 dias. Com base na Lei Estadual nº 10.179 de 18 de Março de 2014, que autoriza o uso da água apenas para a dessedentação humana e animal, em situações de extrema escassez hídrica (AGERH, 2016).

Há também a questão da tarifa de energia priorizando os horários noturnos. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) reguladora do serviço em nível nacional estimula os agricultores irrigantes, a irrigação em períodos noturnos no qual ocorre um baixo consumo em toda a rede. No estado do Espírito Santo a EDP empresa distribuidora de energia, com base na resolução 620/2014 (ANEEL) estabeleceu descontos de até 90% para o consumo nos horários de 21h30min as 06h00min (EDP, 2016).

6 CONCLUSÃO

Os modelos empíricos testados, nas condições experimentais, para estimação das perdas por evaporação e arraste pelo vento (EA) não apresentam ajustes satisfatórios em função dos índices e coeficientes utilizados para validação dos resultados.

As irrigações no horário de 12h00min, para a região norte do estado do Espírito Santo, apresentaram altas perdas por evaporação e arraste pelo vento, inviabilizando seu emprego.

Estas perdas podem ser significativamente minimizadas com a efetivação de irrigações no período noturno, em especial na madrugada.

Para os 3 modelos avaliados, as equações propostas possibilitaram bons ajustes sendo adequadas para a estimativa das PEAV, para sistema de aspersão por aspersão fixa, para a região norte do Espírito Santo.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Fundo de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa, ao Centro Universitário Norte do Espírito Santo pelo suporte técnico na realização da pesquisa.

8 REFERÊNCIAS

AGERH – Agência Estadual de Recursos Hídricos, Documentos: **Resolução 005/2015**, disponível em: < <http://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documentos/Resolu%C3%A7%C3%B5es%20Agerh-5.pdf>>, Acesso em: 02 de julho de 2016.

ASPERJATO. **Aspersores Plásticos**: Aspersor Plástico Júnior. Disponível em: <<http://asperjato.com.br/index.php?p=aspersor-plastico-junior>>, Acesso em: 11 de julho de 2016.

AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. Influência de elementos do clima no desperdício de energia em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 1999, p.336-341.

BASTOS, A. V.; OLIVERIA, R. C.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; BASTOS, J. D.; TEIXEIRA, M. B. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por autopropelido. **Irriga**, 2014, p. 94-103.

BERNARDINO, L. T.; BONOMO, R. Perdas de água por evaporação e arraste em microaspersores de alta vazão empregados na cafeicultura. In: **II Inovagri International Meeting**, [Anais...], Fortaleza, 2014, p. 2714-2722.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa - MG: UFV. 2006.

BESKOW, S.; COLOMBO, A.; PEREIRA, G. M.; TAVEIRA, J. H.; RICARDO, C. M. Perdas de água por evaporação e arraste na irrigação por aspersão nas condições climáticas de Lavras-MG, utilizando aspersores de tamanho médio. **Irriga**, 2008a, p. 113-127.

BESKOW, S.; COLOMBO, A.; RIBEIRO, M. S.; FERREIRA, L. S.; ROSSI, R. Simulação das perdas de água por evaporação e arraste, no aspersor ny-7 (4,6 mm x 4,0 mm), em sistemas de aspersão convencional. **Engenharia Agrícola**, 2008b, p. 427-437.

BESKOW, S.; FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; MOURA, D. C. Modelagem das perdas de água por evaporação e arraste em aspersores de média pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2011, p. 221-228.

BONOMO, R.; REIS, E. F. Irrigação do Conilon: Manejo de irrigação. In: PARTELLI, F. L.; OLIVEIRA, M. G.; SILVA, M. B. **Café Conilon: Qualidade, Adubação e Irrigação**. São Mateus, 2013.

BRAGA, M.; CALGARO, M. Uso da Tensiometria no manejo da irrigação. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecária – Semiárido,. **Documentos 235**, 2010.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 1997, p. 89-97.

CARRIÓM, P.; TARJUELO, J.; MONTERO, J. SIRIAS: A simulation model for sprinkler irrigation. **Irrigation Science**, 2001, p. 73-84.

CHRISTIANSEM, J. E. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station, 1942.

COLOMBO, A.; FARIA, L. C.; SILVA JUNIOR, J. J.; SANT'ANA, J. A. D. V.; BESKOW, S.; NÖRENBERG, B. G. Modelagem das perdas de água por evaporação e arraste de sprays de placa oscilante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 2015. p.719-728.

EDP – Distribuidora de energia para o estado do Espírito Santo, **Notícias**: EDP antecipa a instalação de medidores gratuitos para irrigação, disponível em: <<http://www.edp.com.br/imprensa/noticias/Paginas/2014/10/EDP-antecipa-a-instala%C3%A7%C3%A3o-de-medidores-gratuitos-para-irriga%C3%A7%C3%A3o.aspx>>, Acesso em: 02 de julho de 2016.

FROST, K. R.; SCHWALEN, H. C. Sprinkler evaporation losses. **Agricultural Engineering**, 1955, pp. 526-528.

KELLER, J.; BLIESNER, R. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold. 1990.

KOHL, K.; KOHL, R.; BOER, D. **Measurement of low pressure sprinkler evaporation loss**. Transactions of the ASAE, 1987, p. 1071-1074.

LORENZINI, G. Simplified modelling of sprinkler droplet dynamics. **Biosystems Engineering**, n.87, 2004, p. 01-11.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa. 2001.

MANTOVANI, E. C.; BONOMO, R.; VICENTE, M. R. Irrigação do café Conilon. In: L. ZAMBOLIM. **Tecnologias para produção do café Conilon**, Viçosa: UFV, 2009, p. 295-335

MCLEAN, R. K.; RANJAN, R.; KLASSEN, G. Spray evaporation losses from sprinkler irrigation systems. **Canadian Agricultural Engineering**, 2000, p. 01-8.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Utah: Logan: Utah State University, 1978.

MERRIAM, J. L.; SHEARER, M. N.; BURT, C. M. Evaluating irrigation systems and practices. In: M. E. JENSEN, **Design and operation of farm irrigation systems**, 1983, p. 721-762.

NAANDAN JAIN BRASIL. **Catálogo geral de emissores 2013**. Disponível em: <<http://www.naandanjain.com.br>>, Acesso em 16 de Março de 2016.

OLIVEIRA, F. E.; COLOMBO, A.; FARIA, L. C. Modelagem dos efeitos do vento sobre as dimensões do alcance do jato de um canhão hidráulico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2009, p. 818-824.

PLASNOVA-TUBOS. **Micro aspersor rotor**, Disponível em: <<http://www.plasnova-tubos.com.br/ptubos/agricultura/filtro-disco-y>>, Acesso em: 11 de julho de 2016.

PEZZOPANE, J. R.; MARSETTI, M. M.; SOUZA, J. M.; PEZZOPANE, J. E. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadâmia. **Revista Ciência Rural**, 2010, p. 1257-1263.

PLAYÁN, E.; SALVADOR, R.; FACI, J.; ZAPATA, N.; MARTÍNEZ-COB, A.; SÁNCHEZ, I. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. **Agricultural Water Management**, 2005, p. 139-159.

PROVETE, B. D.; SILVA, F. R.; SOUZA, T. G. **Estatística aplicada a ecologia usando o R**. UNESP, 2011, p. 01-122. Disponível em: <https://cran.r-project.org/doc/contrib/Provete-Estatistica_aplicada.pdf>, Acesso em: 11 de julho de 2016.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2016. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L.; FERNANDES, D. R.. **Irrigação na cultura do café**. Belo Horizonte: O Lutador, 2008.

SANTOS, R. A.; HERNANDEZ, F. B.; FERREIRA, E. J.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C. (2003). Uniformidade de distribuição de água em irrigação por gotejamento em sub-superfície instalado na cultura de pupunheiras (*Bactris gasipaes* H. B. K.). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, [Anais eletrônicos...]**, Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/c2003rsantos.pdf>>. Acesso em: 11 de julho de 2016.

SARAIVA, G. S.; BONOMO, R.; SOUZA, J. M. Perdas de água por evaporação e arraste pelo vento, em sistemas de aspersão fixa, norte do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 2013, p. 235-427.

SILVA, R. A.; SILVA, A. M. Avaliação das características hidráulicas do microdifusor autocompensante Dan Jet 7200. **Ciência Agrotecnologia**, 2003, p. 873-878.

SMAJSTRLA, A. G.; ZAZUETA, F. S. Evaporation loss during sprinkler irrigation. *Gainesville: Agricultural and Biological Engineering Department*, 2003.

SOUZA, J. A.; DENICULI, W.; BATISTA, R. O.; VAL, J. C.; ATOS, A. T. (2005). Caracterização hidráulica de microaspersor aplicando água limpa, água residual de avicultura e de bovinocultura. **Engenharia na Agricultura**, 2005, p. 161-172.

SUN-RAINMAN. **Aspersor ZM” 8503**, Disponível em: <<http://sun-rainman.en.alibaba.com/search/product?fsb=y&IndexArea=&CatId=&SearchText=zm+8503>>, Acesso em 17 de Junho de 2016.

TARJUELO, J.; ORTEGA, J.; MONTERO, J.; JA, J. Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. **Agricultural Water Management**, 2000, p. 263-284.

THOMPSON, A. L.; MARTIN, D. L.; NORMAN, J. M.; TOLK, J. A.; HOWELL, T. A.; GILLEY, J. R. **Testing of a water loss distribution model for moving sprinkler systems**. Transactions of the Asae. 1997, p. 81-88. In: UDDIN, J.; SMITH, R., HANCOCK, N.; FOLEY, J. Droplet evaporation losses during sprinkler irrigation: an overview. **One Water Many Future, Australian Irrigation Conference and Exhibition**, 2010.

THOMPSON, A.; GILLEY, J.; NORMAN, J. **A sprinkler water droplet evaporation and plant canopy model: II. Model application**. Transactions of the ASAE. 1993, p. 743-750. In: UDDIN, J.; SMITH, R., HANCOCK, N.; FOLEY, J. Droplet evaporation losses during sprinkler irrigation: an overview. **One Water Many Future, Australian Irrigation Conference and Exhibition**, 2010.

TRIMMER, W. L. 1987. Sprinkler evaporation loss equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 1987, p. 616-620.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, 1981, v.2, p.184-194.

UDDIN, J.; SMITH, R.; HANCOCK, N.; FOLEY, J. Droplet evaporation losses during sprinkler irrigation: an overview. **One Water Many Future, Australian Irrigation Conference and Exhibition**, 2010

YAZAR, A. (1984). Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. **Agricultural Water Management**, 1984, p. 439-449.