



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

ISADORA BENEVIDES MIRANDA

**RESFRIADORES EVAPORATIVOS NO AMBIENTE TÉRMICO
DE *PACKING HOUSE* NO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO
FRANCISCO**

**JUAZEIRO-BA
2021**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ISADORA BENEVIDES MIRANDA

**RESFRIADORES EVAPORATIVOS NO AMBIENTE TÉRMICO
DE *PACKING HOUSE* NO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO
FRANCISCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Prof. Dr^a Silvia Helena Nogueira Turco

JUAZEIRO-BA
2021

Miranda, Isadora Benevides
M672r Resfriadores evaporativos no ambiente térmico de *packing house* no submédio do vale do São Francisco / Isadora Benevides Miranda. – Juazeiro-BA, 2021. x, 64 f.: il.; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, 2021.

Orientadora: Prof^a. Sílvia Helena Nogueira Turco

1. Conforto térmico. 2. Beneficiamento de frutas. 3. Resfriamento evaporativo.
I. Título. II. Turco, Sílvia Helena Nogueira. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 720.47

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

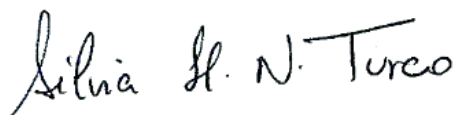
Isadora Benevides Miranda

RESFRIADORES EVAPORATIVOS NO AMBIENTE TÉRMICO DE *PACKING*
HOUSE NO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre em Engenharia
Agrícola, pela Universidade Federal do Vale do
São Francisco.

Aprovada em: 09 de fevereiro de 2021.

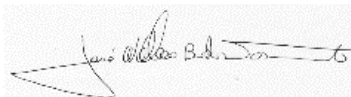
Banca examinadora



Silvia Helena Nogueira Turco, Prof.^a DSc. (UNIVASF)



Dian Lourençoni, Prof. DSc. (UNIVASF)



José Wallace Barbosa do Nascimento, Prof. DSc. (UFCG)



Miguel Júlio Machado Guimarães, Prof. DSc. (IFMA)

Dedico esta dissertação a meus pais, Alice Glória e Luciano Miranda.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as bênçãos e graças alcançadas.

À minha família, em especial meus pais, irmão e sobrinho, por todo amor e incentivo. Sei que posso contar com vocês para tudo, muito obrigada, amo vocês!

À Prof. Dra. Silvia Turco, por todos os ensinamentos e palavras de incentivo.

À Ítalo pelo companheirismo e dedicação em tudo que fizemos ao longo do mestrado e na vida. Obrigada por todo amor, carinho e incentivo!

À Magno Amorim por toda ajuda durante a realização do experimento, sua dedicação e gentileza foram essenciais.

À UNIVASF e ao PPGEA por toda estrutura fornecida.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos meus amigos, por toda torcida e apoio durante todos esses anos.

Aos professores do PPGEA por todo conhecimento transmitido.

Aos colegas do LACRA e NESATEC.

À Carol, secretária do PPGEA, por toda presteza em resolver os problemas burocráticos sempre com boa vontade e sorriso no rosto.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

“A persistência é o menor caminho do êxito” - Charles Chaplin

MIRANDA, I. B. **Resfriadores evaporativos no ambiente térmico de *packing house* no Submédio do Vale do São Francisco**. 2021. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro-BA.

RESUMO

A climatização de *packing houses* é fundamental para o bem-estar humano, e por se tratar de um ambiente de produção, é desejável que haja homogeneidade das variáveis ambientais. Devido às crescentes exigências de qualidade do mercado consumidor, os aspectos de segurança dos trabalhadores rurais têm grande relevância. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o ambiente da área de seleção e embalagem em *packing house* de uva de mesa climatizado com sistema de resfriamento evaporativo, a fim de caracterizar a variabilidade térmica espacial, identificar os pontos críticos de controle, verificar a redução da exposição ocupacional de trabalhadores ao calor e melhoria do conforto térmico, além de propor medidas corretivas às necessidades encontradas. Foram avaliadas as variáveis climáticas: temperatura de bulbo seco, úmido e de globo negro, umidade relativa do ar, velocidade do vento, e calculados os índices de Bulbo Úmido Temperatura de Globo (IBUTG), e de Temperatura Efetiva (ITE) nos períodos seco e chuvoso. Dois tratamentos foram avaliados: com resfriadores evaporativos (CR) e sem resfriadores (SR). A avaliação ocorreu de acordo com os critérios da legislação brasileira, aplicando-se as Normas Regulamentadoras (NR's) 15 e 17, do Ministério do Trabalho. A distribuição espacial das variáveis foi mapeada por krigagem. Em relação aos aspectos de segurança, houve redução da exposição ocupacional de trabalhadores ao calor, sem ultrapassar o limite de tolerância de IBUTG estabelecido pela NR 15. Contudo, não apresentou índices adequados de conforto térmico determinados pela NR 17. Para as condições de semiárido, os resfriadores tornaram o ambiente termicamente confortável para os trabalhadores locais. Recomenda-se instalar ventiladores para uniformizar a distribuição de ar em toda a área de seleção e embalagem. Para reduzir os riscos à saúde do trabalhador, sugere-se adotar pausas quando houver desconforto por calor e fornecer água e sais minerais aos trabalhadores para reposição das perdas por suor. Com os mapas de krigagem foi possível observar que a distribuição espacial da temperatura e velocidade do vento não foi homogênea, com melhores resultados nas regiões mais próximas aos resfriadores evaporativos. A análise geoestatística apresentou-se como ferramenta eficiente para a avaliação da distribuição das condições ambientais no *packing house*.

Palavras-chave: Ambiência. Beneficiamento de frutas. Climatização. Conforto térmico. Geoestatística. Variabilidade espacial.

MIRANDA, I. B. **Evaporative coolers in the thermal environment of a packing house in the Sub-medium São Francisco Valley**. 2021. 64p. Dissertation (Master in Agricultural Engineering). Federal University of São Francisco Valley. Juazeiro-BA.

ABSTRACT

The acclimatization of packing houses is fundamental for human welfare, and because it is a production environment, it is desirable that there is homogeneity of environmental variables. Due to the increasing quality requirements of the consumer market, the safety aspects of the rural workers have great relevance. Thus, the objective of this study was to evaluate the environment of the selection and packaging area in a table grape packing house acclimatized with evaporative cooling system in order to characterize the spatial thermal variability, identify the critical control points, verify the reduction of occupational exposure of workers to heat and improvement of thermal comfort, and propose corrective measures to the needs found. The following climatic variables were evaluated: dry bulb, wet bulb and black globe temperature, relative humidity, wind speed, and calculated the Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT), and the Effective Temperature Index (ETI) in the dry and rainy periods. Two treatments were evaluated: with evaporative coolers (CR) and without coolers (SR). The evaluation occurred according to the criteria of Brazilian legislation, applying the Regulatory Standards (NR's) 15 and 17, of the Department of Labor. The spatial distribution of the variables was mapped by kriging. Regarding safety aspects, there was a reduction in occupational exposure of workers to heat, without exceeding the WBGT tolerance limit established by NR 15. However, it did not present adequate indices of thermal comfort determined by NR 17. For semi-arid conditions, the coolers made the environment thermally comfortable for local workers. It is recommended to install fans to standardize the distribution of air throughout the selection and packaging area. To reduce the risks to the workers' health, it is suggested to adopt breaks when there is discomfort due to heat and provide water and mineral salts to the workers to replace sweat losses. With the kriging maps it was possible to observe that the spatial distribution of temperature and wind speed was not homogeneous, with better results in the regions closest to the evaporative coolers. The geostatistical analysis presented itself as an efficient tool for the evaluation of the distribution of environmental conditions in the packing house.

Keywords: Ambiance. Fruit processing. Climatization. Thermal comfort. Geostatistics. Spatial variability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. Produção de uva	13
2.2. <i>Packing house</i>	14
2.3. Conforto térmico humano	16
2.3.1. Temperatura do ar.....	17
2.3.2. Umidade Relativa	18
2.3.3. Vento.....	19
2.4. Índices térmicos.....	19
2.4.1. IBUTG	20
2.4.2. ITE.....	21
2.5. Sistemas de climatização	23
2.5.1. Ventilação natural	23
2.5.2. Ventilação forçada.....	24
2.5.3. Resfriamento evaporativo	25
REFERÊNCIAS.....	27
3. ARTIGO I: <i>Packing house</i> climatizado com resfriadores evaporativos - Parte 1: Exposição ocupacional ao calor	31
INTRODUÇÃO	32
MATERIAL E MÉTODOS	33
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
CONCLUSÕES	43
AGRADECIMENTOS	44
REFERÊNCIAS.....	44
4. ARTIGO II: <i>Packing house</i> climatizado com resfriadores evaporativos - Parte 2: Mapeamento geoestatístico	46
INTRODUÇÃO	47
MATERIAL E MÉTODOS	48
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
CONCLUSÕES	60
AGRADECIMENTOS	60
REFERÊNCIAS.....	60

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
ANEXO.....	64

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de frutas, produzindo cerca de 42 milhões de toneladas por ano, representando 25% do valor da produção agrícola nacional. A região margeada pelo Rio São Francisco, com destaque para as cidades de Juazeiro – BA e Petrolina – PE, gera faturamento anual de 2 bilhões de reais, criando 240.000 empregos diretos no campo. Por isso é considerada como a maior região produtora de frutas do Brasil (ACB, 2017).

Algumas características dessa região como luminosidade, umidade relativa e temperatura, favoreceram o crescimento da fruticultura, ultrapassando tradicionais centros produtores como as regiões Sul e Sudeste. Entretanto, as altas temperaturas aliadas a baixos teores de umidade relativa do ar podem causar desconforto térmico por calor aos trabalhadores rurais, até mesmo aqueles que trabalham em ambientes fechados, como os *packing houses*.

Apesar da relevância da fruticultura no cenário socioeconômico da região do Submédio Vale do São Francisco, são poucas as pesquisas envolvendo as instalações dos *packing houses*. E, quando encontradas, na maioria dos casos tratam apenas da relação entre o ambiente térmico e seu efeito nas frutas beneficiadas, sendo deixado de lado o elo fundamental da cadeia produtiva da fruticultura: o trabalhador rural.

Quando o ambiente de trabalho proporciona conforto térmico aos trabalhadores, aumenta-se a produtividade, refletindo em maior retorno financeiro ao empresário. O conforto térmico é resultado da interação de variáveis ambientais e humanas, e pode implicar no grau de satisfação, na saúde e desempenho de atividades das pessoas.

Para amenizar o desconforto térmico, são empregadas técnicas de climatização, que podem ser aplicadas de acordo com o nível tecnológico e recurso financeiro dos pequenos e médios empresários rurais. Entre as diversas técnicas destacam-se o uso de ventilação natural, ventilação forçada, ar condicionado e resfriamento evaporativo. O resfriamento evaporativo apresenta diversas vantagens comparadas aos outros sistemas, como por exemplo, a renovação do ar, facilidade de operação e baixa exigência de manutenção.

Diante deste cenário, é perceptível a importância da realização de pesquisas que envolvam o bem-estar e saúde do trabalhador rural, apresentando alternativas de climatização que envolvam menores custos de instalação e manutenção, permitindo que empresários rurais de pequeno e médio porte tenham acesso.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Produção de uva

Associadas a valores ambientais, históricos e territoriais que a diferencia das regiões vinícolas tradicionais do mundo, a viticultura brasileira apresenta características próprias. Devido à extensão territorial do Brasil e as diferenças climáticas entre as regiões produtoras, existem ciclos vegetativos e épocas de colheita em períodos distintos, assim é possível colher uvas durante o ano todo (DE MELLO, 2018).

A região do Vale do Submédio São Francisco tem apresentado crescimento destacado de produção, consumo e exportação de uva de mesa, responsável por mais de 99% das exportações brasileiras (MAIA; RITSCHER; LAZZAROTTO, 2018). As boas exportações em 2019, inclusive no primeiro semestre, favoreceram a oferta, que foi bem distribuída nos primeiros meses do ano (CEPEA, 2020).

Em 2019, foram plantados 74.866 hectares de uva no Brasil. Deste total, 74.625 hectares foram colhidos, representando aproveitamento de 99,68%. Foram produzidas 1.485.292 toneladas de uvas, com rendimento médio de 19.903 kg/ha (IBGE, 2019). Em 2020 as exportações brasileiras de uvas registraram bom desempenho em outubro, somando 14,1 mil toneladas e receita de 29,5 milhões de dólares, representando aumentos de 318,5% e 312,5%, respectivamente, comparado a setembro (CEPEA, 2020).

De acordo com a Secretaria de Comércio Exterior (Secex), nos embarques de setembro de 2020 houve alta de 52% em arrecadação e de 43% em volume, comparado ao mesmo período de 2019. Dados parciais até setembro de 2020

confrontados com a média dos últimos cinco anos (2015-2019), mostraram que houve aumento de 57% em volume e de 56% em receita (CEPEA, 2020).

2.2. *Packing house*

Packing house é um galpão de beneficiamento de frutas e hortaliças, podendo ainda armazenar esses produtos por determinado período de tempo. É nesta instalação que são realizados os procedimentos de limpeza, desinfecção e seleção dos frutos, além de pesagem, embalagem, resfriamento e armazenamento (ACEDO JR et al., 2016).

É importante ressaltar que os setores devem ser organizados de modo a permitir que seja realizada uma sequência de procedimentos (Figura 1), e impedir o contato entre os frutos que chegam e os que saem do *packing*, evitando recontaminação por materiais vindos do campo (ANTONIOILLI; LIMA, 2008).

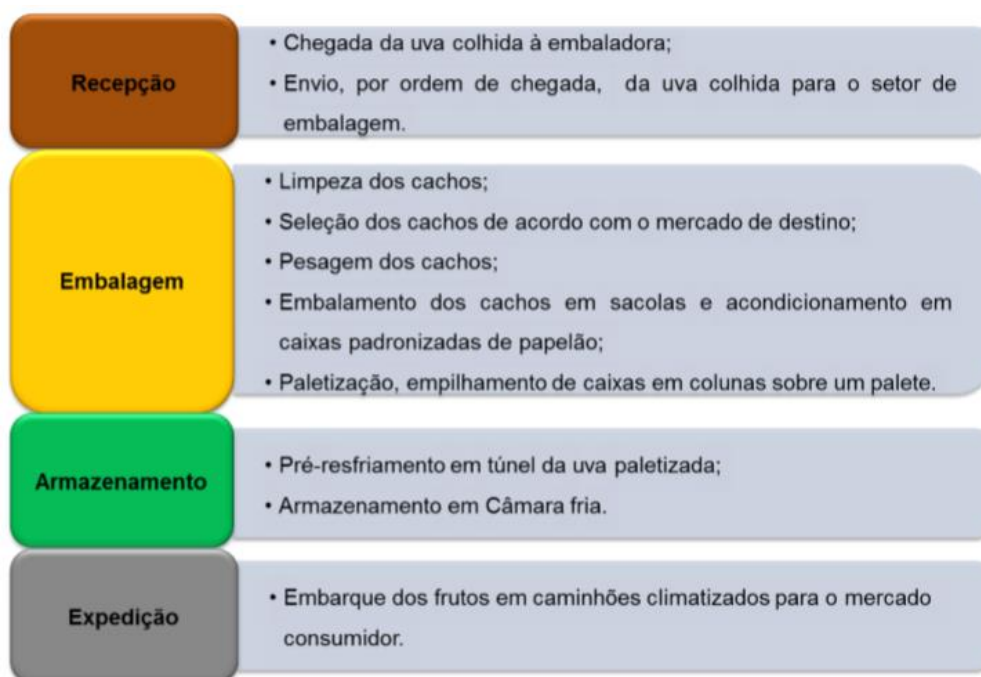


Figura 1. Etapas de beneficiamento de uvas de mesa em um *packing house*. Fonte: LUZ (2016)

Dentro da cadeia produtiva da uva de mesa, o *packing house* atua como um local de controle, onde a gestão da qualidade pode ser aplicada, garantindo abastecimento de produtos seguros e de qualidade confiável. A aplicação eficaz de

estratégias que visam reduzir ou eliminar a contaminação microbiana, química e física, permite alcançar determinados padrões de qualidade (FAO, 2012).

A crescente busca por produtos frescos, seguros e de boa qualidade por parte dos consumidores, indica a necessidade de implementar boas práticas de fabricação nos *packing's*. Portanto, todos os produtores devem estar atentos às mudanças quanto à produção centralizada e bem concebida em *packing houses* para a preparação de produtos para os mercados locais, e também para exportação (FAO, 2012).

Segundo a FAO (2012), quando passa a utilizar o *packing house* para executar as atividades de pós-colheita, o empresário rural se beneficia de algumas vantagens como:

- Aumento de produtividade dos trabalhadores, visto que, quando bem construídos e equipados, o *packing house* permite desempenho mais eficiente; o volume de mercadoria tratada aumenta e os erros de classificação e seleção são reduzidos.
- Valorização dos produtos, pois as mercadorias são melhor classificadas em diferentes graus e tamanhos, que podem comandar melhores preços que as linhas mistas de produtos.
- Maior prazo de validade dos produtos, pois proporcionam local apropriado onde as exigências do mercado consumidor podem ser devidamente realizadas. E, com equipe treinada e motivada, o manuseamento adequado dos produtos após a colheita é assegurado, minimizando os danos mecânicos e desenvolvimento de doenças, desacelerando a taxa de maturação e deterioração.

Os *packing houses* podem ser construídos utilizando grande diversidade de materiais de construção, e podem ser de qualquer tamanho e configuração, em função dos recursos disponíveis. Ao projetar as instalações é preciso considerar alguns fatores como funcionalidade, local, qualidade e volume de produtos que serão beneficiados, as operações desenvolvidas em seu interior, e segurança e conforto do trabalhador (ACEDO JR et al., 2016).

Os aspectos construtivos são cruciais na garantia das condições climáticas ideais. O ambiente térmico no interior dos *packing houses* afeta não só a qualidade dos frutos, como também a produtividade dos trabalhadores, que podem reduzir em condições de desconforto térmico (DACANAL et al., 2014).

A maioria dos *packing houses* são galpões simples, construídos em concreto ou estrutura metálica, com vedação em alvenaria e coberturas leves (telhas metálicas ou de fibrocimento). Os materiais de vedação, sobretudo cobertura e paredes externas, são altamente responsáveis pelo ganho térmico no interior da instalação (DACANAL et al., 2014).

Para manter temperatura e umidade relativa do ar dentro da zona de termo neutralidade, faz-se uso de materiais e técnicas construtivas que permitam bom isolamento térmico, sem renovações de ar não planejadas, além da instalação de equipamentos que controlem temperatura e umidade relativa do ar, como resfriadores evaporativos (LUZ, 2016).

2.3. Conforto térmico humano

Com pesquisas voltadas à identificação e caracterização de situações de estresse térmico em ambientes de trabalho, o estudo sobre conforto térmico surgiu nas primeiras décadas do século XX (HUMPHREYS; NICOL; ROAF, 2015).

Três fatores demonstram a importância dos estudos de conforto térmico: bem-estar, performance humana e economia de energia. O primeiro permite ao homem se sentir termicamente confortável; o segundo relaciona a redução do desempenho nas atividades intelectuais, manuais e perceptivas com o desconforto causado por frio ou calor; e o último evita desperdícios com calefação e refrigeração conhecendo-se as condições e características referentes ao conforto térmico dos ocupantes do ambiente (BRACARENSE et al., 2018).

Quando não há esforço para ocorrer as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente, o indivíduo tem a sensação de conforto térmico e sua capacidade de trabalho é máxima. Se houver sensação de frio ou calor, significa que o corpo está cedendo calor a mais ou a menos que o necessário para manter a homeotermia, gerando uma sobrecarga de esforço com queda do rendimento no trabalho, podendo evoluir até a perda de total capacidade e também provocar problemas de saúde (FROTA & SCHIFFER, 2001).

É de grande importância conhecer as variáveis térmicas e propriedades psicrométricas do ar nas atividades humanas, produção animal e vegetal. O estudo

da psicrometria se destaca na elaboração de projetos de armazenamento de hortifrutigranjeiros, como também no conforto ambiental das edificações (SAMPAIO et al, 2018).

Diversos fatores podem exercer influência nas condições de conforto térmico de cada pessoa. Sexo, idade, raça, peso, hábitos alimentares e altura são alguns exemplos. Além disso, existem as variáveis humanas, como o metabolismo gerado pela atividade física e a resistência térmica promovida pela vestimenta; e as variáveis ambientais, como temperatura, velocidade e umidade relativa do ar e temperatura radiante média (LAMBERTS et al., 2016).

No contexto industrial, um dos principais motivos de insatisfação nos locais de trabalho é o desconforto térmico sentido pelas pessoas quando expostas a ambientes quentes ou frios (MORGADO, 2015). Variações na temperatura ambiente e umidade relativa do ar podem influenciar no conforto térmico do trabalhador, e comprometer sua produtividade física e mental, provocando stress térmico, aumento de tensão, e conseqüentemente afetará seu desempenho (HOLMÉR, 2010).

Segundo Lamberts et al. (2016), a performance humana, no exercício de atividades intelectuais, manuais e perceptivas, apresentam rendimento melhor quando realizadas em ambientes confortáveis, que apresentem boa climatização, iluminação e, principalmente, ventilação.

2.3.1. Temperatura do ar

A temperatura do ar é um parâmetro essencial em estudos nas áreas das ciências florestais, geociências, agricultura e ambiência. Entre os elementos climáticos, é a temperatura que promove maiores efeitos diretos e significativos sobre diversos processos fisiológicos de pessoas, animais e plantas. Portanto, em estudos de planejamentos agrícolas seu conhecimento se torna essencial (LYRA et al., 2011).

Para Lamberts et al. (2014), a temperatura do ar é a principal variável de conforto térmico e não resulta da ação direta dos raios solares, e sim é consequência de um balanço energético onde intervêm: a radiação solar incidente e o coeficiente de absorção da superfície receptora; a condutividade e a capacidade

térmica do solo que determinam a transmissão de calor por condução e as perdas por evaporação e convecção.

A temperatura do ar apresenta ciclo diário, passando por valor máximo e mínimo. Geralmente as temperaturas máximas ocorrem entre 14 e 15 horas e as mínimas pouco antes do nascer do sol (ROCHA, 2016).

A temperatura do ar é determinada geralmente por medições de variáveis que são funções de volumes de líquidos, resistências elétricas, força eletromotriz, etc. Qualquer que seja a variável com a qual está sendo relacionada à temperatura, a leitura do sensor corresponde somente à temperatura onde ele se encontra, podendo diferir ou não da temperatura do fluido geral a ser medido (LAMBERTS et al., 2016).

2.3.2. Umidade Relativa

A presença de vapor de água no ar é originada da evaporação natural da água e transpiração dos vegetais. Esse vapor de água na atmosfera é tratado como umidade, que pode ser expressada como absoluta, relativa e pressão de vapor (CUNHA, 2013).

A umidade é um dos parâmetros utilizados para definir o grau de conforto ambiental do ambiente. Para minimizar sensações desagradáveis como excesso de suor, pele ressecada, problemas respiratórios e proliferação de microrganismos, recomenda-se que a umidade relativa do ar oscile entre 40 e 70% (GONÇALVES et al., 2012).

Quando os níveis de umidade do ar estão elevados, a capacidade de evaporação do suor liberado pela pele diminui, aumentando a sensação de desconforto térmico, além da dificuldade de respirar. Quando os níveis estão baixos, a capacidade evaporativa aumenta, melhorando a sensação térmica experimentada (LAMBERTS et al., 2014).

O desempenho da umidade relativa do ar apresenta forte relação com a temperatura do ar, qualquer que seja o ambiente (interno ou externo). Com a sensação de frescor na pele devido a maior evaporação do suor, o trabalhador

executa suas atividades com sensação térmica mais amena que a temperatura do ar indicada pelo termômetro (PINTO, 2011; ROCHA, 2016).

2.3.3. Vento

Considerada uma das variáveis climáticas mais difíceis de serem previstas, o vento ou movimento de massas de ar ocorre em função do gradiente de temperatura existente entre as massas de ar. Esta diferença de temperatura implica em um deslocamento da área de maior pressão, onde o ar é mais frio e mais pesado, para a área de menor pressão, onde o ar é quente e leve (LAMBERTS, 2014).

O vento é uma variável meteorológica que influencia e sofre influência de outros elementos, provocando condições específicas no espaço urbano, sobretudo nos processos de troca de calor (convecção) e de umidade (evaporação). No estudo do conforto térmico, a direção e intensidade do vento são consideradas variáveis de evidência (VAREJÃO, 2006).

À medida que se torna mais forte que a necessidade de eliminação de suor, o vento pode trazer sensação de frescor ou desconforto. Ao soprar sobre a superfície da água torna-se úmido, garantindo uma umidade relativa menos baixa e mais confortável, refrescando o ar. Em projetos é possível corrigir condições de umidade incompatíveis ao uso do ambiente interno por meio de ventilação (BARROSO-KRAUSE et al., 2005).

2.4. Índices térmicos

Para avaliar o conforto térmico de um ambiente, podem ser utilizados diversos índices de conforto. Estes foram criados diante da necessidade de caracterizar um ambiente analisando diferentes variáveis que afetam o homem, sobretudo em relação à sensação térmica, saúde e produtividade. Por meio dos índices é possível

sugerir adequações em projetos arquitetônicos construídos na zona rural e que são direcionados às necessidades do ser humano (ROCHA, 2016).

Existem três categorias de índices: os biofísicos, que são baseados nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente; os fisiológicos, que se baseiam nas reações fisiológicas com origem em conhecidas condições de temperatura e umidade do ar, temperatura radiante média e velocidade do vento; e os índices subjetivos, que tem como base as sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam (SILVA et al., 2018).

Os diversos índices térmicos desenvolvidos nas últimas décadas são ferramentas capazes de auxiliar na identificação de diretrizes mais adequadas ao clima, visto que colaboram na descrição e quantificação do meio térmico humano e do efeito das condições de troca de calor entre o corpo e o ambiente (PÉTALAS, 2015).

Para estabelecer os parâmetros relacionados às condições de conforto térmico, é necessário agrupar informações sobre as variáveis climáticas, temperatura das superfícies presentes no ambiente e a atividade desenvolvida pelas pessoas (UNGER et al., 2017). Utilizando os índices térmicos é possível quantificar o grau de exposição ao calor e caracterizar as zonas de conforto térmico sem precisar de informações qualitativas dos indivíduos, facilitando e agilizando as análises dos ambientes (SALIBA; LANZA, 2016).

2.4.1. IBUTG

O Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) é utilizado para avaliar o conforto térmico em ambientes de trabalho, por meio da norma regulamentadora (NR 15), que dispõe sobre atividades e operações insalubres e estabelece relações entre a intensidade da atividade e o valor limite de exposição ao calor.

O IBUTG faz uso das medidas climatológicas de temperatura de bulbo úmido natural, temperatura de globo negro e temperatura de bulbo seco (ou temperatura do ar), e é calculado por meio de duas equações. As equações levam em consideração se o ambiente de trabalho é interno ou externo e, para os ambientes externos, se há a presença de radiação solar ou não.

Em ambientes internos ou externos sem carga solar:

$$\text{IBUTG} = 0,7T_{bn} + 0,3T_g$$

Em ambientes externos com carga solar:

$$\text{IBUTG} = 0,7T_{bn} + 0,1T_{bs} + 0,2T_g$$

Em que:

T_{bn} : Temperatura do bulbo úmido natural (°C).

T_g : Temperatura de globo negro (°C).

T_{bs} : Temperatura de bulbo seco (°C)

Leite (2002) aponta que o IBUTG é um índice empírico, de fácil e rápida determinação em um ambiente industrial, e que possibilita fazer uma análise quantitativa detalhada do estresse térmico, buscando melhorar o ambiente e o processo laboral.

2.4.2. ITE

Entre as diversas variáveis ambientais existentes, três são fundamentais para avaliar o conforto térmico que um ambiente propicia às pessoas nele inseridas: temperatura de bulbo seco, umidade e velocidade do ar. A ação combinada dessas variáveis proporciona um ambiente adequado para o desenvolvimento de atividades laborais (CAMARGO, 2009).

Por meio de um ábaco, onde os dados de entrada são os valores da temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e velocidade do ar no instante da medição, determina-se a temperatura efetiva como dado de saída.

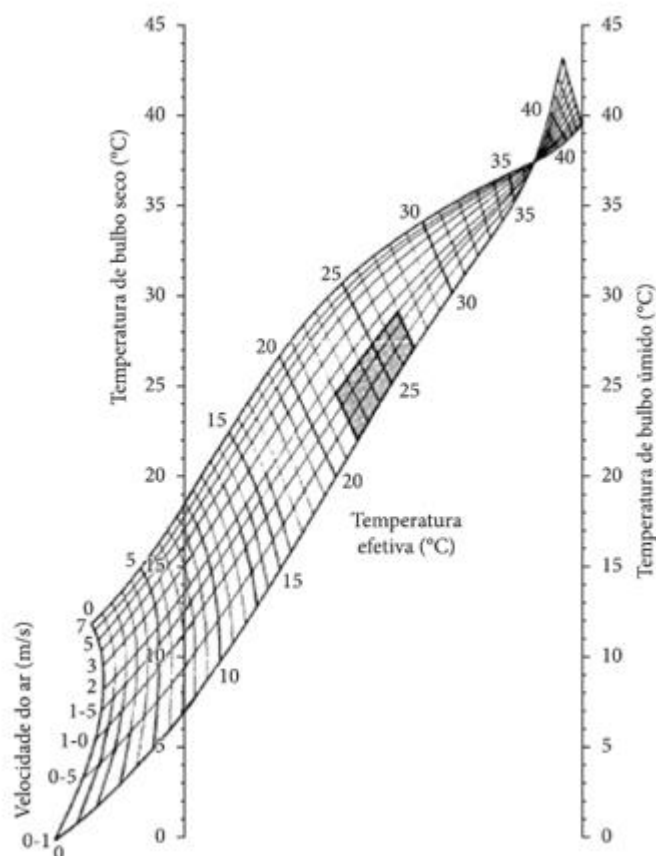


Figura 2. Ábaco usado para determinação da temperatura efetiva.

No Brasil, a NR-17 que trata sobre ergonomia, determina que para o ambiente de trabalho ser considerado confortável, o Índice de Temperatura Efetiva deve estar entre as faixas de 20 e 23 °C, a velocidade do ar não deve ser superior a 0,75 m/s e a umidade relativa do ar não deve ser inferior a 40%.

Por relacionar a ação concomitante da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar, fatores que determinam as sensações de frio ou calor sentidas pelo corpo humano, o ITE representa bem a sensação térmica sentida pelas pessoas (RAFAEL, 2020).

2.5. Sistemas de climatização

Para obter um ambiente mais agradável em locais fechados, usa-se de processos de tratamento de ar, para controlar simultaneamente a sua temperatura, umidade, pureza e movimentação. A esse processo dá-se o nome de climatização (SILVA, 2003).

A velocidade do ar é determinante no processo de climatização e conforto térmico, por sua relevância no processo de troca de calor por convecção entre o corpo e o ambiente. Quanto mais intensa a ventilação, menor será a sensação de calor, já que a quantidade de calor trocado entre o corpo e o ar será maior (RAFAEL, 2020).

Diversos estudos relacionam o uso de ventilação natural e mecânica com a melhoria do conforto e maior aceitação por parte dos usuários em climas quentes (HAMZAH et al. 2016; BUONOCORE et al. 2018).

A ventilação mecânica, também chamada de forçada, é adotada sempre que não é possível renovar o ar adequadamente por meios naturais, e tem a vantagem de possibilitar o tratamento do ar (filtração, umidificação, resfriamento, secagem, despoluição, etc.) e melhorar sua distribuição.

2.5.1. Ventilação natural

Ventilação natural é o fluxo de ar intencional através de janelas abertas, portas, grades, e outras penetrações através do envoltório da edificação, e é orientada pelos diferenciais de pressão produzidos naturalmente (ROCHA, 2016). De forma adequada, permite renovar o ar no ambiente e reduzir a temperatura interna, melhorando as condições de conforto térmico e diminuindo o consumo de energia elétrica (CHRISTMANN et al., 2015).

Empregar a ventilação natural como forma passiva de amenização do desconforto térmico é possível graças à utilização de elementos construtivos

adequados, tecnologias apropriadas e o aproveitamento dos condicionantes climáticos de cada região na construção das edificações, corroborando a eficiência deste método na redução do calor (NICO-RODRIGUES; ALVAREZ, 2011).

Bittencourt & Cândido (2010) afirmam que existem três finalidades complementares para utilização de ventilação natural em uma habitação: manter a qualidade do ar nos ambientes internos; remover a carga térmica adquirida pela edificação, em decorrência dos ganhos de calor externos e internos, e promover o resfriamento fisiológico dos usuários.

Para Pedrini (1997), a ventilação natural é uma das principais estratégias bioclimáticas para proporcionar conforto térmico em um ambiente, e que por meio dela proporciona-se a remoção do calor interno de um edifício e aumenta-se a perda de calor dos indivíduos. Cândido (2010), afirma que edifícios com ventilação natural proporcionam ambientes internos com maiores índices de satisfação dos ocupantes e cooperam com a redução do uso de energia no setor da construção.

Segundo De Dear e Brager (2002), a ventilação natural contribui para a redução da necessidade de refrigeração mecânica de quatro formas: removendo diretamente o ar quente quando o ar de entrada estiver mais frio que o ar de saída; diminuindo a sensação de calor dos ocupantes devido ao efeito de resfriamento do movimento do ar; favorecendo o resfriamento noturno do edifício; e aumentando o intervalo aceitável de temperaturas através de adaptação psicológica, nos locais que os ocupantes têm controle direto das janelas operáveis.

2.5.2. Ventilação forçada

Ventilação forçada é o movimento intencional de ar para dentro e para fora do edifício usando ventiladores, insufladores e exaustores; é também conhecida como ventilação mecânica (ASHRAE, 2001, apud MATOS, 2007). Ela pode ser classificada, em geral, como diluidora ou local exaustora.

A ventilação forçada é produzida por equipamentos especiais, como exaustores e ventiladores, e deve ser utilizada sempre que não houver

movimentação adequada do ar ou redução da temperatura ambiente com as condições naturais de ventilação. Apresenta as vantagens de permitir filtragem, distribuição uniforme e suficiente do ar no ambiente, e não depender das condições atmosféricas. Dimensionando os ventiladores e as entradas e saídas de ar, controla-se a taxa de ventilação (ROSA, 2009).

2.5.3. Resfriamento evaporativo

O resfriamento evaporativo é um conceito definido como resfriamento do ar por meio do aumento de seu conteúdo de vapor de água. Em outras palavras, o ar se torna mais frio enquanto seu teor de umidade aumenta. O princípio físico por trás dessa técnica de resfriamento consiste em potencializar a evaporação de gotículas de água e favorecer seu contato com o ar ou com uma superfície, com o objetivo de promover condicionamento ambiental e o conforto térmico humano (KRÜGER et al., 2016).

À medida que o ar cede calor sensível, as gotículas de água passam do estado líquido para o gasoso, e como consequência do processo de transferência de calor sensível ocorre a evaporação da água. Assim, a temperatura do ar diminui e a umidade no interior do ambiente aumenta de acordo com uma escala psicrométrica (MASIERO et al., 2020).

Em termos de desempenho térmico, um sistema de resfriamento evaporativo é atraente principalmente em condições climáticas quentes e áridas, devido ao notável potencial de incremento de umidade do ar que resulta em reduções significativas de temperatura (CUCE; RIFFAT, 2016). Quanto mais elevadas as temperaturas, maior a eficiência do resfriamento evaporativo, ou seja, em situações onde há maior necessidade de resfriamento para promover o conforto térmico humano.

O resfriamento evaporativo tem ainda outros atrativos como o baixo consumo de energia, facilidades de manutenção, instalação e operação. Também não agride o meio ambiente, visto que não utiliza gases CFC ou HFC. Outra vantagem é que,

por promover renovação total do ar, elimina-se a recirculação e a proliferação de fungos e bactérias, problema constante nos sistemas convencionais de condicionamento de ar (CAMARGO, 2003). Esse sistema de resfriamento é usado de diversas maneiras em várias partes do mundo, muitas vezes até mesmo de forma rudimentar, para se obter conforto ambiental humano (MASIERO et al., 2020).

O processo de resfriamento evaporativo ocorre, teoricamente, de forma adiabática. A mistura ar seco e vapor d'água faz com que ocorram modificações na temperatura do ar e na razão da umidade. É desejável que o ar de saída atinja a condição de saturação, para melhor desenvolvimento dos resfriadores evaporativos comerciais. Contudo, isso não ocorre (VIANA, 2017).

Camargo (2003) afirma que a maioria dos novos resfriadores evaporativos comerciais atinge cerca de 80% de saturação e, teoricamente, no processo ocorre a entalpia constante, mas, num processo real, a entalpia sofre pequena variação.

Por meio da figura 3 observa-se a configuração típica de um resfriador evaporativo direto e a sua variação de temperatura e umidade durante o processo de resfriamento.

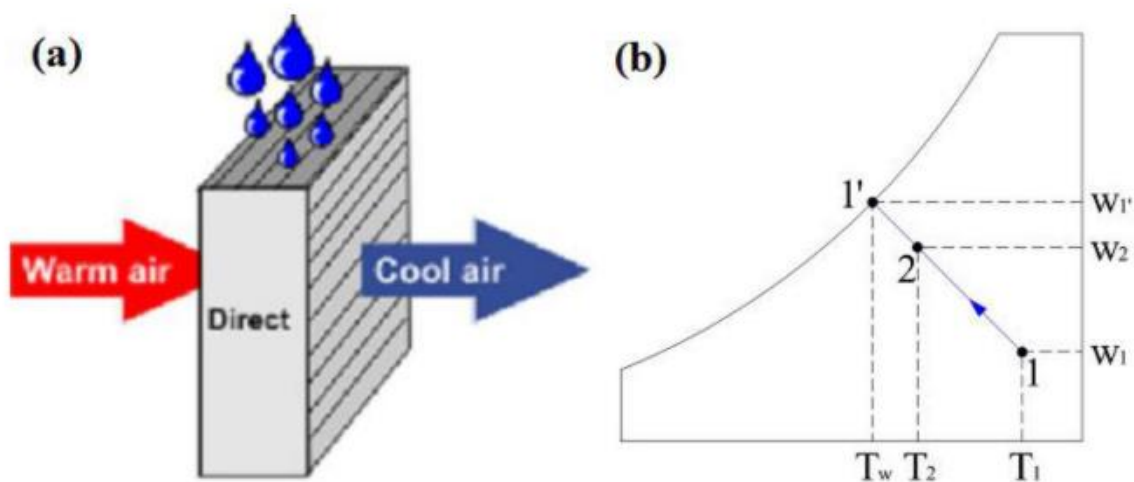


Figura 3. Sistema de resfriamento evaporativo direto de configuração típica (a) e Representação psicrométrica (b). Fonte: XU JIA (2014)

Em (a) é possível visualizar o resfriamento de um fluxo ar quando em contato direto com água em um painel evaporativo. É possível identificar em (b) que o ar inicialmente quente e seco é arrefecido, passando do estado 1 para o estado 2 e, na

sequência, para o estado de saturação 1'. Durante todo o processo, o ar apresenta ganho de massa (razão de umidade) e perde calor sensível.

REFERÊNCIAS

ACEDO JR, A. L.; RAHMAN, M. A.; BUNTONG, B.; GAUTAM, D. M. **Establishing and managing smallholder vegetable packhouses to link farms and markets.** Publication No. 16-801. AVRDC – The World Vegetable Center, Taiwan, 2016. 46 p.

ANTONIOLLI, L. R.; LIMA, M. A. C. **Boas práticas de fabricação e manejo na colheita e pós colheita de uvas finas de mesa.** Circular Técnica 77. Bento Gonçalves, RS: Embrapa, 2008. 12 p.

ASSOCIAÇÃO COMERCIAL DA BAHIA – ACB. **A fruticultura no Vale do São Francisco.** Disponível em: <https://acbahia.com.br/a-fruticultura-no-vale-do-sao-francisco>. Setembro, 2017.

BARROSO-KRAUSE, C.; SANTOS, M.J. DE O.; NIEMEYER, M. L.; PORTO, M. M. **Bioclimatismo no Projeto de Arquitetura: Dicas de Projeto.** Apostila da disciplina de Conforto Ambiental. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. 83p.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Ventilação Natural em edificações.** Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA, 2010.

BRACARENSE, L.S.F.P.; CRUZ, B.C.B.L.; MONTEIRO, A.J.F; SANTOS, A.P.F.; VENÂNCIO, S.L.A.; PEREIRA, E.C. **Índices de Conforto Térmico: Limitações e Variações de Classificação.** In: Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, 8, Coimbra, Anais, 2018.

BUONOCORE, C. O; DE VECCHI, R.; SCALCO, V.; LAMBERTS, R. **Influence of relative air humidity and movement on human thermal perception in classrooms in a hot and humid climate.** Building and Environment, v. 146, p. 98–106, 2018.

CAMARGO, J. R. **Sistemas de resfriamento evaporativo-adsortivo aplicados ao condicionamento de ar.** 2003. 140f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2003.

CAMARGO, J. R. **Resfriamento Evaporativo: Climatização Ecológica.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2009. 170 p

CHRISTMANN, S. S.; BITELBRON, A. F. F.; NOGUEIRA, B. T. M. V. **Estudo da Ventilação Natural em uma Edificação Residencial.** Revista Gestão e Desenvolvimento Em Contexto- Gedecon. v. 3, nº. 01, p. 13-24. 2015.

CUNHA, G. C de A. **Influência da tipologia de coberta e aberturas de ventilação no conforto térmico em habitação de interesse social**. 2013. 162 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

CUCE, P. M.; RIFFAT, S. **A state of the art review of evaporative cooling systems for building applications**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v.54, 2016.

DACANAL, C.; TURCO, S.; LUZ, S.; CAMPELO, O. **Avaliação de desempenho térmico de Packing Houses de frutas no clima tropical semiárido**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, p. 2041 - 2050, 2014.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55**. Energy and Buildings, v. 34, p. 549-561, 2002.

DE MELLO, L. M. R. **Panorama da produção de uvas no Brasil**. Embrapa Uva e Vinho-Nota Técnica/Nota Científica (ALICE), 2018.

FAO. **Good practice in the design, management and operation of a fresh produce packing-house**. FAO Regional Office for Asia and the Pacific Bangkok, 2012.

FROTA, A.B; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Editora Studio Nobel, 2001.

GONÇALVES, F. L. T.; NEDEL, A. S.; ALVES, M. R. C. **An analysis of the air relative humidity in internal and external environment in the city of São Paulo, Brazil**. Revista Brasileira de Medicina, v. 69, 2012.

HAMZAH, B.; ISHAK, M.; BEDDU, S.; OSMAN, M. **Thermal comfort analyses of naturally ventilated university classrooms**. Structural Survey, v. 34, p. 427-445, 2016.

HOLMÉR, I. **Climate change and occupational heat stress: methods for assessment**. In: GLOB HEALTH ACTION, 3. Anais. 2010.

HUMPHREYS, M.; NICOL, F.; ROAF, S. **Adaptive Thermal Comfort: Foundations and Analysis**. NewYork: Routledge, 2015. 378p.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. 2019.

MAIA, J. D. G.; RITSCHER, P.; LAZZAROTTO J. J. **A Viticultura de Mesa no Brasil**, Territoires du vin [Online], 9 | 2018, Online since 09 October 2018, connection on 11 December 2020. Disponível em:<http://preo.u-bourgogne.fr/territoiresduvin/index.php?id=1546>

KRÜGER, E. L. et al. **Avaliação do potencial de resfriamento de um sistema teto-reservatório para condições subtropicais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 107-125, jul./set. 2016.

LAMBERTS R, DUTRA L, PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura** [internet]. 3. ed. São Paulo: Procel/ProLivros; 2014. [acesso em 2019 ago 15]. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf

LAMBERTS et al. **Conforto e stress térmico**. Apostila da disciplina: Conforto Ambiental. Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. 144p.

LEITE, E. S. C. de, **Stress Térmico por Calor - Estudo comparativo dos métodos e Normas de quantificação**. 2002. 152 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LUZ, S. do N. **Tipologia construtiva de embaladoras de uva e adequação ao clima tropical semiárido: Diagnóstico na ride Petrolina - Juazeiro**. 2016. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2015.

LYRA, G. B.; SANTOS, M. J. dos; SOUZA, J. L. de. **Espacialização da temperatura do ar anual no estado de alagoas com diferentes modelos digitais de elevação e resoluções espaciais**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 2, p.275-287, jun. 2011.

MASIERO, Erico et al. **Estudo experimental de condicionamento ambiental com resfriamento evaporativo direto**. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 151-173, 2020.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. 2007. 108 p. Dissertação Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina. 2007.

MORGADO, M.; TALAIA, M.; TEIXEIRA, L. **A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders**. International Journal of Industrial Ergonomics, v.60, p.3-13, 2015.

NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. **Método de Avaliação de Desempenho para Janelas em Residências Multifamiliares em Vitória-ES: Ênfase no Conforto Proporcionado pela Ventilação**. Hábitat Sustentable, Concepción, v. 1, n. 1, p. 14-24, 2011.

PEDRINI, A. **Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética de Edificações**. 1997. 186 f. mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

PETALAS, K. V. **Estudo da sensação térmica e definição de limites de conforto para espaços abertos na cidade de Fortaleza, CE**. 2015. 274 p. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

PINTO, N de M. **Condições e parâmetros para a Determinação de Conforto Térmico em ambientes industriais do ramo metal mecânico.** 2011. 110 p. Dissertação Mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2011.

RAFAEL, A. de P. **Estudo experimental do desempenho de um sistema alternativo de resfriamento de baixo custo.** Monografia - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. 67f. 2020.

ROCHA, V. de P. T. **Conforto térmico de residência no semiárido paraibano: estudo de caso.** 2016. 151 p. Dissertação Mestrado – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, Paraíba, 2016.

ROSA, J. F. V. **Avaliação de painéis porosos constituídos de argila expandida em sistemas de resfriamento adiabático evaporativo.** 2009. 82f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, 2009.

SAMPAIO, C. A. DE P.; TEREZO, R. F.; PRADO, G. DO; ZULPO, A. P. **Programa computacional para determinação de variáveis psicrométricas do ar úmido e os índices de conforto térmico.** Revista Energia na Agricultura, Botucatu, v. 33, n.2, p.142-147, 2018.

SALIBA, T. M.; LANZA, M. B. F. **Estratégia de avaliação dos riscos ambientais: tratamento estatístico dos dados.** São Paulo/SP: LTR, 2016. 115 p.

SILVA, F.D.S.; COSTA, R.L.; ANTONIO, M.A.V.; AFONSO, E.O.; SANTOS, D.M.; MATEUS, N.P.A.; ANTONIO, J.F. **Tendências observadas da evapotranspiração potencial no estado de Alagoas (1961-2016).** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 11, n. 1, p. 2036-2049, 2018.

SILVA, J.G. **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização.** São Paulo, SP: Artliber Editora, 2003.

UNGER, J.; SKARBIT, N.; GAL, T. **Evaluation of outdoor human thermal sensation of local climate zones based on long-term database.** International Journal of Biometeorology, v. 62, n. 3, p. 183-193, 2017.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** XX ed. Recife: Editora, 2006.

VIANA, F. C. de A. **Modelagem, simulação e análise de sistemas de condicionamento de ar puramente dessecante, por compressão de vapor e híbrido.** Tese de Doutorado - João Pessoa, 2017. 231 f.

3. ARTIGO I: *Packing house* climatizado com resfriadores evaporativos - Parte 1: Exposição ocupacional ao calor

*Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

Resumo: Aspectos de segurança em unidades de beneficiamento de frutas têm grande relevância devido às crescentes exigências de qualidade do mercado consumidor. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso de resfriadores evaporativos na redução da exposição ocupacional de trabalhadores ao calor e na melhoria do conforto térmico na área de seleção e embalagem em *packing house*. A avaliação ocorreu de acordo com os critérios da legislação brasileira, aplicando-se as Normas Regulamentadoras (NR's) 15 e 17, do Ministério do Trabalho. O estudo ocorreu durante dois períodos climáticos de produção: seco e chuvoso, com os resfriadores evaporativos ligados e desligados. Com os resfriadores, houve redução da exposição ocupacional dos trabalhadores ao calor, sem ultrapassar o limite de tolerância de IBUTG para as atividades desenvolvidas, de acordo com a NR 15. Contudo, não apresentou índices adequados de conforto térmico, segundo a NR 17. Para as condições de semiárido, os resfriadores tornaram o ambiente termicamente confortável para os trabalhadores locais. Para reduzir os riscos à saúde do trabalhador, sugere-se adotar pausas quando houver desconforto por calor e fornecer água e sais minerais aos trabalhadores para reposição das perdas por suor.

Palavras-chave: ambiência, climatizador, conforto térmico, unidade de beneficiamento de frutas

Occupational heat exposure in climatized packing house with evaporative coolers

Abstract: Safety aspects in fruit processing units have great relevance due to the increasing quality requirements of the consumer market. The objective of this study was to evaluate the effect of using evaporative coolers to reduce occupational exposure of workers to heat and to improve thermal comfort in the selection and packing area of a packing house. The evaluation was done according to the criteria of the Brazilian legislation, applying the Regulatory Norms (NR's) 15 and 17, of the Department of Labor. The study occurred during two climatic periods of production: dry and rainy, with the evaporative coolers on and off. With the coolers, there was a reduction in occupational exposure of workers to heat, without exceeding the WBGT tolerance limit for the activities developed, according to NR 15. However, it did not show adequate levels of thermal comfort, according to NR 17. For semi-arid conditions, the coolers made the environment thermally comfortable for local workers. To reduce the risks to workers' health, it is suggested to adopt breaks when there is discomfort due to heat and provide water and mineral salts to workers to replace sweat losses.

Key-words: ambiance. conditioners. thermal comfort. fruit processing unit

INTRODUÇÃO

Unidades de beneficiamento de produtos agrícolas têm grande importância no agronegócio brasileiro devido às crescentes exigências de qualidade da produção e competitividade do mercado, destacando-se a apreensão em relação aos aspectos de segurança do trabalho. Contudo, pesquisas focadas em questões de saúde laboral nestes locais são escassas, e a maior parte foca em produtividade, além de tecnologia de equipamentos (Martins et al., 2017).

Os trabalhadores do agronegócio são expostos a condições de trabalho com altas temperaturas regularmente, e devido às exigências físicas do setor, produzem com frequência considerável excesso de calor, aumentando os riscos de estresse térmico mesmo em condições moderadamente quentes, com conseqüente redução da produtividade laboral. Portanto, limitar a exposição ao calor e prevenir desidratação é de interesse tanto de empregadores como de empregados (Staal Wästerlund, 2018).

O uso de técnicas de resfriamento evaporativo para adequação térmica do ambiente é fundamentado por diversos fatores, sendo os principais a saúde dos usuários das instalações, visto que diferente do ar condicionado, há renovação do ar; facilidade de operação; baixa exigência de manutenção e a necessidade de alternativas tecnológicas condizentes com o clima de cada região (Chaudhari et al., 2015; Krüger et al., 2016).

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso de resfriadores evaporativos na redução da exposição ocupacional de trabalhadores ao calor e na melhoria do conforto térmico da área de seleção e embalagem de um *packing house* de uvas de mesa, bem como

propor medidas corretivas às necessidades encontradas, em prol de ofertar um ambiente termicamente confortável.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área de seleção e embalagem de um *packing house* de uva de mesa de uma fazenda agrícola comercial localizada em Casa Nova, BA, Brasil. O clima local, segundo classificação de Köppen, é Bsw^h, também conhecido como semiárido, caracterizado por ser muito quente e seco, com temperatura média anual de 27 °C e umidade relativa de 50,63%, baixa precipitação média anual má distribuída, concentrando-se em apenas 3 ou 4 meses, sendo o mês de março o que apresenta precipitação máxima e o de agosto mínima.

O *packing house* foi construído com estrutura em concreto armado e cobertura metálica, alvenaria nas vedações externas e nas divisões internas. Possui portas e aberturas para facilitar a passagem do fluxo de ar do ambiente. A cobertura tem três divisões, uma em arco (central) e duas em queda d'água para as laterais e pé direito de 4,0 m e área interna total de 640,20 m². Possui 12 exaustores eólicos na cobertura, com dimensões 0,63 m de altura, 0,90 m em sua parte mais larga e 0,57 m em sua extremidade, além de 2 resfriadores evaporativos, ambos com potência de 1,3 kw h⁻¹, vazão de ar de 36.000 m³ h⁻¹ e área efetiva de abrangência de 180 a 280 m².

A metodologia e procedimentos empregados seguiram os critérios exigidos na Norma Regulamentadora (NR) nº 15 (BRASIL, 2019), e na Norma de Higiene Ocupacional (NHO) 06 (BRASIL, 2017). Para que os dados fossem coletados em situação real, o estudo ocorreu durante o expediente de trabalho de 8 às 17 h. Foram considerados dois períodos de produção com condições climáticas distintas: um no mês de novembro de 2019 (seco), e outro no mês de março de 2020 (chuvoso).

Dados microclimáticos foram registrados em 18 pontos diferentes, 1 em cada bancada de trabalho, distribuídos ao longo da linha de beneficiamento, distanciados a cada 3,5 m, sendo que as análises ocorreram considerando as médias dos pontos dentro de 3 setores: início, meio e fim, conforme demonstrado na Figura 1.

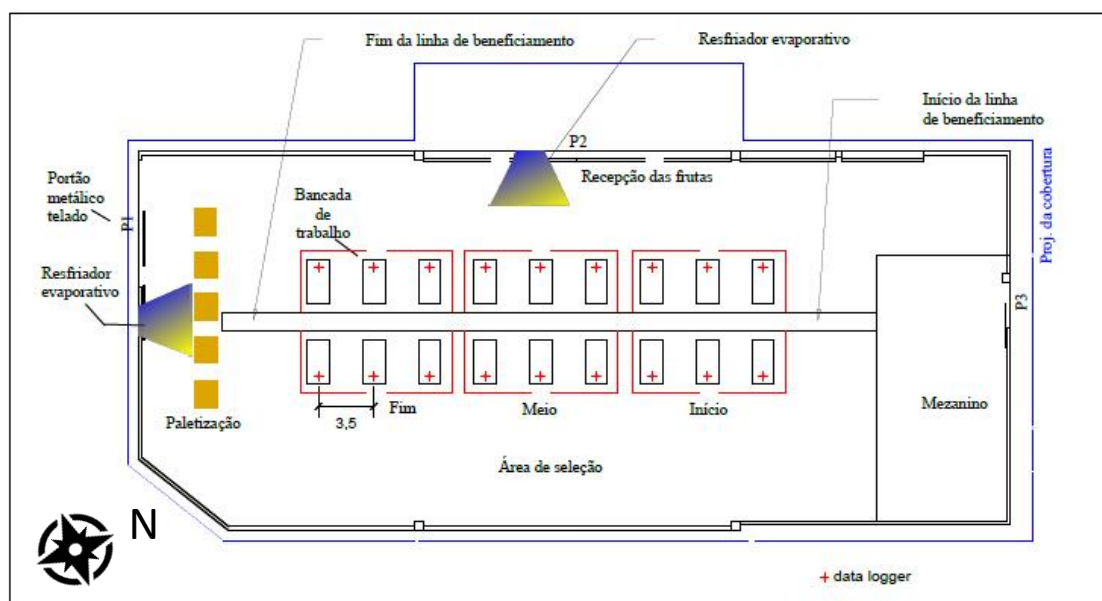


Figura 1. Layout da área de seleção do *packing house* com a localização dos setores analisados

Em cada bancada ficam 4 funcionárias, 2 de cada lado, em jornada de trabalho contínuo, em pé, realizando movimentos moderados com braços e mãos, que envolvem pegar os contentores que chegam do campo com aproximadamente 8 kg de uvas de uma esteira a uma altura de 0,80 m e colocar em bancada de 0,90 m de altura; em seguida selecionar, classificar e embalar as frutas; e por fim colocar a caixa pronta para venda com 5 kg de uvas, na parte superior da esteira a 1,15 m de altura.

Os sensores foram instalados próximos aos trabalhadores, à altura de 1,5 m do chão, em estruturas metálicas próprias da instalação, evitando o uso de tripés como geralmente ocorre, desobstruindo o espaço físico, e preservando a rotina das atividades de trabalho.

Foram instalados data loggers modelo Hobo U12-013 (Onset Computer Corporation, Pocasset, MA, USA) faixa de medição de temperatura entre -20 e 70 °C e precisão de +/- 0,35

°C, e umidade relativa entre 5 e 95%, com precisão de +/- 2,5%, juntamente com termopares modelo TMCx-HD (Onset Computer Corporation, Pocasset, MA, USA) faixa de medição de -40 a 100 °C, onde foram acoplados globos negros. Assim, foram coletados dados de temperatura, umidade relativa e temperatura de globo negro do ar a cada 15 min para posterior realização de médias a cada 1 h.

Também foram coletados dados de velocidade do vento utilizando anemômetro de fio quente modelo tafr-190 (Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda, São Paulo, SP, Brasil) faixa de medição entre 0,1 e 25,0 m s⁻¹ e temperatura de bulbo úmido utilizando psicrômetro modelo pol31-D (Politerm Instrumentos de Medição Ltda, São Paulo, SP, Brasil) faixa de medição de 0 a 80 °C a cada 1 h.

As medidas foram realizadas em duas situações distintas: 3 dias com os resfriadores evaporativos ligados e 3 dias desligados, em cada período de produção. A partir dos dados coletados, foi determinado o IBUTG (Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo) por meio da Eq. 1, adequado para avaliação de ambientes internos (sem carga solar) de acordo com o estabelecido na NR 15 (BRASIL, 2019).

$$IBUTG = 0,7 tbn + 0,3 tg \quad (1)$$

Onde,

tbn = temperatura de bulbo úmido natural em °C

tg = temperatura de globo negro em °C

Em seguida foi estimada a taxa metabólica comparando a atividade realizada com as condições apresentadas no quadro 2 do anexo 3 da NR 15 (BRASIL, 2019). A atividade exercida pelas funcionárias na área de seleção e embalagem é classificada como trabalho em pé moderado com uso dos dois braços, com taxa metabólica de 279 W. Depois foi verificado

o limite de exposição ocupacional ao calor de acordo com a taxa metabólica determinada anteriormente, consultando o quadro 1 do mesmo anexo.

Para analisar as condições de conforto térmico, seguiu-se orientação que consta na NR 17 (BRASIL, 1978), que utiliza o ITE (Índice de Temperatura Efetiva) juntamente com a umidade relativa (UR) e a velocidade do vento, como parâmetros. Este índice correlaciona os valores de temperatura de bulbo seco e úmido com a velocidade do vento por meio de um ábaco, onde é possível encontrar a temperatura efetiva na qual o indivíduo está sendo exposto.

Segundo o item 17.5.2 da NR 17, para que o ambiente seja termicamente confortável, o ITE deve estar entre 20 e 23 °C, a velocidade do vento não superior a 0,75 m s⁻¹ e UR do ar não inferior a 40%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O limite de exposição ocupacional ao calor equivale a IBUTG máximo de 28,5 °C, como pode ser observado na Figura 2. Esse limite não é atingido em nenhum período de produção, usando, ou não, os resfriadores evaporativos nos 3 setores estudados. Portanto, a atividade exercida na área de seleção e embalagem do *packing house* não se caracteriza como insalubre.

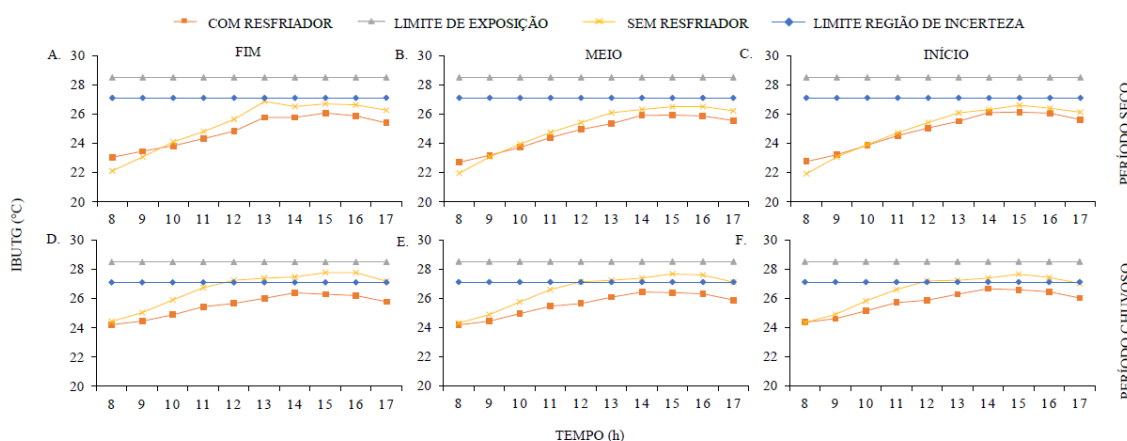


Figura 2. IBUTG médio horário: A, B e C representam, respectivamente, fim, meio e início da linha de beneficiamento no período seco. D, E e F representam, respectivamente, fim, meio e início da linha de beneficiamento no período chuvoso

Apesar de não ser um ambiente insalubre quanto ao calor, nota-se que no período seco (Figuras 2A, B e C) há variação crescente nos valores de IBUTG ao longo do dia. Sem o uso dos resfriadores, às 8 h observa-se o menor valor no início da linha de beneficiamento (21,93 °C) (Figura 2C), e às 13 h o maior valor observado é 26,86 °C, no fim da linha (Figura 2A). Com os resfriadores ligados, o menor valor é 22,71 °C e ocorre no setor do meio às 8h, enquanto o maior valor é 26,14 °C e ocorre no setor início às 15 h.

O setor fim fica em frente a um dos resfriadores evaporativos instalados, ou seja, apresenta maior UR, e conseqüentemente, maior temperatura de bulbo úmido. Foi observado uma fonte de calor, um portão metálico telado que permitiu a incidência de radiação solar no piso do setor de embalagem, próximo ao fim da linha, no período da tarde, aumentando os valores de temperatura de globo negro. Tudo isso contribuiu para maiores valores de IBUTG.

No período chuvoso (Figuras 2D, E e F) também houve variação crescente dos valores de IBUTG. Sem o uso dos resfriadores, o menor valor encontrado foi 24,30 °C no setor meio às 8 h, e o maior valor foi 27,77 °C no setor fim às 15 h. Utilizando os resfriadores, o menor valor foi 24,17 °C no setor meio às 8 h, enquanto o maior valor foi 26,65 °C, observado no setor início às 14 h. Também é notável o quão próximo do limite de exposição o ambiente ficou sem o uso dos resfriadores, com diferença de apenas 0,73 °C no horário de 15 h no setor fim.

Entretanto, os mesmos resfriadores promoveram redução em até 1,5 °C nos horários mais críticos (entre 12 e 16 h). Carvalho et al. (2012) avaliaram a exposição ocupacional ao calor em galpões para frangos de corte durante o inverno na região do semiárido mineiro, e também verificaram condição de maior sobrecarga térmica no período entre 11 e 15 h, recomendando pausas para descanso.

Segundo a tabela 4 da NHO 06 (BRASIL, 2017), há um ajuste para calcular os limites de exposição considerando as incertezas atribuídas para as taxas metabólicas e exatidão dos sensores de temperatura. Portanto, para a taxa metabólica em questão (279 W), os valores de IBUTG máximo podem variar entre 27,1 e 28,5 °C (Figura 2), o que tornaria o ambiente insalubre no período chuvoso a partir de 12 h sem os resfriadores evaporativos (Figuras 2D, E e F).

É recomendável adotar algumas medidas preventivas e corretivas para reduzir a exposição ocupacional ao calor e minimizar os riscos de danos à saúde do trabalhador. Disponibilização de água e sais minerais para reposição das perdas pelo suor; introdução de pausas quando houver desconforto por calor; e adequação da ventilação são medidas que devem ser adotadas, e esta última pode ser feita instalando outras unidades de resfriadores evaporativos para que atendam às necessidades de todos os setores.

Também podem ser dimensionados para-sois (beirais, marquises e cercas-vivas), para evitar a insolação direta nas paredes, portões e no interior do *packing*. Matheus et al. (2016) avaliaram o desempenho térmico de edificações que utilizaram barreiras vegetais como proteção de coberturas e fachadas, e concluíram que a vegetação pode ser uma ferramenta importante na redução dos fluxos de calor no envoltório e controle térmico passivo no interior das edificações.

Analisando os valores de ITE na Figura 3, nota-se que em todas situações estudadas, o ambiente encontrou-se fora da zona de conforto térmico determinada pela NR 17, com situação mais crítica no período da tarde. Assim como verificado no IBUTG, no período seco (Figuras 3A, B e C) os resfriadores não foram suficientes para reduzir os valores. Entretanto, no período chuvoso (Figuras 3D, E e F) conseguiu-se maior redução, principalmente no fim da linha de beneficiamento.

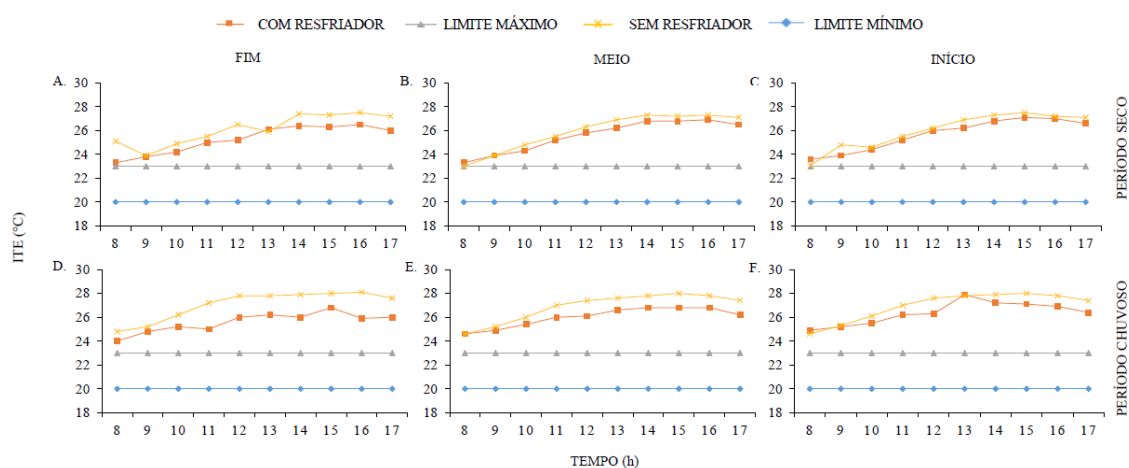


Figura 3. ITE médio horário: A, B e C representam, respectivamente, fim, meio e início da linha de beneficiamento no período seco. D, E e F representam, respectivamente, fim, meio e início da linha de beneficiamento no período chuvoso

Por outro lado, os parâmetros definidos na norma são baseados em valores internacionais, com condições climáticas diferentes. Segundo Dacanal et al. (2014), os trabalhadores rurais do semiárido nordestino estão adaptados ao clima quente e seco, visto que as médias anuais de temperatura são maiores que 26 °C. Dizem ainda, que produtores relatam que muitos funcionários de *packing's* queixam-se de frio e adoecem com facilidade quando a temperatura ambiente varia entre 20 e 25 °C.

Jowkar et al. (2020) confirmam que o histórico térmico de longo prazo das pessoas tem influência sobre a preferência da temperatura de conforto, da sensação térmica e da zona de conforto térmico. E que pessoas com histórico mais quente consideram 24 °C como a temperatura ótima aceitável. Djamila (2017), observou que a faixa de temperatura entre 24 e 25 °C, independentemente de o ambiente possuir ventilação natural ou artificial, situava-se na temperatura neutra ideal. Já Epstein & Moran (2006) consideram que a faixa de conforto térmico ambiental está situada entre 20 e 27 °C.

Com o uso dos resfriadores evaporativos, os valores de temperatura efetiva variaram de 24 a 26 °C, ou seja, o ambiente tornou-se confortável para as condições de semiárido tanto no período seco, quanto no chuvoso, para os trabalhadores locais. É importante ressaltar que executar atividades que demandam agilidade e atenção, como no caso em questão, fora da

zona de conforto térmico, pode acarretar no desenvolvimento de problemas de saúde no trabalhador devido à fadiga e falta de concentração (Carvalho et al., 2011, Damasceno et al., 2010).

Os teores de UR estão representados na Figura 4. Nota-se que no período seco (Figuras 4A, B e C) houve queda acentuada ao longo do dia, com redução de 70 para 40% entre às 8 e 17 h sem os resfriadores, e redução de 70 para 49% com os resfriadores.

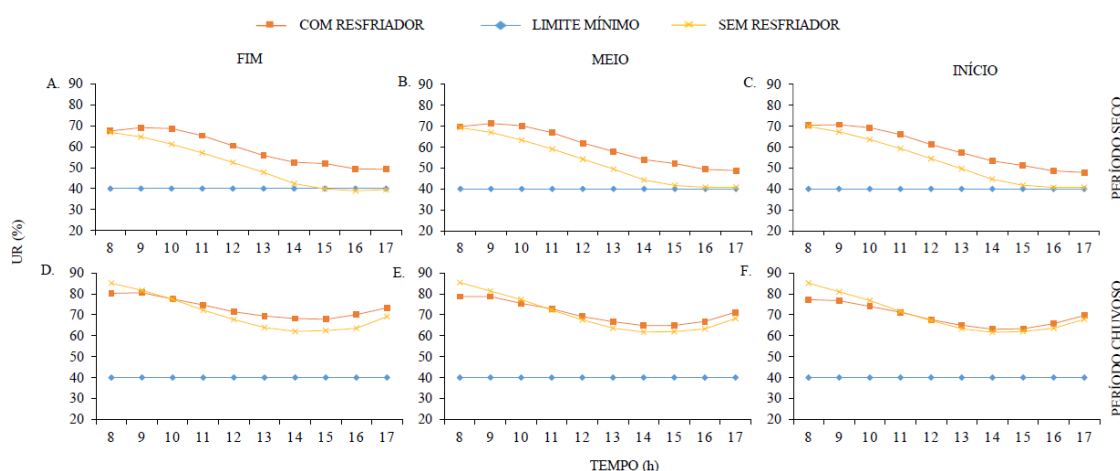


Figura 4. UR média horária: A, B e C representam, respectivamente, fim, meio e início da linha de beneficiamento no período seco. D, E e F representam, respectivamente, fim, meio e início da linha de beneficiamento no período chuvoso

Utilizando os resfriadores, o limite mínimo proposto na NR17 não foi atingido em nenhum setor. Sem os resfriadores, a partir de 14 h os teores de UR tornaram-se críticos, atingindo o mínimo de 40% no horário de 15 h em todos os setores.

No período chuvoso (Figuras 4D, E e F) os índices de UR foram maiores, com média de 70%, tanto com os resfriadores quanto sem. Como o ar externo já estava úmido, devido à época chuvosa, não houve muita alteração no ambiente interno utilizando os resfriadores. Nas duas primeiras horas do dia foram detectados os maiores valores, acima de 80%.

Segundo Gonçalves et al. (2012), a UR do ar tem sido relacionada a problemas de saúde, tanto quando seu teor está alto, quanto baixo, devendo ficar entre 40 e 70%. Quando fora desses limites, deve-se entrar em estado de alerta devido ao agravamento de doenças

respiratórias. Portanto, no período chuvoso, entrou-se em estado de alerta quanto ao teor de UR, devido aos altos valores.

Quando se trata de estresse térmico, além de avaliar a temperatura, é fundamental medir os níveis de umidade relativa do ar, visto que este parâmetro é responsável por regular as taxas de evaporação do corpo humano através do suor. Em casos de níveis elevados, a capacidade de evaporação do suor liberado pela pele diminui, aumentando a sensação de desconforto térmico. Quando os valores são menores essa capacidade evaporativa aumenta, e consequentemente a sensação térmica também melhora (Lamberts, 2014).

Assim, com o uso dos resfriadores evaporativos o ambiente térmico do *packing house* mostrou-se termicamente confortável no período seco, pois foram responsáveis por elevar os teores de umidade, mantendo-os dentro da zona de conforto citada na literatura (Gonçalves et al. (2012). Já no período chuvoso, o uso dos resfriadores evaporativos manteve o ambiente com altos teores de UR característicos do período, provocando sensação de desconforto térmico.

Os dados de velocidade do vento estão representados na Figura 5. Nos dois períodos avaliados foi observado que o setor início é o menos ventilado, com média de $0,30 \text{ m s}^{-1}$ no período seco e $0,21 \text{ m s}^{-1}$ no período chuvoso, mesmo com os resfriadores ligados. Esta situação já era esperada, visto que os resfriadores estão instalados mais próximos aos setores meio e fim.

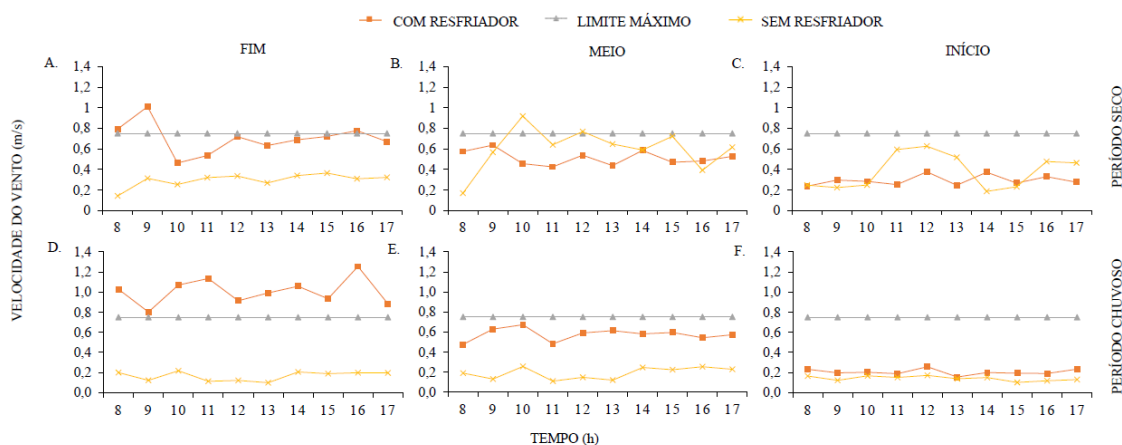


Figura 5. Velocidade do vento média horária: A, B e C representam, respectivamente, fim, meio e início da linha de beneficiamento no período seco. D, E e F representam, respectivamente, fim, meio e início da linha de beneficiamento no período chuvoso

O setor do meio (Figuras 5B e E) mostrou-se com melhores condições de ventilação tanto naturalmente quanto usando os resfriadores, com valores dentro do estabelecido na NR 17 (máximo de $0,75 \text{ m s}^{-1}$).

O setor fim (Figuras 5A e D) apresentou os maiores valores, atingindo médias de $0,70 \text{ m s}^{-1}$ no período seco e $1,0 \text{ m s}^{-1}$ no chuvoso, bem próximos e até mesmo acima do limite proposto na NR 17, na maior parte do tempo, nos dois períodos. Neste sentido, recomenda-se adequação das aletas que direcionam o ar oriundos do resfriador evaporativo, e instalação de ventiladores para provocar efeito de exaustão e uniformizar a ventilação.

O vento pode provocar tanto sensação de frescor quanto de desconforto à medida que se torna mais forte que a necessidade de eliminação de suor, e projetos de ventilação em instalações permitem corrigir condições de umidade incompatíveis ao uso do ambiente interno. Mesmo em velocidade moderada, o vento pode gerar problemas para pessoas com enfermidades respiratórias, pois transportam poeira, poluentes, e outros alérgicos (Gobo et al., 2017).

Assim como neste estudo, Júnior et al. (2019) investigando os riscos em relação ao estresse térmico a que trabalhadores rurais tropicais estão expostos, observaram maiores

temperaturas e redução da UR no período da tarde, e que esses fatores aliados à movimentação do ar facilitaram a evaporação do suor, contribuindo com a remoção do excesso de energia térmica do corpo. Deste modo, as atividades poderiam ser exercidas continuamente no período da manhã, porém no período da tarde seriam necessárias pausas.

Ambientes com condições desfavoráveis, como altas temperaturas aliadas ao esforço físico das atividades laborais e vestimentas inapropriadas, podem gerar reações no corpo humano como aumento da temperatura interna, e conseqüentemente ativação das glândulas sudoríparas, vasodilatação, desidratação, câimbras, choque térmico ou insolação, entre outros (Amorim et al., 2020). Também pode haver alteração de humor e comportamento, que se torna mais inseguro em ambientes quentes, aumentando os riscos de acidentes (Staal Wästerlund, 2018).

CONCLUSÕES

1. Com o uso dos resfriadores evaporativos houve redução da exposição ocupacional de trabalhadores ao calor, não ultrapassando o limite de tolerância de IBUTG estabelecido na NR 15.
2. Para as condições de semiárido, os resfriadores evaporativos tornaram o ambiente termicamente mais confortável para os trabalhadores locais.
3. Disponibilização de água e sais minerais para reposição das perdas por suor, e introdução de pausas quando houver desconforto por calor, são medidas que devem ser adotadas para reduzir os riscos à saúde dos trabalhadores.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos à CAPES, CNPq, FACEPE e FAPESB pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

Amorim, A. E. B. et al. Exposição ocupacional ao calor em atividades a céu aberto na construção de estruturas de edifícios. *Ambiente Construído*, v. 20, n. 1, p. 231-245, 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria SEPRT n.º 1.359, de 09 de dezembro de 2019, que altera a Norma Regulamentadora N° 15 - Atividades e Operações Insalubres. Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria MTb n° 3.214, de 08 de junho de 1978, que aprova a Norma Regulamentadora N° 17 – Ergonomia. Brasília, 1978.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho – FUNDACENTRO. Norma de Higiene Ocupacional 06 – Procedimento Técnico. Avaliação da exposição ocupacional ao calor. São Paulo; 2017.

Carvalho, C. C. S.; Souza, C. F.; Tinôco, I. de F. F.; Vieira, M. F. A.; Minette, L. J. Segurança, saúde e ergonomia de trabalhadores em galpões de frangos de corte equipados com diferentes sistemas de abastecimento de ração. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 31, p. 438 - 447, 2011.

Carvalho, C. C. S.; Souza, C. F.; Tinôco, I. de F. F.; Vieira, M. F. A.; Menegali, I.; Santos, C. R. Condições ergonômicas dos trabalhadores em galpões de frangos de corte durante a fase de aquecimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 1243 - 1251, 2012.

Carvalho, C. da C. S. et al. Conforto térmico animal e humano em galpões de frangos de corte no semiárido mineiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, p. 769 - 773, 2014.

Chaudhari, B. D. *et al.* A review on evaporative cooling technology. *International Journal of Research in Advent Technology*, v. 3, n. 2, 2015.

Dacanal, C.; Turco, S.; Luz, S.; Campelo, O. Avaliação de desempenho térmico de Packing Houses de frutas no clima tropical semiárido. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, p. 2041 - 2050, 2014.

Damasceno, F. A.; Yanagi Júnior, T.; Lima, R. R.; Gomes, R. C. C.; Moraes, S. R. P. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. Ciência e Agrotecnologia, v. 34, p. 1031 - 1038, 2010.

Djamila, H. Indoor thermal comfort predictions: Selected issues and trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 74, p. 569 - 580, 2017.

Epstein, Y.; Moran, D. S. Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. Industrial Health, v. 44, n. 3, p. 388 - 398, 2006.

Gobo, J., Alves, R., Silveira, T., Onça, D., Monteiro, L., Wollmann, C.; Galvani, E. A influência do vento regional na sensação térmica de pedestres em espaços urbanos abertos: estudo de caso do vento norte em Santa Maria-RS. Raega - O Espaço Geográfico em Análise, v. 40, p. 110 - 129, 2017.

Gonçalves, F. L. T.; Nedel, A. S.; Alves, M. R. C. An analysis of the air relative humidity in internal and external environment in the city of São Paulo, Brazil. Revista Brasileira de Medicina, v. 69, 2012.

Jowkar, M.; Dear, R. de; Brusey, J. Influence of long-term thermal history on thermal comfort and preference. Energy and Buildings, v. 210, 2020.

Junior, B.; Lago, E.; Martins, A.; Zlatar, T.; Mendes, F.; Vasconcelos, B.; Campos, F.; Campos, C. Health risks in tropical climate agriculture: a set of case studies of sugarcane workers. International Journal of Occupational and Environment Safety, v. 3, p. 44 - 52, 2019.

Krüger, E. L. *et al.* Avaliação do potencial de resfriamento de um sistema teto-reservatório para condições subtropicais. Ambiente Construído, v. 16, n. 3, p. 107 - 125, 2016.

Lamberts R.; Dutra L.; Pereira, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3. ed. São Paulo: Procel/ProLivros, 2014.

Martins, M. A.; Abrahão, R.; Tereso, M. Segurança do trabalho em unidades de beneficiamento de produtos olerícolas / work safety in agricultural packing houses. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v. 11, 2017.

Matheus, C.; Caetano, F. D. N.; Morelli, D. D. de O.; Labaki, L. C. Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro. *Ambiente Construído*, v. 16, n.1, p. 71 - 81, 2016.

Staal Wästerlund, D. Managing heat in agricultural work: increasing worker safety and productivity by controlling heat exposure. *Forestry Working Paper No. 1*. Rome, FAO. 2018.

4. ARTIGO II: *Packing house* climatizado com resfriadores evaporativos - Parte 2: Mapeamento geoestatístico

*Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

Resumo: A climatização de *packing houses* é fundamental para o bem-estar humano, e por se tratar de um ambiente de produção, espera-se que haja homogeneidade das variáveis ambientais. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o ambiente da área de seleção e embalagem em *packing house* de uva de mesa climatizado com sistema de resfriamento evaporativo, para a caracterização da variabilidade térmica espacial e identificação de pontos críticos de controle. Foram avaliadas as variáveis climáticas temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento nos períodos seco e chuvoso, às 10, 13 e 15 h. Dois tratamentos foram avaliados: com resfriadores evaporativos (CR) e sem resfriadores (SR). A distribuição espacial das variáveis foi mapeada por krigagem. Observou-se que no tratamento CR houve melhoria no ambiente térmico, contudo, a distribuição espacial da temperatura e velocidade do vento não foi homogênea, com melhores resultados nas regiões mais próximas aos resfriadores evaporativos. Foram identificados pontos críticos de controle na região direita da área de seleção e embalagem, no início da linha de beneficiamento. A análise geoestatística apresentou-se como ferramenta eficiente para a avaliação da distribuição das condições ambientais no *packing house*.

Palavras-chave: ambiência, beneficiamento de frutas, conforto térmico, krigagem, variabilidade espacial

Geostatistics applied to the environmental mapping of climatized packing house with evaporative cooling system

Abstract: The acclimatization of packing houses is essential for human welfare, and due to the fact that it is a production environment, it is expected that there is homogeneity of environmental variables. Thus, the objective of this study was to evaluate the environment of the selection and packaging area in a table grape packing house acclimatized with evaporative cooling system, for the characterization of spatial thermal variability and identification of critical control points. The climatic variables temperature, relative humidity and wind speed were evaluated in the dry and rainy periods, at 10, 13 and 15 h. Two treatments were evaluated: with evaporative coolers (CR) and without coolers (SR). The spatial distribution of the variables was mapped by kriging. It was observed that in the CR treatment there was improvement in the thermal environment, however, the spatial distribution of temperature and wind speed was not homogeneous, with better results in the regions closest to the evaporative coolers. Critical control points were identified in the right region of the selection and packaging area, at the beginning of the processing line. Geostatistical analysis was an efficient tool to evaluate the distribution of environmental conditions in the packing house.

Key words: ambience, fruit processing, thermal comfort, kriging, spatial variability

INTRODUÇÃO

A região do Vale do Submédio São Francisco se destaca na fruticultura brasileira. Porém, as condições climáticas desfavorecem o conforto térmico dos trabalhadores rurais, incluindo aqueles que realizam suas atividades em ambientes fechados como os *packing houses*.

O desconforto térmico pode ocorrer também quando há exposição a temperaturas mais baixas, principalmente nos casos de pessoas não habituadas a determinadas condições climáticas. Assim, busca-se entre os diversos tipos de sistemas de climatização, aquele que melhor se adeque às características climáticas locais e apresente maior custo benefício ao empresário rural, como por exemplo, o sistema de resfriamento evaporativo.

Em ambientes de produção é desejável que haja homogeneidade das variáveis ambientais, que podem ser avaliadas por meio da espacialização e ferramentas geoestatísticas. A análise espacial de dados climáticos permite determinar as áreas com ocorrência de estresse térmico, auxiliando na tomada de decisões quanto ao manejo ambiental adequado e na

recomendação de práticas de acondicionamento térmico (Massari et al., 2016; Ribeiro et al., 2016).

Técnicas geoestatísticas, bem como a criação de mapas, estão sendo utilizadas na área de ambiência de precisão em diversos estudos, tornando mais precisa a interpretação do ambiente, com melhor visualização dos pontos críticos de controle (Carvalho et al., 2011; Medeiros et al., 2014; Gonçalves et al., 2016; Queiroz et al., 2017).

Assim, este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o ambiente da área de seleção e embalagem em *packing house* de uva de mesa climatizado com sistema de resfriamento evaporativo, para a caracterização da variabilidade térmica espacial e identificação de pontos críticos de controle.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Casa Nova, BA, Brasil (9° 9' 43" S e 40° 58' 15" O). Segundo Köppen-Geiger, o clima da região é classificado como Bsw h' caracterizado por ser muito quente e seco, com precipitação média anual inferior a 500 mm, concentrada em três ou quatro meses, sendo o mês de março o que apresenta precipitação máxima e o de agosto mínima.

Os dados foram registrados na área de seleção e embalagem de um *packing house* de uvas de mesa de uma fazenda agrícola comercial de médio porte. A coleta de dados foi realizada em dois períodos de produção, em novembro de 2019, período que apresenta maiores valores de temperatura e baixa precipitação – considerado neste estudo como período seco (S) e em março de 2020, época com temperaturas mais amenas e maiores valores de precipitação, considerado como período chuvoso (C). Observa-se na Figura 1B os valores de temperaturas mínimas e máximas, e precipitação dos últimos 30 anos.

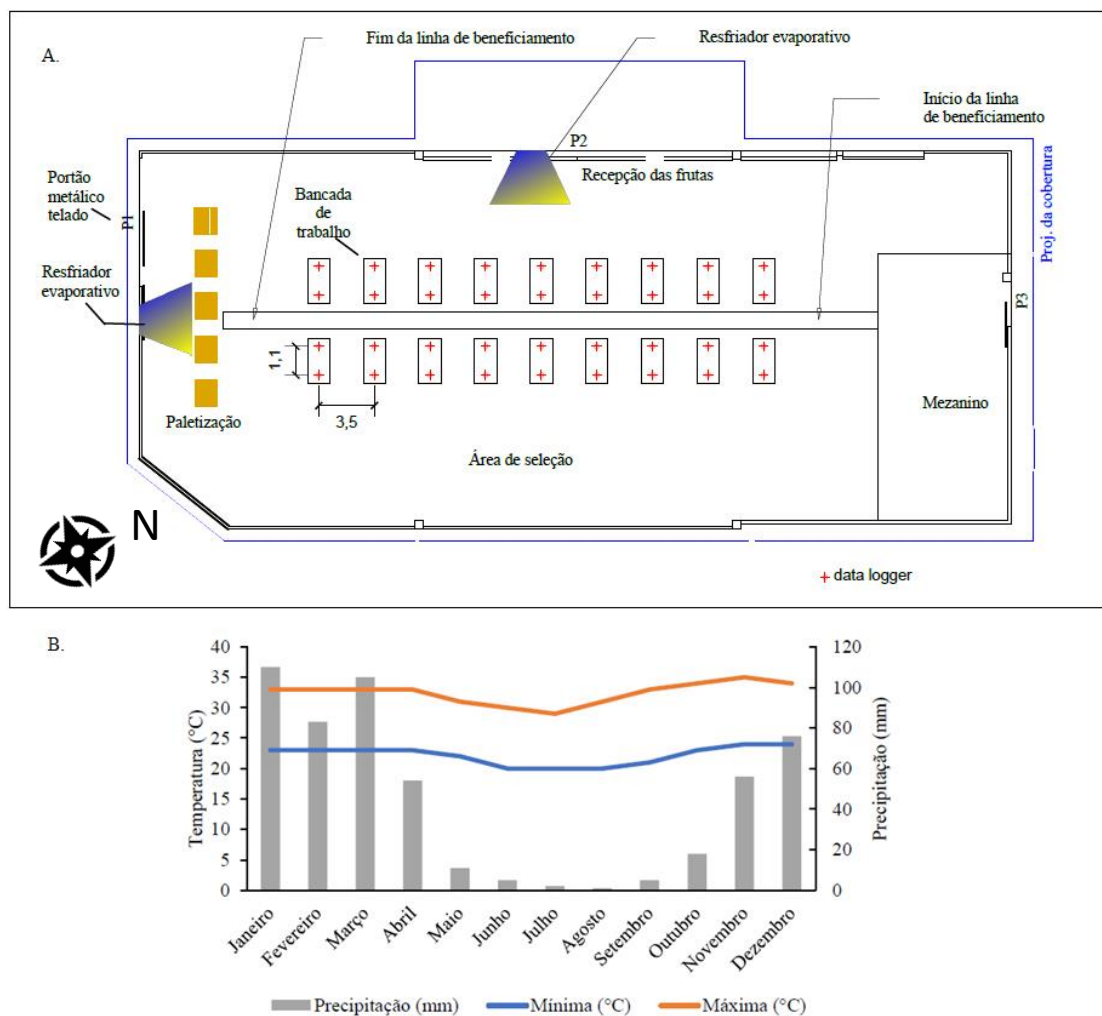


Figura 1. Características do local de estudo: (A) layout do *packing house* e (B) dados climáticos do município de Casa Nova (BA)

Tanto no inverno quanto no verão há projeção de radiação solar para o interior da instalação, durante o período da tarde, principalmente na região do final da linha de beneficiamento, onde há um portão metálico telado que permite essa incidência (Figura 1A).

A estrutura do *packing house* é de concreto armado, alvenaria nas vedações externas e nas divisões internas, e cobertura metálica dividida em três partes, uma em arco (central) e duas em queda d'água para as laterais e pé direito de 4,0 m. Possui 12 exaustores eólicos na cobertura, com dimensões 0,63 m de altura, 0,90 m em sua parte mais larga e 0,57 m em sua extremidade, além de 2 resfriadores evaporativos, ambos com potência de $1,3 \text{ kw h}^{-1}$, vazão

de ar de 36.000 m³ h⁻¹ e área efetiva de abrangência de 180 a 280 m². Há portas metálicas teladas em três arestas que facilitam a passagem do fluxo de ar no ambiente.

Dados de temperatura (T), umidade relativa (UR) e velocidade do vento (V) foram obtidos em duas condições: com resfriadores evaporativos (CR) e sem os resfriadores (SR), às 10, 13 e 15 h em 36 pontos da área de seleção e embalagem (3,3 x 28 m), espaçados por grade de 1,1 x 3,5 m. As medições foram realizadas a 1,5 m de altura do chão, em cada ponto da grade, ao longo da linha de beneficiamento (Figura 1A).

Os dados temperatura e umidade foram registrados por meio de data loggers modelo Hobo U12-013 (Onset Computer Corporation, Pocasset, MA, USA) faixa de medição de temperatura entre -20 e 70 °C e precisão de +/- 0,35 °C, e umidade relativa entre 5 e 95%, com precisão de +/- 2,5%. Os data loggers foram fixados em estruturas metálicas nas bancadas de trabalho.

Os dados de velocidade do vento foram coletados utilizando anemômetro de fio quente modelo tafr-190 (Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda, São Paulo, SP, Brasil) faixa de medição entre 0,1 e 25,0 m s⁻¹

As variáveis T, UR e V foram avaliadas por meio da análise estatística descritiva calculando-se a média, mediana, coeficiente de variação (CV), classificado como baixo quando CV <12%; médio quando 12% <CV <24% e alto quando CV > 24% (Warrick & Nielsen, 1980), além dos coeficientes de assimetria e curtose. O teste de normalidade de Shapiro-Wilk foi aplicado para $p \leq 0,05$. Para estas análises foi utilizado o programa computacional SISVAR 5.7.

A dependência espacial foi verificada por meio de ajustes de semivariogramas (Vieira, 2000), partindo do pressuposto de um processo estacionário intrínseco, que é estimado por:

$$\gamma = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Onde:

$N(h)$ - número de pares experimentais;

$Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ – observações separadas por uma distância h (m).

O ajuste do semivariograma foi observado pelo maior valor do coeficiente de determinação (R^2), menor valor da soma de quadrados dos resíduos (SQR) e maior valor do avaliador de dependência espacial (ADE), fornecido pelo próprio software utilizado (GS+ 7.0). Para analisar o grau da dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Zimback (2001) como forte dependência para ADE maior que 0,75, moderada dependência entre 0,25 e 0,75 e baixa dependência para relação menor que 0,25.

Os modelos teóricos de semivariogramas considerados no estudo foram: esférico, exponencial, linear e gaussiano, os quais foram ajustados por meio do software GS+ 7.0. Em seguida, esses modelos foram utilizados para a estimativa dos dados em pontos não medidos, utilizando o método de interpolação conhecido como krigagem comum. Por fim, os mapas foram formatados e editados no software SURFER® 13.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de temperatura do ar nos horários da tarde (13 e 15 h) na área de seleção e embalagem foram mais altos, quando comparados ao horário de 10 h (Tabela 1), pois pela manhã a incidência de radiação solar direta na instalação é menor. Isto foi observado tanto no período seco quanto no chuvoso.

Tabela 1 Estatística descritiva da temperatura, umidade relativa e velocidade do vento na área de seleção e embalagem do *packing house* nos períodos seco e chuvoso, com e sem resfriadores evaporativos

Variáveis	Período	Tratamento	Horário	Média	Mediana	CV (%)	C_s	C_k	W
T (°C)	Seco	SR	10h	27.18	27.15	0.84	0.37	1.38	0.31
			13h	31.73	31.76	0.79	-0.19	1.26	0.73
			15h	34.07	34.04	0.55	0.51	0.71	0.16
		CR	10h	26.57	26.58	0.94	-0.14	0.00	0.61
			13h	30.51	30.55	1.06	-0.21	-0.73	0.39
			15h	31.82	31.83	1.56	-0.34	-0.80	0.10
Chuvoso	SR	10h	28.64	28.62	0.68	0.47	0.20	0.52	
		13h	31.75	31.77	0.77	0.16	0.74	0.88	

		15h	32.23	32.24	0.95	-2.51	12.34	0.00*
		10h	27.85	27.85	1.73	-0.51	-0.55	0.05
	CR	13h	29.82	29.87	2.26	-0.63	-0.59	0.02*
		15h	30.26	30.34	2.12	-0.80	0.05	0.02*
		10h	62.95	62.96	2.37	-0.89	2.61	0.03*
	SR	13h	49.31	49.31	2.69	0.11	0.21	0.95
		15h	41.13	40.98	3.05	0.37	-0.25	0.17
	Seco	10h	69.37	69.75	2.66	-1.95	6.43	0.00*
		13h	57.26	57.51	3.05	-0.79	1.45	0.10
	CR	15h	51.97	51.94	3.52	-0.12	-0.14	0.32
UR (%)		10h	76.98	77.01	2.12	-0.52	1.05	0.26
	SR	13h	63.42	63.37	2.25	0.11	-0.65	0.60
		15h	62.09	61.96	2.65	0.74	0.74	0.10
	Chuvoso	10h	75.36	74.89	4.83	-1.06	5.00	0,00*
		13h	66.92	65.88	5.53	0.46	0.62	0.05
	CR	15h	65.29	64.27	5.27	0.76	0.29	0.03*
		10h	0.40	0.25	102.75	2.33	4.74	0.00*
	SR	13h	0.46	0.28	109.63	2.22	4.49	0.00*
		15h	0.44	0.27	100.74	2.29	5.54	0.00*
	Seco	10h	0.40	0.33	65.05	0.62	-0.38	0.00*
		13h	0.44	0.35	65.52	1.28	1.35	0.00*
	CR	15h	0.48	0.41	71.93	1.25	1.25	0.00*
V (m/s)		10h	0.22	0.16	74.91	2.14	4.58	0.00*
	SR	13h	0.13	0.13	23.21	0.05	-0.58	0.79
		15h	0.18	0.14	64.90	1.86	3.75	0.00*
	Chuvoso	10h	0.66	0.62	79.35	0.75	-0.53	0.00*
		13h	0.60	0.39	89.56	1.16	0.57	0.00*
	CR	15h	0.57	0.34	89.61	1.52	2.08	0.00*

SR - sem resfriador; CR - com resfriador; CV - coeficiente de variação; Cs - coeficiente de assimetria; C_K - coeficiente de curtose; W - teste de Shapiro-Wilk (p<0.05); * - distribuição não normal

Com o uso dos resfriadores evaporativos houve redução de até 2 °C tanto no período seco quanto no chuvoso nos horários da tarde, que apresentaram as condições mais críticas. Este valor está próximo ao encontrado por Faria et al. (2008), que observou redução de temperatura de até 3,5 °C em galpão climatizado com sistema de resfriamento evaporativo.

Em todos os períodos e tratamentos, a temperatura apresentou baixo CV, conforme metodologia proposta por Warrick & Nielsen (1980), sendo 2,26 o maior valor encontrado. Isso demonstra a homogeneidade dos dados, e que a média é uma medida descritiva

representativa. Lopes et al. (2020) e Gonçalves et al. (2016) também observaram baixo CV para temperatura do ar ao estudarem a espacialização de variáveis físicas do ar em instalações rurais localizadas em regiões semiáridas.

A média e a mediana foram similares, indicando que os dados não apresentam assimetria expressiva, caracterizando distribuição normal dos dados, confirmado pelo teste de Shapiro-Wilk, a 5% de probabilidade. De acordo com Little & Hills (1978), quando há semelhança entre os valores da média, mediana e moda, significa que os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal.

Os valores médios de umidade relativa do ar foram mais altos no horário da manhã nos dois períodos avaliados, tanto com os resfriadores quanto sem (Tabela 1). O que já era esperado, visto que os menores valores de temperatura foram encontrados nesse horário.

No período seco foram observados maiores valores de UR com o uso dos resfriadores, atingindo 51,97% no horário de 15 h, um aumento de 26,35% quando comparado ao mesmo período e horário sem o uso dos resfriadores (41,13%).

No período chuvoso, a maior variação de UR também ocorreu no horário da tarde, quando comparados os tratamentos. Entretanto, a variação foi de apenas 5,52%, visto que às 13 h os teores de UR foram 63,42 e 66,92% para os tratamentos SR e CR, respectivamente. Isto ocorreu porque o ar externo já apresentava alto teor de umidade. Segundo Maurya et al. (2014), na estação das chuvas o desempenho de resfriadores evaporativos diminui devido ao elevado teor de umidade presente no ar.

Assim como nos dados de temperatura, foi observado baixo CV, sendo 5,53 o maior valor. Média e mediana foram bem próximos e houve distribuição normal dos dados, confirmada pelo teste de normalidade. Portanto, os dados mostraram-se homogêneos e os valores médios são considerados descritivamente representativos.

Analisando ainda os resultados da estatística descritiva (Tabela 1), observou-se que a velocidade do vento apresentou comportamento diferente das outras variáveis analisadas, apresentando alto CV (acima de 64% na maioria dos tratamentos) e distribuição não normal, comprovada pelo teste de Shapiro-Wilk e pelos valores distintos das médias e medianas. Isso ocorreu devido à grande variabilidade na direção e magnitude dos ventos naturais e artificiais, uma vez que o ambiente sofre influência da ventilação mecânica dos resfriadores evaporativos e natural por meio dos portões telados instalados em três das quatro faces da área de seleção embalagem do *packing house*.

Após analisar a estatística descritiva das variáveis T, UR e V, foi feita a análise da geoestatística e os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Modelos e parâmetros de semivariogramas da temperatura, umidade relativa e ITU para a área de seleção e embalagem do *packing house* nos períodos seco e chuvoso, com e sem resfriadores evaporativos

Variáveis	Período	Tratamento	Horário	Modelo	Co	Co + C	a (m)	R ²	SQR	ADE	Classe
T (°C)	Seco	SR	10h	Exponencial	0.026	0.055	5.79	0.529	0.000	0.52	Moderada
			13h	Exponencial	0.015	0.070	4.41	0.791	0.000	0.79	Forte
			15h	Gaussiano	0.022	0.049	12.89	0.979	0.000	0.55	Moderada
		CR	10h	Gaussiano	0.026	0.061	11.03	0.956	0.000	0.57	Moderada
			13h	Gaussiano	0.057	0.125	10.48	0.921	0.000	0.55	Moderada
			15h	Exponencial	0.015	0.053	4.79	0.489	0.000	0.72	Moderada
	Chuvoso	SR	10h	Exponencial	0.020	0.041	2.64	0.203	0.000	0.51	Moderada
			13h	Exponencial	0.007	0.056	4.35	0.735	0.000	0.88	Forte
			15h	Exponencial	0.015	0.026	5.15	0.425	0.000	0.41	Moderada
		CR	10h	Exponencial	0.002	0.034	3.39	0.649	0.000	0.94	Forte
			13h	Exponencial	0.012	0.092	3.78	0.77	0.000	0.87	Forte
			15h	Exponencial	0.002	0.054	3.75	0.805	0.000	0.96	Forte
UR (%)	Seco	SR	10h	Esférico	0.057	1.560	1.65	0.129	0.242	0.96	Forte
			13h	Exponencial	0.308	1.837	2.28	0.13	0.642	0.84	Forte
			15h	Gaussiano	0.345	1.656	1.89	0.246	0.516	0.79	Forte
		CR	10h	Exponencial	0.911	1.823	6.72	0.658	0.106	0.50	Moderada
			13h	Exponencial	0.535	3.272	3.47	0.454	0.674	0.84	Forte
			15h	Exponencial	1.511	3.057	9.63	0.726	0.300	0.51	Moderada
	Chuvoso	SR	10h	Exponencial	0.444	2.372	5.07	0.742	0.262	0.81	Forte
			13h	Exponencial	0.181	1.933	1.23	0.023	0.416	0.91	Forte
			15h	Exponencial	0.304	2.038	2.13	0.129	0.577	0.85	Forte
		CR	10h	Gaussiano	0.503	2.981	1.70	0.257	1.130	0.83	Forte
			13h	Exponencial	0.600	4.142	2.88	0.322	1.990	0.86	Forte

		15h	Exponencial	0.620	3.963	3.96	0.444	1.890	0.84	Forte
		10h	Gaussiano	0.032	0.258	6.77	0.917	0.003	0.88	Forte
	SR	13h	Esférico	0.0001	0.307	6.71	0.880	0.006	1.00	Forte
		15h	Esférico	0.001	0.244	5.51	0.852	0.004	1.00	Forte
	Seco	10h	Gaussiano	0.003	0.087	6.82	0.669	0.002	0.97	Forte
		13h	Esférico	0.0001	0.086	8.46	0.752	0.001	1.00	Forte
	CR	15h	Esférico	0.0001	0.125	9.05	0.714	0.004	1.00	Forte
V (m/s)		10h	Esférico	0.001	0.033	5.22	0.693	0.000	0.98	Forte
	SR	13h	Esférico	0.0001	0.001	5.16	0.92	0.000	0.94	Forte
		15h	Gaussiano	0.0003	0.020	8.95	0.932	0.000	0.99	Forte
	Chuvoso	10h	Gaussiano	0.006	0.086	4.00	0.936	0.000	0.94	Forte
		13h	Esférico	0.008	0.154	4.46	0.595	0.005	0.95	Forte
	CR	15h	Gaussiano	0.017	0.134	2.34	0.663	0.001	0.87	Forte

SR - sem resfriador; CR - com resfriador; Co - efeito pepita; Co + C - patamar; a - alcance; R² - coeficiente de determinação; SQR - soma dos quadrados dos resíduos; ADE - avaliador da dependência espacial

O modelo exponencial foi o que mais se adaptou às características espaciais das variáveis T e UR. Para a variável V, os modelos esférico e gaussiano foram os que melhor se ajustaram.

O efeito pepita variou de 0,002 a 0,057, para a variável T; de 0,057 a 1,511 para UR; e de 0,0001 a 0,032 para V. Com a proximidade dos valores do efeito pepita a zero, a exatidão das estimativas feitas por meio da krigagem aumenta, corroborando com Vieira (2000), que explica que quanto menor a variação ao acaso, mais exata é a estimativa. Segundo Ferraz et al. (2017a), o efeito pepita é um parâmetro importante do semivariograma, pois indica a variabilidade não explicada, considerando a distância usada na amostragem dos dados.

Devido a impossibilidade de quantificar a contribuição individual do efeito pepita, a literatura propõe a utilização de alguns índices para estudar este efeito, tal qual o proposto por Zimback (2001). Conforme esta classificação, o grau de dependência espacial variou de moderado a forte, isso mostra que a distribuição das variáveis no espaço não foi aleatória.

Para determinar o limite da dependência espacial em relação aos semivariogramas, analisa-se os valores do alcance (a), que indicam até onde a variável é influenciada pelo

espaço (Ferraz et al., 2017b). Neste trabalho, o alcance variou de 2,64 a 12,89 m para temperatura, 1,23 a 9,63 m para UR e 1,25 a 11,48 m para V (Tabela 2), o que permite dizer que a malha amostral poderia variar entre 1,23 e 12,89 m de distância horizontal para a obtenção da mesma precisão dos dados amostrados, ou seja, a distância de 3,5 m utilizada foi adequada.

A fim de conhecer as áreas de maior e menor valor das variáveis estudadas, e realizar o gerenciamento preciso das intervenções necessárias no ambiente avaliado, foram confeccionados mapas para verificar a variabilidade espacial.

Na Figura 2 observa-se os mapas de krigagem da temperatura do ar nos períodos seco (S) e chuvoso (C), para os tratamentos sem resfriador (SR) e com resfriador (CR) nos horários de 10, 13 e 15 h.

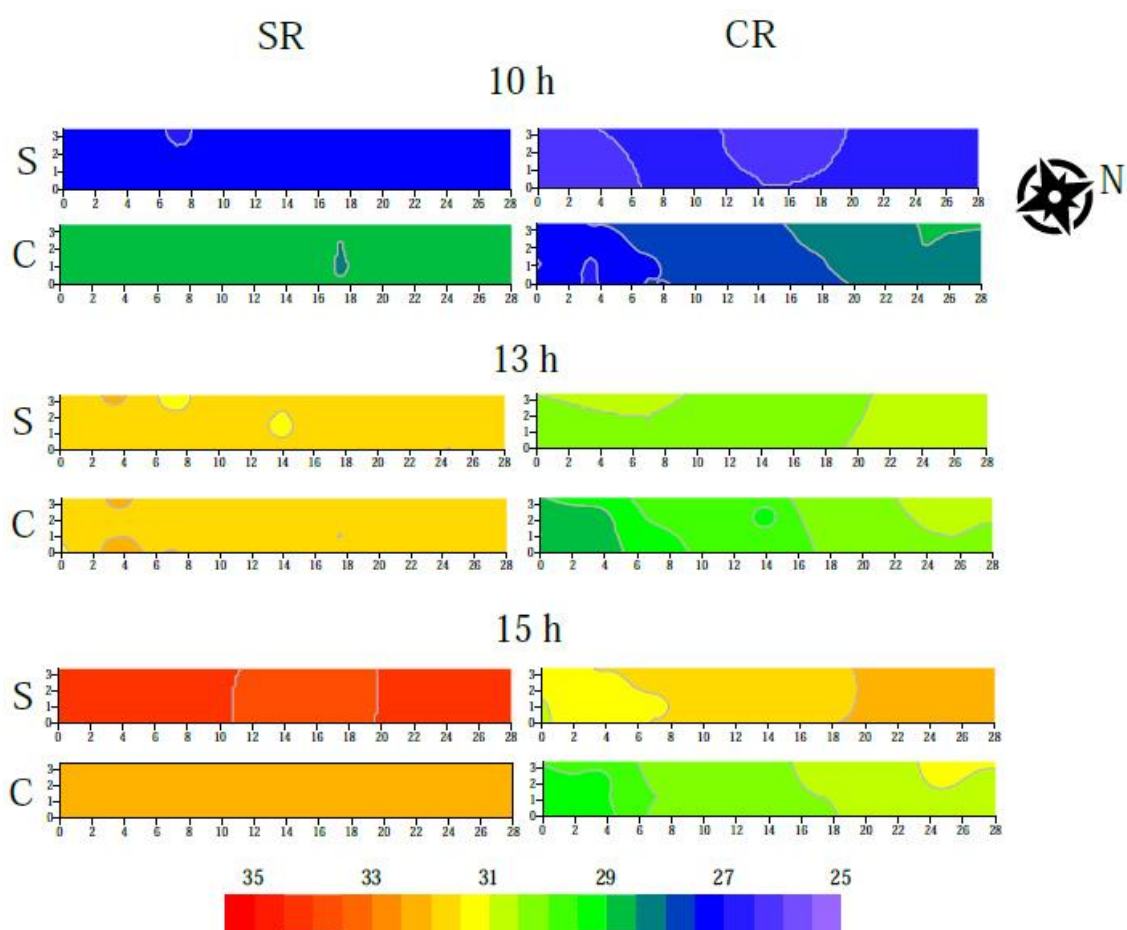


Figura 2. Variabilidade espacial da temperatura do ar na área de seleção e embalagem do *packing house* nos períodos seco (S) e chuvoso (C), e tratamentos sem resfriador (SR) e com resfriador (CR)

Epstein & Moran (2006) consideram que a faixa de conforto térmico ambiental está situada entre 20 e 27 °C. Entretanto, segundo Dacanal et al (2014), como os trabalhadores rurais do semiárido nordestino estão adaptados ao clima quente e seco, quando a temperatura ambiente varia entre 20 e 25 °C, há queixas de frio e as pessoas adoecem com mais facilidade. Logo, para as condições locais, a faixa de temperatura entre 25 e 27 °C pode ser considerada como ideal para o conforto térmico. Temperaturas fora dessa faixa causam desconforto térmico.

Observando a Figura 2, nota-se que a temperatura do ar se encontra dentro da zona de conforto térmico apenas no horário de 10 h, com exceção do tratamento SR no período chuvoso. Percebe-se também que no período chuvoso, com os resfriadores ligados, a região direita do mapa encontra-se fora da zona de conforto térmico, com valores de temperatura mais altos que o ideal.

No tratamento CR houve maior variabilidade espacial da temperatura, com valores mais elevados na região direita dos mapas (início da linha de beneficiamento). Como os resfriadores estão posicionados mais próximos ao meio e fim da linha de beneficiamento (região esquerda dos mapas), nessas áreas as temperaturas foram menores. Pandorfi et al. (2004) afirmam que o movimento do ar dentro da instalação influencia a distribuição isotérmica.

Com os resfriadores ligados houve grande redução de temperatura, contudo ainda fora da faixa de conforto térmico, e com distribuição heterogênea. Faria et al. (2008), trabalhando com galpão não-climatizado e climatizado, observaram que a nebulização no galpão aumentou a variabilidade espacial dos atributos microclimáticos.

Devido ao processo de rastreabilidade das frutas embaladas, os funcionários trabalham em bancadas fixas durante toda a safra, não existindo rodízio de posição. Então, aqueles que ficam nas bancadas de trabalho próximas aos resfriadores evaporativos trabalham em

melhores condições, podendo apresentar maior produtividade. Também foi observado que as pessoas que trabalhavam na região mais afastada dos resfriadores evaporativos faziam maior quantidade de pausas para hidratação.

O ambiente apresentou menor variabilidade espacial da umidade relativa do ar (Figura 3), com exceção do tratamento CR no horário de 10 h no período chuvoso, onde foram observados maiores valores na região esquerda do mapa, próximo a um dos resfriadores evaporativos.

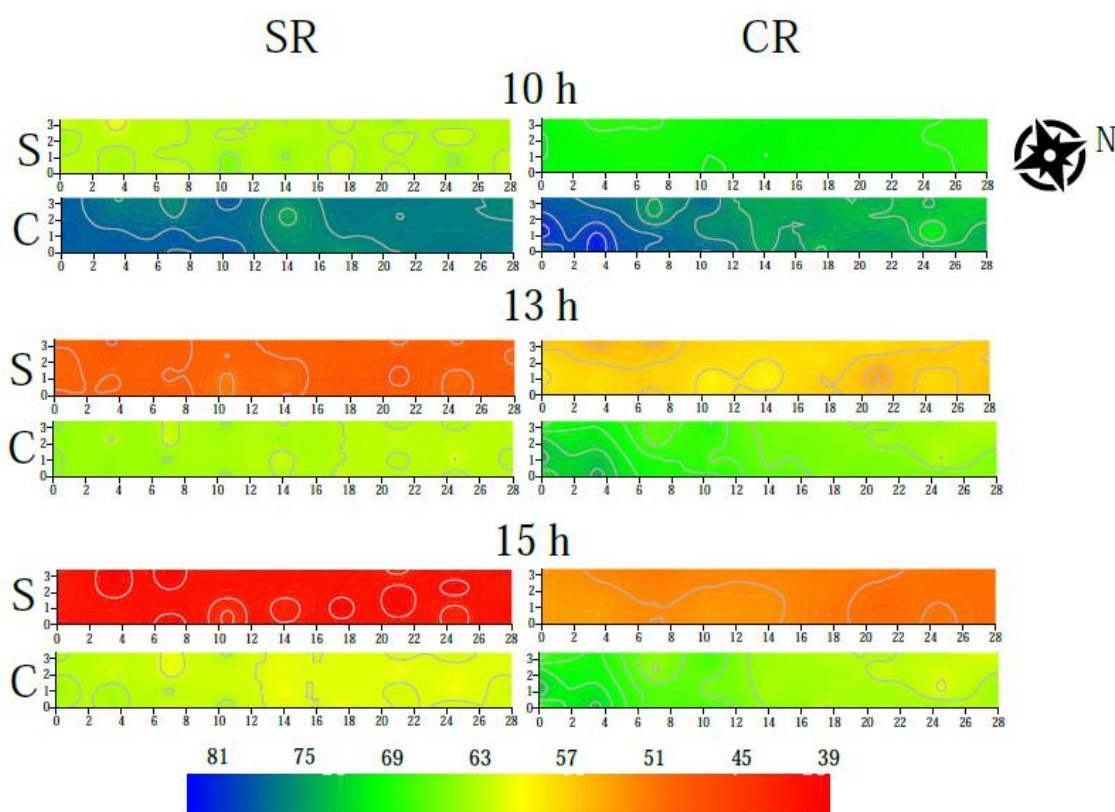


Figura 3. Variabilidade espacial da umidade relativa do ar na área de seleção e embalagem do *packing house* nos períodos seco (S) e chuvoso (C), e tratamentos sem resfriador (SR) e com resfriador (CR)

A distribuição espacial da velocidade do vento pode ser observada na Figura 4. Houve variabilidade espacial tanto no período seco quanto chuvoso, com e sem resfriadores, com maiores valores nas regiões centrais e à esquerda. Essas regiões sofrem influência direta dos resfriadores evaporativos e dos portões telados, facilitando a circulação de ar.

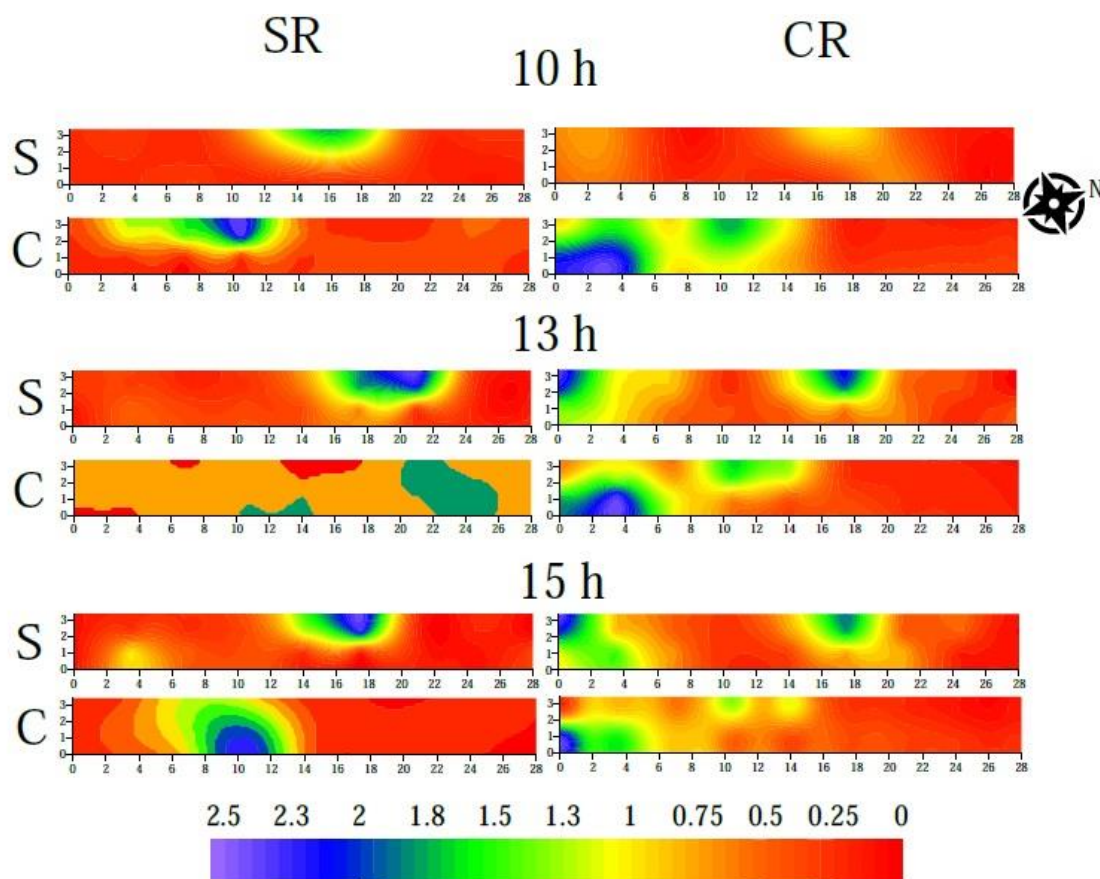


Figura 4. Variabilidade espacial da velocidade do vento na área de seleção e embalagem do *packing house* nos períodos seco (S) e chuvoso (C), e tratamentos sem resfriador (SR) e com resfriador (CR)

A uniformidade dos parâmetros climáticos é essencial para a qualidade do ambiente térmico (Bournet; Boulard, 2010). Curi et al. (2014) afirmam que o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos ambientais e a construção de mapas de krigagem podem auxiliar no manejo correto dos sistemas de ventilação. Assim, fica evidente a necessidade da adequação do ambiente térmico da área de seleção e embalagem do *packing house*, onde o início da linha de beneficiamento apresentou os pontos críticos de controle.

Aconselha-se a instalação de ventiladores e alocação dos mesmos de maneira que possam direcionar o fluxo de ar mais frio e úmido oriundos dos resfriadores evaporativos à região mais afastada dos mesmos (zona direita nos mapas). Assim, seria possível homogeneizar o ambiente, sem aumentar o teor de umidade relativa do ar e proporcionar condições ótimas aos trabalhadores, evitando o estresse térmico, e consequentemente aumentar a produtividade de todos.

CONCLUSÕES

1. O sistema de resfriamento evaporativo proporcionou melhores condições térmicas ao ambiente da área de seleção e embalagem do *packing house*, porém não garantiu a homogeneização.
2. Foram identificados pontos críticos de controle no início da linha de beneficiamento, região mais afastada dos resfriadores evaporativos, representada nos mapas de krigagem pela área mais à direita.
3. O uso da geoestatística e confecção dos mapas de krigagem possibilitou definir áreas com diferentes variabilidades espaciais para os atributos climáticos, identificando regiões específicas problemáticas. Essa ferramenta permite que os fatores nocivos ao conforto térmico humano sejam corrigidos pontualmente.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos à CAPES, CNPq, FAPESB e FINEP pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

Bournet, P. E.; Boulard, T. Efeito da configuração do ventilador no clima distribuído de estufas: uma revisão de estudos experimentais e CFD. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 74, n. 2, p. 195–217, 2010.

Carvalho, T. M. R. de; Moura, D. J. de; Souza, Z. M. de; Souza, G. S. de; Bueno, L. G. de F. Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento de frangos de corte. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.351-361, 2011.

Curi, T. M. R. C.; Vercellino, R. A.; Massari, J. M.; Souza, Z. M.; Moura, D. J. Geoestatística para a avaliação do controle ambiental do sistema de ventilação em instalações comerciais para frangos de corte. *Engenharia Agrícola*, v. 34, p.1062-1074, 2014.

Dacanal, C.; Turco, S.; Luz, S.; Campelo, O. Avaliação de desempenho térmico de Packing Houses de frutas no clima tropical semiárido. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, p. 2041 - 2050, 2014.

Epstein, Y.; Moran, D. S. Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial Health*, v. 44, n. 3, p. 388 - 398, 2006.

Faria, F. F.; Moura, D. J.; Souza, Z. M.; Matarazzo, S. V. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. *Ciência Rural*, v.38, p. 2498-2505, 2008.

Ferraz, G. A. S.; Silva, F. M.; Oliveira, M. S.; Custódio, A. A. P.; Ferraz, P. F. P. Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 48, n. 1, p. 81-91, 2017a.

Ferraz, P. F. P.; Junior, T. Y., Ferraz, G. A. S.; Damasceno, F. A. Distribuição espacial do índice de temperatura do globo e umidade em galpão de frangos na primeira semana de vida aquecido por fornalha industrial. *Energia na Agricultura*, v. 32, n.4, p. 356-363, 2017b.

Gonçalves, I. C. M.; Turco, S. H. N.; Ramos, C. M. C. Spatial variability of air temperature in a free-stall in the Northeastern semi-arid region of Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 67-71, 2016.

Little, T. M.; Hills, F. J. Experimentação agrícola. Nova York: John Wiley & Sons, 1978. 350p.

Lopes, I.; Silva, M. V. da; Melo, J. M. M. de; Montenegro, A. A. de A.; Pandorfi, H. Geostatistics applied to the environmental mapping of aviaries. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 6, p. 409-414, 2020.

Massari, J. M.; Moura, D. J.; Curi, T. M. R. C.; Vercellino, R. A.; Medeiros, B. B. L. Zoning of environmental conditions inside a wean-to-finish pig facility. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 739-748, 2016.

Medeiros, C. M.; Baêta, F. C.; Oliveira, R. F. M.; Tinôco, I. F. F.; Albino, L. F. T.; Cecon, P. R. Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.660-665, 2005.

Pandorfi, H.; Silva, I. J. O.; Guiselini, C.; Piedade, S. M. S. O uso da lógica fuzzy para a caracterização do ambiente produtivo de porcas prenhes. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 1, p. 83–92, 2007.

Queiroz, M. L. V.; Barbosa Filho, J. A. D.; Sales, F. A. de L.; Lima, L. R. de; Duarte, L. M. Variabilidade espacial do ambiente em galpões de frango de corte com sistema de nebulização. *Revista Ciência Agronômica*, v.48, p.586-595, 2017.

Ribeiro, P. A. P.; Yanagi Junior, T.; Oliveira, D. D.; Ferraz, G. A. S.; Lourençoni, D. Análise geoestatística das iluminâncias em aviários para poedeiras equipados com lâmpadas fluorescentes compactas e de led. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 36, p. 11-21, 2016.

Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, RF Alvarez V., VH; Schaefer, CEGR (ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-53, 2000.

Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Variabilidade espacial das propriedades físicas do solo no campo. In: Hillel, D. (ed.). *Aplicações da física do solo*. New York: Academic Press, p. 319-344, 1980.

Zimback, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. Tese (Doutorado em Levantamento do Solo e Fotopedologia) - Universidade estadual Paulista, Botucatu, 114f., 2001.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o estudo foi constatado que o uso de resfriamento evaporativo em *packing houses* localizados em região de clima semiárido é recomendável, pois, além de proporcionar ambiente de trabalho mais confortável termicamente, minimizando os riscos à saúde dos trabalhadores, seus baixos custos de instalação e manutenção permitem que empresários rurais de pequeno e médio porte possam adquirir esse tipo de sistema de climatização.

Por meio da análise geoestatística e mapas de interpolação por krigagem, foi observado que o ambiente térmico do *packing house* em estudo não é homogêneo, sendo identificados pontos críticos de controle no início da linha de beneficiamento. Isso mostra a necessidade de realização de projeto de dimensionamento e locação dos resfriadores evaporativos e ventiladores a fim de uniformizar a distribuição de ar por toda a instalação, fornecendo aos trabalhadores as mesmas condições térmicas em todos os setores de trabalho.

ANEXO



Figura 1. Área de seleção e embalagem do *packing house* avaliado e localização de um dos resfriadores evaporativos instalados.

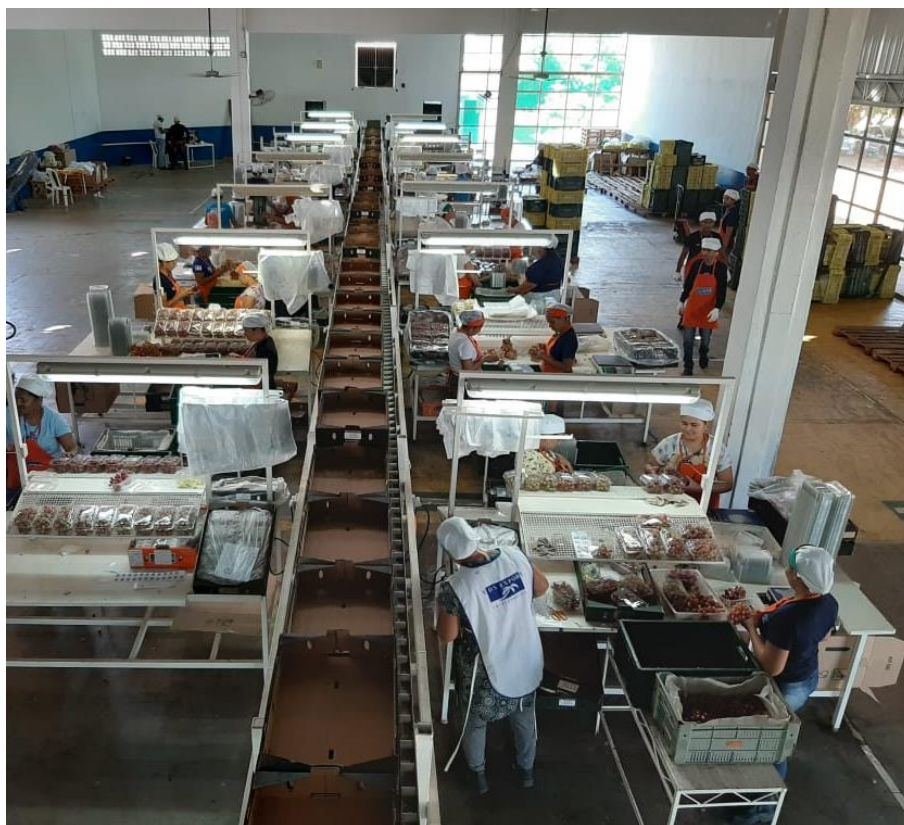


Figura 2. Linha de beneficiamento na área de seleção e embalagem do *packing house* avaliado.



Figura 3. Fim da linha de beneficiamento e localização de um dos resfriadores evaporativos instalados na área de seleção e embalagem do *packing house*.



Figura 4. Portões telados na área de seleção e embalagem do *packing house*.