



UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL
LETÍCIA SILVA

POTENCIAL DO USO DE AERAÇÃO EM SOJA E MILHO ARMAZENADOS
NO MUNICÍPIO DE UNAÍ-MG

Unai
2023

Letícia Silva

**POTENCIAL DO USO DE AERAÇÃO EM SOJA E MILHO ARMAZENADOS
NO MUNICÍPIO DE UNAÍ-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Cristiane Fernandes Lisboa

**Unai
2023**

Letícia Silva

**POTENCIAL DO USO DE AERAÇÃO EM SOJA E MILHO ARMAZENADOS
NO MUNICÍPIO DE UNAÍ-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Cristiane Fernandes Lisboa

Data de aprovação ____ / ____ / ____.

Profa. Dra. Cristiane Fernandes Lisboa
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Profa. Dra. Hellen Pinto Ferreira Deckers
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Prof. Dr. Anderson Barbosa Evaristo
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Unai

2023

Dedico este trabalho a Deus, que me deu forças para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar as dificuldades e os obstáculos encontrados ao longo do curso.

A minha mãe, meu pai (em memória) e meus irmãos, que me ajudaram nos momentos difíceis desse longo percurso para chegar até aqui.

Aos meus colegas, Patrícia, Carlos (em memória), Rosy Mara, Creudeci, que me acompanharam e ajudaram ao longo do curso, em especial a Patrícia que além de colega se tornou minha amiga.

A minha orientadora Cristiane, por toda sua dedicação e compromisso em me orientar neste trabalho.

Aos meus professores, pelos ensinamentos que me permitiram um melhor desempenho no meu processo de aprendizagem e formação profissional.

A persistência é o caminho do êxito. (Charles Chaplin)

RESUMO

A secagem de produtos agrícolas é uma etapa fundamental para a manutenção da qualidade pós-colheita. O conhecimento do equilíbrio higroscópico é um dos fatores primordiais na secagem de grãos, pois essa é uma propriedade natural dos grãos. No entanto, o equilíbrio higroscópico, quando não é monitorado antes do armazenamento, pode trazer grandes prejuízos às unidades armazenadoras. O objetivo do estudo foi avaliar o número de horas com condições propícias para condução da aeração de manutenção, resfriamento, baixa temperatura, super secagem e umedecimento em soja e milho armazenados no município de Unaí localizado na Mesorregião do Noroeste de Minas Gerais. Foram coletados dados meteorológicos no período de 01 de janeiro de 2020 a 31 de dezembro de 2022 através das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Por meio da série histórica do INMET para o município de Unaí-MG, foram obtidos dados meteorológicos diários para o período estudado, com horário de coleta e suas respectivas temperaturas e umidade relativa do ambiente naquele momento. Após a análise dos dados, pôde-se observar que, ao longo de um ano, tanto para o milho quanto para a soja, o ar insuflado na massa de grãos apresenta condições psicométricas propícias para manter o produto com teor de água de 13% b.u. É importante ressaltar que para o município de Unaí-MG, os maiores números de horas que se obteve equilíbrio higroscópico nos três anos de estudo para o milho e para a soja se concentraram na condição de temperatura entre 15°C e 32°C e a umidade relativa do ar variando entre 50% e 80%. Os meses com maior número de horas com equilíbrio higroscópico para o milho foram janeiro, abril e junho (ano de 2020); maio, junho e novembro (ano de 2021); e abril, maio e julho (ano de 2022). Os meses com maior número de horas com equilíbrio higroscópico para a soja foram maio, junho e novembro (ano de 2020); abril, maio e novembro (ano de 2021); e março, junho e dezembro (ano de 2022).

Palavras chave: Grãos, Psicometria, Equilíbrio Higroscópico, Armazenamento.

ABSTRACT

The drying of agricultural products is a fundamental step for the maintenance of post-harvest quality. The knowledge of hygroscopic equilibrium is one of the primary factors in grain drying since this is a natural property of grains. However, hygroscopic balance, when not monitored before storage, can bring great losses to storage units. The objective of the study was to evaluate the number of hours with favorable conditions for conducting maintenance aeration, cooling, low temperature, super drying and wetting in soybeans and corn stored in the municipality of Unaí located in the Mesoregion of Northwest Minas Gerais. Meteorological data were collected from January 1, 2020 to December 31, 2022 through the meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET). Through the INMET historical series for the municipality of Unaí-MG, daily meteorological data were obtained for the period studied, with collection time and their respective temperatures and relative humidity of the environment at that time. After analyzing the data, it was observed that, over the course of a year, for both corn and soybeans, the air blown into the grain mass presents psychrometric conditions conducive to maintaining the product with a water content of 13% b.u. It is important to emphasize that for the municipality of Unaí-MG, the highest number of hours that hygroscopic equilibrium was obtained in the three years of study for corn and soybean were concentrated in the temperature condition between 15°C and 32°C and the relative humidity of the air ranging between 50% and 80%. The months with the highest number of hours with hygroscopic balance for corn were January, April and June (year 2020); May, June and November (year 2021); and April, May and July (year 2022). The months with the highest number of hours with hygroscopic equilibrium for soybeans were May, June and November (year 2020); April, May and November (year 2021); and March, June and December (year 2022).

Keywords: Grains, Psychrometry, Hygroscopic equilibrium, Storage.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Horas de equilíbrio higroscópico para milho no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro no ano de 2020.....	13
Tabela 2 – Horas de equilíbrio higroscópico para milho no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro no ano de 2021.....	14
Tabela 3 – Horas de equilíbrio higroscópico para milho no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro no ano de 2022.....	15
Tabela 4 – Horas de equilíbrio higroscópico para soja no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro no ano de 2020.....	16
Tabela 5 – Horas de equilíbrio higroscópico para soja no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro no ano de 2021.....	17
Tabela 6 – Horas de equilíbrio higroscópico para soja no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro no ano de 2022.....	18
Tabela 7 – Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2020 para milho armazenado no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro.....	20
Tabela 8 – Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2021 para milho armazenado no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro.....	20
Tabela 9 – Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2022 para milho armazenado no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro.....	21
Tabela 10 – Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2020 para soja armazenado no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro.....	21
Tabela 11 – Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2021 para soja armazenado no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro.....	21

Tabela 12 – Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2022 para soja armazenado no município de Unai, localizado no Noroeste Mineiro.....	22
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A, B, C	PARÂMETROS QUE DEPENDEM DA NATUREZA DO PRODUTO
BPAG	BOAS PRÁTICAS DE ARMAZENAMENTO DE GRÃOS
B.S.	BULBO SECO
B.U.	BULBO ÚMIDO
CONAB	COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO
INMET	INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
LN	LOGARITMO NATURAL
SEAPA	SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO
T	TEMPERATURA
UE	UMIDADE DE EQUILÍBRIO
URAR	UMIDADE RELATIVA DO AR AQUECIDO, EM DECIMAL

LISTA DE SÍMBOLOS

% PORCENTAGEM

* MULTIPLICAÇÃO

°C GRAU CELSIUS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Importância da produção de soja e milho no Brasil e no estado Minas Gerais ...	7
2.2. Sistema de pré-beneficiamento e armazenamento de grãos	8
2.3. Equilíbrio higroscópico	9
2.4. Desafios da aeração em grãos armazenados em zonas de clima tropical	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3.1. Dados meteorológicos	11
3.2. Características avaliadas.....	11
3.2.1. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente	11
3.2.2. Temperatura de aquecimento do ar	11
3.2.3. Umidade de equilíbrio	12
3.2.4. Critérios utilizados para realizar aeração de manutenção, aeração de resfriamento e aeração secante	12
3.2.5. Análise estatística	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5. CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS.....	25

1. INTRODUÇÃO

A economia brasileira tem apresentado uma balança comercial positiva, ao longo dos últimos anos, e um dos setores que mais contribuem para esse resultado é o agronegócio (GRESELE, 2020).

Os produtos mais comercializados no agronegócio são as commodities, um exemplo são, a soja e o milho que são produtos que não possuem diferenciação em termos de qualidade, os quais são comercializados nas bolsas de valores de vários países ao redor do mundo. Por serem produtos com uma baixa margem de lucro para o produtor e para os intermediários, qualquer perda durante o processo, causa prejuízos expressivos para os envolvidos.

No Brasil o cultivo do milho vem ganhando espaço e se apresenta como um dos principais segmentos econômicos do agronegócio brasileiro, sendo o segundo grão mais exportado (SOUZA et al., 2018).

O estado de Minas Gerais deve registrar mais um recorde na produção de grãos durante a safra 2022/2023, conforme o primeiro levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022). A soja e o milho estão entre os principais produtos, que juntos perfazem um total de 91,5% da produção de grãos do estado. Somados, devem chegar ao volume de 16,6 milhões de toneladas produzidas, relata o superintendente de Inovação e Economia Agropecuária, da Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA, 2022).

A armazenagem é um dos processos que apresenta grande perda na pós-colheita, tanto qualitativa, quanto quantitativa. Esse processo é fundamental à produção de alimentos, pois a safra de um produto, muitas vezes, ocorre uma ou duas vezes por ano e seu consumo não possui essa sazonalidade (GRESELE, 2020).

A grande maioria das unidades armazenadoras de produtos a granel possuem sistemas, como termometria e aeração, que permitem aferir a temperatura do grão armazenado e homogeneizar e/ou resfriar esse produto armazenado (GRESELE, 2020).

A secagem de produtos agrícolas é uma etapa fundamental para a manutenção da qualidade pós-colheita (SILVA, 2017). O conhecimento do equilíbrio higroscópico é um dos fatores primordiais na secagem de grãos, pois essa é uma propriedade natural dos grãos. No entanto, o equilíbrio higroscópico, quando não é monitorado antes do armazenamento, pode trazer grandes prejuízos às unidades armazenadoras.

Na pós-colheita, a manutenção do teor de água dos grãos armazenados é de suma importância para reduzir a deterioração do produto ao longo do tempo. Nesse sentido, a aeração

tem extrema importância na manutenção da qualidade dos grãos armazenados. Durante o processo de aeração, o equilíbrio higroscópico entre a massa de grãos e o ar insuflado deve ser observado. Os grãos de soja e milho por se tratar de um material higroscópico, são capazes de absorver, reter ou eliminar vapor d'água, fazendo com que ocorra o fenômeno denominado equilíbrio higroscópico, que é quando o teor de água do grão entra em equilíbrio com o ar de secagem. A ligação entre a umidade relativa de equilíbrio e o teor de água de um determinado produto pode se apresentar através de equações matemáticas, denominadas isotermas ou de equilíbrio higroscópico (CORRÊA et al.; 2005). O conhecimento das curvas isotérmicas é de suma importância para o manejo e armazenagem em condições ambientais, pois serve de forma que, o teor de água do produto mantenha-se em níveis adequados nas condições de temperatura e umidade relativa de armazenagem, para que assim haja a redução na possibilidade de desenvolvimento de patógenos e fungos nos grãos (DITCHFIELD, 2000).

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o número de horas com condições propícias para condução da aeração de manutenção, resfriamento, baixa temperatura, super secagem e umedecimento em soja e milho armazenados no município de Unaí localizado na Mesorregião do Noroeste de Minas Gerais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância da produção de soja e milho no Brasil e no estado Minas Gerais

O Brasil é um dos maiores produtores de grãos do mundo, o mercado agrícola brasileiro apresenta uma importante expansão na produção de grãos. O milho e a soja são os grãos mais cultivados e exportados, além de serem um dos principais componentes para a produção de ração animal.

A produção brasileira de grãos na safra 2022/2023 pode chegar a 309,9 milhões de toneladas (CONAB, 2023). Quase metade desse volume total é resultado das lavouras de soja, o que representa uma colheita em torno de 151,4 milhões de toneladas, como mostra o 6º Levantamento da Safra de Grãos 2022/2023, divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023). Se confirmado, o volume de soja a ser colhido nesta temporada é 20,6% superior ao registrado no ciclo anterior, o que aponta uma recuperação na produtividade das lavouras que foram atingidas pelas condições climáticas adversas no período de 2021/2022 (CONAB, 2023).

Já para o milho as exportações seguem em ritmo acelerado, atingindo a marca de 2,28 milhões de toneladas exportadas, maior volume registrado para o mês de março de 2023 desde

2016 (CONAB, 2023). A demanda chinesa, em conjunto com a quebra da safra argentina, influência na maior procura pelo produto brasileiro, diante da demanda aquecida, a Conab estima que 48 milhões de toneladas do cereal sairão do país via portos (CONAB, 2023).

As primeiras lavouras de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), em Minas Gerais, foram semeadas no final da década de 1950, em solos férteis nos vales dos Rios Grande e Paranaíba (ZITO et al., 2011). Segundo Zito et al., (2011) na década de 50 não havia cultivares de soja adaptadas às condições climáticas de Minas Gerais e muito menos tecnologias básicas para a cultura.

O estado de Minas Gerais possui áreas favoráveis para produção de sementes de soja, localizadas nas regiões do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste (ZITO, et al., 2011).

Com estimativa da área total de milho (primeira, segunda e terceira safras) em 22 milhões de hectares, incremento de 1,8% sobre a safra anterior, espera-se uma produção de 125,5 milhões de toneladas, 11% ou 12,4 milhões de toneladas acima da safra de 2021/2022 (CONAB, 2023). Minas Gerais é o segundo maior produtor de milho do Brasil, e a região Noroeste do estado tem uma grande importância nessa produção, principalmente na Safrinha.

Além da importância econômica que a soja e o milho têm para o Brasil e o estado de Minas Gerais, também tem uma importância social relevante, pois gera empregos, investimentos em infraestrutura, entre outros.

2.2. Sistema de pré-beneficiamento e armazenamento de grãos

O pré-beneficiamento dos grãos deve ser bem planejado, deve permitir que o produto seja processado sem causar danos mecânicos e misturas entre variedades, para que se obtenha um produto final de boa qualidade. Durante o beneficiamento dos grãos e principalmente das sementes, passam por uma série de etapas que devem ser realizadas com um máximo de cuidado para se evitar muitas perdas. As unidades de beneficiamento e seus equipamentos, devem ser dispostos de modo que possam ser higienizados adequadamente e com o máximo de facilidade, devem evitar todos os pontos de contaminação e todas as operações devem ser otimizadas de modo a permitir um menor custo de produção.

O beneficiamento de grãos é uma das últimas etapas da produção agrícola. Sendo que é neste setor que o grão é avaliado pela sua qualidade, ou seja, grãos com baixo teor de água, baixa porcentagem de danos mecânicos (quebrados/trincados), porcentagem de impurezas aceitáveis, bons teores de óleo e proteína, ausência de pragas e doenças, ausência de grãos

avariados e com outros defeitos e características nutricionais elevadas, proporcionando sua boa classificação para padrões comerciais.

Após a colheita dos grãos em campo, o produto passa por uma série de processos como: recepção, limpeza, secagem e armazenagem, até que o insumo chegue ao consumidor final (MOTA, 2015). Tais etapas são realizadas em estruturas denominadas unidades de beneficiadoras de grãos (MILMAN, 2002).

Nem sempre, os grãos da forma como são colhidos e recebidos da lavoura não podem ser armazenados por melhor que sejam as condições do processo, pois são recebidos com um teor de impureza e umidade fora dos padrões (WEBER, 2005).

O processo de limpeza de grãos é uma operação que tem como objetivo reduzir a quantidade dessas impurezas, matérias estranhas, restos culturais e de grãos trincados, ardidados ou quebrados (MOTA, 2015). A limpeza deve ser realizada previamente ao processo de secagem e armazenagem (DALPASQUALE, 2002).

A capacidade de armazenagem estática para esse ano será de 190,13 milhões de toneladas, enquanto que a produção, safra de grãos 2022/2023 é estimada em 313,9 milhões de toneladas (CONAB, 2023). As alternativas como silo bag ou buscar locais mais distantes, reduzem a margem de lucros ao produtor. Essas armazenagens alternativas são mais caras, além de ter um custo de transporte maior, um certo risco de manter a qualidade dos grãos e a grande chance de perdas. No Brasil o déficit de armazenagem está crescendo de forma significativa, e se não houver investimentos em armazéns, a tendência é de agravar cada vez mais a pós-colheita dos grãos por falta de locais adequados para o armazenamento.

2.3. Equilíbrio higroscópico

Em unidades armazenadoras de grãos, o ar é empregado em diversas atividades que envolvem troca de calor e, ou de massa, ou ainda, o transporte pneumático (SILVA, 2010). A aeração de produtos armazenados, tem como objetivo uniformizar a temperatura e o teor de água da massa de grãos e renovar o ar presente no espaço intergranular.

É imprescindível, para garantir a qualidade e sua conservação, que os grãos sejam transportados e armazenados em locais secos e ventilados e, sobretudo, com baixos teores de água; do contrário, o desenvolvimento de microrganismos pode causar fermentações indesejáveis e contaminações por toxinas, que inviabilizam a utilização do produto para consumo humano e animal (SILVA, 2010).

Levando em consideração a importância do conhecimento do comportamento higroscópico de produtos agrícolas para avaliar as variáveis de processamento e definir condições de umidade para manutenção de suas qualidades durante o armazenamento, vários pesquisadores vêm empregando grandes esforços para obtenção de equações e modelos matemáticos que melhor representam este fenômeno (AGUERRE et al., 1989; CORRÊA et al., 1998; CHEN & JAYAS, 1998).

O grão tem uma natureza higroscópica, por isso pode ganhar ou perder vapor d'água, dependendo da umidade do ambiente onde está ou a pressão de vapor gerada pelo próprio teor de água, fenômenos conhecidos como adsorção e dessorção de água (CAMPOS et al., 2019).

A higroscopicidade de um produto agrícola depende diretamente da afinidade existente entre a água e os demais constituintes (gorduras, proteínas, açúcares, amido etc.) do material (BROOKER et al., 1992). A relação entre as características químicas, físicas e de estabilidade dos produtos desidratados ou parcialmente desidratados, pode ser conhecida através do comportamento das isotermas de sorção (HUBINGER et al., 2009).

O conhecimento do equilíbrio higroscópico e das propriedades físicas, auxilia no desenvolvimento e dimensionamento adequado de processos e equipamentos de aeração, movimentação de grãos, otimização, controle e operação de equipamentos utilizados nas etapas pós-colheita (SILVA, 2017).

2.4. Desafios da aeração em grãos armazenados em zonas de clima tropical

O Brasil por ter um clima tropical que é quente e úmido, pode influenciar tanto de forma negativa como positiva o pré-beneficiamento e armazenamento de produtos agrícolas. O excesso de umidade e calor afetam a qualidade dos grãos através de pragas e fungos, por esse motivo, o processo de secagem é essencial para adequar o teor de água dos grãos que ficaram por bastante tempo armazenados.

As boas práticas de armazenamento de grãos (BPAG) podem ser adotadas, em todas as escalas de produção agrícola, desde pequenos, médios e até grandes produtores, com o objetivo de assegurar a qualidade final do produto agrícola, bem como a saúde, o bem-estar e a segurança do trabalhador rural e dos consumidores (PIMENTEL et al., 2011).

O armazenamento é um processo de suma importância, pois de nada vale produzir bem, com qualidade e produtividades elevadas, se a produção estragar ou ficar comprometida devido a um processo inadequado de armazenamento (REGINATO et al., 2014).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), o Brasil vem tendo boas produtividades, o que tem permitido uma expectativa de produção de 313,9 milhões de toneladas na safra 2022/2023 (CONAB, 2023). Se confirmado, o volume representa um crescimento de 15,2% em relação à 2021/2022, o que representa cerca de 41,4 milhões de toneladas a mais, estabelecendo um novo recorde na série histórica. Como parte dessa produção é armazenada durante um determinado período, o país tem enfrentado problemas nessa área em decorrência de falhas nos processos de armazenagem e de baixa capacidade de estocagem.

Um dos benefícios do armazenamento correto da produção é dispor de grãos para serem comercializados em melhores períodos, evitando as pressões naturais do mercado na época da colheita. Isso eleva a capacidade de negociação, na medida em que se pode optar por adiar a venda para negociar um melhor preço.

Atualmente no Brasil os produtores têm sofrido com a baixa no preço da soja e do milho, e sem armazéns a volatilidade do mercado não pode ser vencida. Sem locais adequados para o armazenamento da produção, os produtores se veem obrigados a vender sua produção com preços baixos. Os armazéns estão cheios de soja e falta espaço para o milho, o que pressiona o mercado a vender com preços mais baixos o milho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos para o período de 01 de janeiro de 2020 a 31 de dezembro de 2022 foram obtidos por meio das estações meteorológicas no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a região do Noroeste de Minas Gerais. O município de Unaí foi escolhido levando em consideração o impacto social, o potencial para a agricultura e o potencial para beneficiar e armazenar grãos.

3.2. Características avaliadas

3.2.1. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente

Por meio da série histórica do INMET para o Noroeste de Minas Gerais, foram obtidos os dados meteorológicos diários para o período estudado, com o horário de coleta e suas respectivas temperaturas e umidade relativa do ambiente naquele momento.

3.2.2. Temperatura de aquecimento do ar

Para todos os dados meteorológicos diários registrados no período de um ano, foi somado mais 2°C na temperatura do ar ambiente, correspondendo ao aquecimento deste pelo atrito com as pás do ventilador (NAVARRO, 2002).

Em seguida, por meio das equações psicrométricas (ASAE STANDARDS, 1999) foram determinadas as novas características psicrométricas do ar aquecido para que fossem calculadas a umidade e equilíbrio.

3.2.3. Umidade de equilíbrio

Após a determinação das temperaturas acrescidas do aquecimento proveniente do atrito com as pás do ventilador e de suas características psicrométricas, foi calculada a umidade de equilíbrio utilizando a equação de Henderson Modificada, ilustrada abaixo (ASAE STANDARDS, 1999):

$$U_e = \left[\ln \frac{(1 - UR_{ar})}{(-a * (T + b))} \right]^{\frac{1}{c}}$$

Em que:

U_e = Umidade de equilíbrio, em % b.s.;

UR_{ar} = Umidade relativa do ar aquecido, em decimal;

T = Temperatura do ar aquecido, em °C; e

a , b , c = parâmetros que dependem da natureza do produto.

3.2.4. Critérios utilizados para realizar aeração de manutenção, aeração de resfriamento e aeração secante

Considerando que o teor de água ideal para os grãos de soja e milho armazenados sejam de 13% foram adotados os seguintes critérios para realizar a aeração de manutenção, aeração de resfriamento e aeração secante:

Aeração de manutenção: quando a umidade de equilíbrio calculada no item 3.2.3 variar entre 12,5% e 13,5%, a aeração será considerada indicada.

Aeração de resfriamento: quando a umidade de equilíbrio variar na faixa de 12,5% e 13,5% e a temperatura do ar for igual ou inferior a 25°C, a aeração será considerada viável.

Secagem a baixa temperatura: a temperatura do ar deve estar entre 26°C e 45°C e a umidade de equilíbrio deve variar na faixa de 12,5% e 13,5%.

Super secagem: quando a umidade de equilíbrio for menor que 12,5%.

Umedecimento: quando a umidade de equilíbrio for superior a 13,5%.

3.2.5. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise estatística descritiva. Para realizar este procedimento estatístico foi utilizada a planilha eletrônica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 está representando o número de horas em que o milho armazenado pode atingir o equilíbrio higroscópico com condições climáticas observadas no município de Unaí-MG no ano de 2020.

Tabela 1. Horas de equilíbrio higroscópico para milho no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro para o ano de 2020.

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Milho - Ano 2020													
Temperatura do ar após o ventilador	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4
29	5	3	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	20
28	29	23	13	14	0	0	0	0	0	0	5	9	93
27	24	21	24	27	6	0	0	0	0	10	11	18	141
26	9	11	9	7	8	0	0	0	0	19	23	19	105
25	4	1	3	4	6	5	0	0	7	16	21	13	80
24	3	0	0	5	14	12	0	0	5	10	9	6	64
23	4	0	0	3	6	8	3	0	3	1	1	5	34
22	0	0	0	4	4	7	11	2	2	0	3	2	35
21	0	0	0	1	1	15	11	9	0	0	1	1	39
20	0	0	0	0	2	3	21	21	0	0	0	0	47
19	0	0	0	0	2	5	24	19	6	0	0	0	56
18	0	0	0	0	3	2	12	5	11	0	0	0	33
17	0	0	0	0	0	0	4	13	7	0	0	0	24
16	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	5
15	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
Total (h)	79	59	53	76	52	57	87	73	43	56	74	73	782

Na tabela 2 está representando o número de horas em que o milho armazenado pode atingir o equilíbrio higroscópico com condições climáticas observadas no município de Unaí-MG no ano de 2021.

Tabela 2. Horas de equilíbrio higroscópico para milho no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro para o ano de 2021.

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Milho - Ano 2021													
Temperatura do ar após o ventilador	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	3	9
28	10	9	9	2	0	0	0	0	0	2	13	27	72
27	15	23	12	6	0	0	0	0	0	13	14	20	103
26	9	7	19	10	0	0	0	0	0	11	20	14	90
25	12	2	8	14	8	0	0	0	0	11	16	0	71
24	11	0	5	8	11	4	0	0	2	8	5	0	54
23	7	0	5	14	10	8	0	0	1	2	2	0	49
22	1	0	1	6	24	20	0	0	0	2	0	0	54
21	0	0	1	4	9	18	2	0	3	0	0	0	37
20	0	0	0	1	4	6	4	5	3	0	0	0	23
19	0	0	0	0	3	8	5	12	2	0	0	0	30
18	0	0	0	0	0	4	12	10	1	0	0	0	27
17	0	0	0	0	0	15	11	20	2	0	0	0	48
16	0	0	0	0	0	3	17	6	0	0	0	0	26
15	0	0	0	0	0	1	9	0	0	0	0	0	10
Total (h)	67	42	61	65	69	87	60	53	14	49	72	64	703

Na tabela 3 está representando o número de horas em que o milho armazenado pode atingir o equilíbrio higroscópico com condições climáticas observadas no município de Unaí-MG no ano de 2022.

Tabela 3. Horas de equilíbrio higroscópico para milho no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro para o ano de 2022.

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Milho - Ano 2022													
Temperatura do ar após o ventilador	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7
28	16	27	3	2	0	0	0	0	0	0	4	22	74
27	24	25	8	8	0	0	0	0	0	1	12	33	111
26	11	6	24	9	7	0	0	0	5	6	14	13	95
25	6	1	10	11	8	0	0	0	11	18	13	3	81
24	4	0	10	25	7	0	0	0	16	12	4	1	79
23	1	0	3	18	4	4	0	0	6	12	7	0	55
22	0	0	0	5	16	7	0	3	3	2	0	0	36
21	0	0	0	1	9	10	0	0	0	0	0	0	20
20	0	0	0	0	10	16	7	7	1	1	0	0	42
19	0	0	0	0	5	20	26	6	1	0	0	0	58
18	0	0	0	0	2	11	31	13	3	0	0	0	60
17	0	0	0	0	4	6	14	8	0	0	0	0	32
16	0	0	0	0	4	3	5	10	2	0	0	0	24
15	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	6
Total (h)	64	63	58	79	79	77	83	47	51	52	54	73	780

Na tabela 4 está representando o número de horas em que a soja armazenada pode atingir o equilíbrio higroscópico com condições climáticas observadas no município de Unaí-MG no ano de 2020.

Tabela 4. Horas de equilíbrio higroscópico para soja no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro para o ano de 2020.

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Soja - Ano 2020													
Temperatura do ar após o ventilador	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	6	7	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	21
26	20	18	15	10	1	0	0	0	0	1	3	3	71
25	13	20	20	15	3	0	0	0	0	7	20	24	122
24	8	11	14	7	8	0	0	0	0	22	28	20	118
23	1	2	4	3	5	0	0	0	2	8	8	6	39
22	2	0	0	2	12	7	0	0	5	1	7	4	40
21	1	0	1	2	12	12	1	0	0	0	3	2	34
20	1	0	0	1	10	13	1	0	0	0	1	1	28
19	0	0	0	5	6	14	7	4	0	0	2	0	38
18	0	0	0	0	3	6	12	7	0	0	0	0	28
17	0	0	0	0	2	9	12	9	0	0	0	0	32
16	0	0	0	0	1	1	11	8	0	0	0	0	21
15	0	0	0	0	4	1	12	2	1	0	0	0	20
Total (h)	52	58	57	50	67	63	56	30	8	39	72	60	612

Na tabela 5 está representando o número de horas em que a soja armazenada pode atingir o equilíbrio higroscópico com condições climáticas observadas no município de Unaí-MG no ano de 2021.

Tabela 5. Horas de equilíbrio higroscópico para soja no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro para o ano de 2021.

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Soja - Ano 2021													
Temperatura do ar após o ventilador	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	9
26	9	14	7	1	0	0	0	0	0	2	7	11	51
25	17	20	15	4	0	0	0	0	0	17	17	19	109
24	4	13	16	12	0	0	0	0	0	19	16	13	93
23	10	1	11	11	2	0	0	0	0	8	22	4	69
22	8	0	3	17	11	1	0	0	0	1	6	0	47
21	5	0	7	13	13	3	0	0	0	0	0	0	41
20	1	0	3	9	14	10	0	0	0	0	0	0	37
19	2	0	2	5	11	16	0	0	0	0	0	0	36
18	0	0	0	0	8	12	1	0	0	0	0	0	21
17	0	0	0	0	7	4	3	0	0	0	0	0	14
16	0	0	0	0	4	3	6	1	0	0	0	0	14
15	0	0	0	0	0	2	3	1	0	0	0	0	6
Total (h)	56	51	64	72	70	51	13	2	0	47	70	51	547

Na tabela 6 está representando o número de horas em que a soja armazenada pode atingir o equilíbrio higroscópico com condições climáticas observadas no município de Unaí-MG no ano de 2022.

Tabela 6. Horas de equilíbrio higroscópico para soja no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro para o ano de 2022.

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Soja - Ano 2022													
Temperatura do ar após o ventilador	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3
26	6	15	3	5	0	0	0	0	0	0	3	18	50
25	17	19	7	8	0	0	0	0	1	2	11	21	86
24	13	5	17	12	3	0	0	0	3	11	12	15	91
23	4	3	20	5	8	0	0	0	5	6	14	4	69
22	5	0	12	17	4	0	0	0	2	13	13	3	69
21	2	0	7	12	5	0	0	0	2	0	4	2	34
20	0	0	0	3	11	10	0	0	1	1	2	0	28
19	0	0	0	2	5	7	0	0	0	0	0	0	14
18	0	0	0	0	6	7	0	0	0	0	0	0	13
17	0	0	0	0	6	20	4	2	0	0	0	0	32
16	0	0	0	0	4	16	11	0	0	0	0	0	31
15	0	0	0	0	2	8	19	0	0	0	0	0	29
Total (h)	47	43	66	64	54	68	34	2	14	33	59	65	549

Para o município de Unaí-MG, localizado na Mesorregião do Noroeste Mineiro, observou-se para o milho ao longo dos anos de 2020, 2021 e 2022, apresentou 782, 703 e 780 horas com condições de equilíbrio higroscópico, respectivamente (Tabela 1, 2 e 3). Observou-se para a soja ao longo dos anos de 2020, 2021 e 2022, apresentou 612, 547, e 549 horas com condições de equilíbrio higroscópico, respectivamente (Tabela 4, 5 e 6).

Após analisar todas as tabelas, pôde-se observar que, ao longo de um ano, tanto para o milho quanto para soja, o ar insuflado na massa de grãos apresenta condições psicométricas propícias para manter o produto com teor de água de 13% b.u. Vale evidenciar que, para o milho e a soja no ano de 2020 os meses que apresentaram maior número de horas com condições de equilíbrio higroscópico foram; milho (janeiro, abril e julho) soja (maio, junho e novembro), para o milho e a soja no ano de 2021 os meses que apresentaram maior número de horas com condições de equilíbrio higroscópico foram; milho (maio, junho e novembro) soja (abril, maio e novembro), os meses de maio e novembro apresentaram a mesma quantidade de horas, para o milho e a soja no ano de 2022 os meses que apresentaram maior número de horas com condições de equilíbrio higroscópico foram; milho (abril, maio e julho), os meses de abril e maio apresentaram a mesma quantidade de horas, soja (março, junho e dezembro).

As variações dos meses com maior número de horas com equilíbrio higroscópico com os três anos estudados podem ter ocorrido devido as mudanças climáticas que vem ocorrendo nos últimos anos. Essas mudanças climáticas também vêm sendo atreladas as variações de produção de grãos no país devido a variação nos volumes de precipitação, temperatura e umidade relativa ao longo do período de produção. Mais, especificamente na Mesorregião do Noroeste Mineiro, em que está localizado o Município de Unaí, também houve variação nas condições climáticas, o que pode ter resultado nas oscilações de momentos em que ocorreram maior ou menor número de horas com equilíbrio higroscópico ao longo dos três últimos anos.

É importante ressaltar que para o município de Unaí-MG, os maiores números de horas que se obteve equilíbrio higroscópico nos três anos de estudo para o milho e para a soja se concentraram na condição de temperatura entre 15°C e 32°C e a umidade relativa do ar variando entre 50% e 80%, mostrando que com essas condições psicrométricas do ar obtêm-se um maior período de horas de condições ideais para manter o equilíbrio higroscópico no milho e na soja em 13% b.u.

O teor de água ideal para armazenar grãos com segurança em ambientes abertos está na faixa de 10% a 13%. A partir de 14%, os grãos apresentam aumento da taxa respiratória, intensificando o processo de liberação de calor, deixando assim o ambiente propício para o

desenvolvimento de microrganismos, principalmente fungos, que causam deterioração bacteriana (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001).

Ao segregar as horas com equilíbrio higroscópico encontradas no município de Unaí-MG em estudo por operação, pôde observar nas tabelas 7, 8, 9, 10, 11 e 12 o número de horas propícias para aeração de manutenção, aeração de resfriamento, secagem a baixa temperatura, super secagem e umedecimento.

Tabela 7. Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2020 para milho armazenado no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro.

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Milho - Ano 2020													
Operação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
1	11	1	3	17	38	57	87	73	43	27	35	27	419
2	11*	1*	3*	17*	38*	57*	87*	73*	43*	27*	35*	27*	419*
3	68	58	50	59	14	0	0	0	0	29	39	46	363
4	231	176	170	163	229	289	409	550	635	466	274	284	3876
5	433	461	521	481	462	374	248	119	42	222	372	374	4109
Total (h)	743	696	744	720	743	720	744	742	720	744	720	731	8767

*Pode ser usado tanto para aeração de manutenção quanto para aeração de resfriamento.

Tabela 8. Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2021 para milho armazenado no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro.

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Milho - Ano 2021													
Operação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
1	31	2	20	47	69	87	60	53	14	23	23	0	429
2	31*	2*	20*	47*	69*	87*	60*	53*	14*	23*	23*	0*	429*
3	36	40	41	18	0	0	0	0	0	26	49	64	274
4	281	159	282	264	338	383	554	648	698	442	177	160	4386
5	309	461	389	391	337	250	128	43	8	230	442	482	3470
Total (h)	657	662	732	720	744	720	742	744	720	721	691	706	8559

*Pode ser usado tanto para aeração de manutenção quanto para aeração de resfriamento.

Tabela 9. Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2022 para milho armazenado no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Milho - Ano 2022													
Operação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
1	11	1	23	60	72	77	83	47	46	45	24	4	493
2	11*	1*	23*	60*	72*	77*	83*	47*	46*	45*	24*	4*	493*
3	53	62	35	19	7	0	0	0	5	7	30	69	287
4	203	151	308	372	368	396	498	665	559	495	220	129	4364
5	447	424	349	266	292	244	157	25	96	145	393	490	3328
Total (h)	714	638	715	717	739	717	738	737	706	692	667	692	8472

*Pode ser usado tanto para aeração de manutenção quanto para aeração de resfriamento.

Tabela 10. Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2020 para soja armazenado no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro.

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Soja - Ano 2020													
Operação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
1	26	33	39	35	66	63	56	30	8	38	69	57	520
2	26*	33*	39*	35*	66*	63*	56*	30*	8*	38*	69*	57*	520*
3	26	25	18	15	1	0	0	0	0	1	3	3	92
4	358	296	279	289	354	430	592	686	697	560	418	423	5382
5	333	340	408	381	316	225	91	26	15	144	230	248	2757
Total (h)	743	694	744	720	737	718	739	742	720	743	720	731	8751

*Pode ser usado tanto para aeração de manutenção quanto para aeração de resfriamento.

Tabela 11. Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2021 para soja armazenado no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro.

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Soja - Ano 2021													
Operação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
1	47	34	57	71	70	51	13	2	0	45	61	36	487
2	47*	34*	57*	71*	70*	51*	13*	2*	0*	45*	61*	36*	487*
3	9	17	7	1	0	0	0	0	0	2	9	15	60
4	411	255	404	405	493	576	690	737	716	522	310	310	5829
5	192	357	265	243	181	88	22	0	0	152	314	388	2202
Total (h)	659	663	733	720	744	715	725	739	716	721	694	749	8578

*Pode ser usado tanto para aeração de manutenção quanto para aeração de resfriamento.

Tabela 12. Número de horas propícias para aeração de manutenção (1), aeração de resfriamento (2), secagem a baixa temperatura (3), super secagem (4) e umedecimento (5) ao longo do ano de 2022 para soja armazenado no município de Unaí, localizado no Noroeste Mineiro.

Mesorregião do Noroeste Mineiro - Unaí													
Soja - Ano 2022													
Operação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (h)
1	41	27	63	59	54	68	34	2	14	33	56	45	496
2	41*	27*	63*	59*	54*	68*	34*	2*	14*	33*	56*	45*	496*
3	6	16	3	5	0	0	0	0	0	0	3	20	53
4	324	256	443	514	566	563	675	738	646	590	335	256	5906
5	343	339	216	140	117	79	20	0	47	70	273	371	2015
Total (h)	714	638	725	718	737	710	729	740	707	693	667	692	8470

*Pode ser usado tanto para aeração de manutenção quanto para aeração de resfriamento.

Observou-se para o milho ao longo dos anos de 2020, 2021 e 2022, apresentou 419, 429 e 493 horas com condições propícias para aeração de manutenção e aeração de resfriamento; 363, 274 e 287 horas para secagem a baixa temperatura; 3.876, 4.386 e 4.364 horas para super secagem; 4.109, 3.470 e 3.328 horas para umedecimento (Tabela 7, 8 e 9). Observou-se para a soja ao longo dos anos de 2020, 2021 e 2022, apresentou 520, 487 e 496 horas com condições propícias para aeração de manutenção e aeração de resfriamento; 92, 60 e 53 horas para secagem a baixa temperatura; 5.382, 5.829 e 5.906 horas para super secagem; 2.757, 2.202 e 2.015 horas para umedecimento (Tabela 10, 11 e 12).

As horas que representam super secagem, se conduzidas de maneira adequada podem ser trabalhadas em operações para desumidificar grãos em armazéns que sofreram com processo de umedecimento por ação de pragas e doenças ou por migração de umidade.

Além disso, podem ser usadas para secagem a baixa temperatura, desde que haja monitoramento rigoroso para evitar que o teor de água do grão ultrapasse o ideal.

Foi observado que o milho tem um menor número de horas para super secagem em relação a soja, o que pode estar relacionado com as propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas do grão. Também pode estar ligada com a composição do grão. A soja, por possuir mais óleo em sua composição, tem menor afinidade com a água que o amido do milho.

Portanto, pode-se observar que no município de Unaí-MG, tem grande potencial para super secagem e umedecimento de milho e soja. Devido a esse alto potencial de super secagem, é necessário que alguns cuidados sejam tomados no uso do ar na secagem e na armazenagem de grãos, pois a super secagem pode trazer vários danos aos grãos, como danos mecânicos, rompimento da casca, película e trincamento, o que causa perda econômica do produto. O

umedecimento é outro fator de risco para os grãos, causando o desenvolvimento de microrganismos, propiciando a proliferação de fungos.

A ocorrência da super secagem implica que parte do produto armazenado, ou a totalidade, teve o teor de água reduzido abaixo do recomendado para a comercialização (SILVA, 2014).

Para evitar a super secagem ou o umedecimento durante a operação de aeração é extremamente necessário que o operador tenha conhecimento das condições psicrométricas do ar ambiente, disponha de informações sobre as condições de armazenagem do produto, e faça uso das tabelas ou equações de equilíbrio higroscópico para a tomada de decisão quanto ao melhor momento de conduzir a operação (SILVA, 2014). Apesar de haver um quantitativo grande de horas com condições de super secagem, se conduzida de maneira adequada e com monitoramento, esse número de horas com condições propícias para super secagem, podem ser utilizadas para conduzir secagem a baixa temperatura ou desumidificação de produtos armazenados.

Por meio das tabelas de equilíbrio higroscópico, foi possível verificar as condições de equilíbrio higroscópico para soja e milho armazenados no Município de Unaí, indicando que há condições de fazer operação de aeração e secagem a baixa temperatura de modo que o produto mantenha 13% de teor de água. Em complemento a isso, também verificou-se um elevado número de horas com equilíbrio higroscópico que resulta em um teor de água inferior a 13% de teor de água, que ocasiona super secagem, no entanto mesmo nessa condição essas horas podem ser utilizadas de maneira monitorada para fazer secagem a baixa temperatura e reduzir significativamente o custo da operação de secagem, além disso, essa mesma condição pode ser utilizada para remover pontos de umidade localizados na parte inferior do silo armazenador.

Por fim, também se observou um elevado número de horas em que o equilíbrio higroscópico gera umedecimento do produto armazenado, o que pode resultar em degradação física, fisiológica e sanitária do produto armazenado, sendo necessária bastante atenção com o ar insuflado nesta condição.

5. CONCLUSÃO

As condições psicrométricas do ar atmosférico que ocorre no município de Unaí-MG, apresentam condições de equilíbrio higroscópico ideais para aeração de manutenção, aeração de resfriamento e secagem a baixa temperatura.

Os meses com maior número de horas com equilíbrio higroscópico para o milho foram janeiro, abril e junho (ano de 2020); maio, junho e novembro (ano de 2021); e abril, maio e julho (ano de 2022).

Os meses com maior número de horas com equilíbrio higroscópico para a soja foram maio, junho e novembro (ano de 2020); abril, maio e novembro (ano de 2021); e março, junho e dezembro (ano de 2022).

O município de Unaí apresenta um elevado número de horas com ar com condições psicrométricas para super secagem e umedecimento de milho e soja.

REFERÊNCIAS

- AGUERRE, R. J.; SUÁREZ, C.; VIOLLAZ P. E.. **Modeling temperature dependence of food sorption isotherms**. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, London, v.22, n.1, p.1-5, 1989.
- ASAE STANDARDS. **Transactions of ASAE**. St. Joseph, MI, 1999. 980 p.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.
- CAMPOS, Renata Cássia et al. **Isotermas de sorção de umidade de sementes de girassol: Análise termodinâmica**. Ciência e Agrotecnologia, v. 43, 2019.
- CHEN, C.; JAYAS, D. S. **Evaluation of the GAB equation for the isotherms of agricultural products**. Transactions of ASAE, St. Joseph, v.41, n.6, p.1755-1760, 1998.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra Brasileira de Grãos**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 22 de abr. 2023.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Aumento de 20,6% na produção de soja impulsiona safra de grãos, estimada em 309,9 milhões de toneladas**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4937-aumento-de-20-6-na-producao-de-soja-impulsiona-safra-de-graos-estimada-em-309-9-milhoes-de-t>. Acesso em: 04 de mai. 2023.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Com boa produtividade, safra de grãos 2022/23 é estimada em 313,9 milhões de toneladas**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4997-com-boa-productividade-safra-de-graos-2022-23-e-estimada-em-313-9-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 09 de mai. 2023.
- CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H.; CHRIST, D.; MANTOVANI, B. H. M. **Curvas de dessecção e calor latente de vaporização para as sementes de milho pipoca (Zea mays)**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.2, n.1, p.75-79, 1998.
- CORRÊA, P. C.; GANELI, A. L. D.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. **Obtenção e modelagem das isotermas de dessecção e do calor esostérico de dessecção para grãos de trigo**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v.7, p.39-48, 2005
- DALPASQUALE, Valdecir Antoninho. **Procedimentos essenciais de recepção e limpeza de grãos**. In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. (Ed.). Armazenagem de grãos. Campinas: Instituto Biogeneziz, 2002. p. 191-212.
- DITCHFIELD, C. **Estudos dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GRESELE, Evertom Dutra. **Armazenagem de soja com controle da umidade relativa do ar de aeração**. 2020. 74 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR.

HUBINGER, M.D.; VIVANCOPEZANTES, D.; KUROZAWA, L.E.; SOBRAL, P.J.A. **Isotermas de dessecção de filé de bonito (Sarda sarda) desidratado osmoticamente e defumado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.3, p.305-311, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. **Normais Climatológicas (2020/2022)**. Brasília - DF, 2023.

MILMAN, Mário José. **Equipamentos para pré-processamento de grãos**. Pelotas: Universitária – UFPEL, 2002. 206p.

MOTA, Felipe Sprada Tavares. **Estudo de Caso: Identificação dos Riscos na Atividade de Beneficiamento de Grãos**. 2015.

NAVARRO, S.; NOYES, R. **The Mechanics and Physics of Modern Grain Aeration Management**. CRC Press, Boca Raton, 2002. 647 p.

PIMENTEL, M. A. G. et al. **Recomendações de boas práticas de armazenamento de milho em espiga para agricultura familiar**. 2011.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGUER, L. **Secagem de grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 2001. 149 p.

REGINATO, Maiara Perez et al. **Boas práticas de armazenagem de grãos**. ANAIS DO ENIC, n. 6, 2014.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Minas terá recorde de produção de grãos na safra 2022/2023**. Disponível em: <http://www.agricultura.mg.gov.br/index.php/component/gmg/story/5051-minas-tera-recorde-de-producao-de-graos-na-safra-2022-2023?layout=print#:~:text=Minas%20Gerai%20deve%20registrar%20mais,18%2C2%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas>. Acesso em: 22 de abr. 2023.

SILVA, Fernanda Pimentel da. **Cinética de secagem, higroscopicidade e propriedades físicas dos grãos de niger (Guizotia abyssinica (Lf) Cass.)**. 2017.

SILVA, L.C.. **Aeração de grãos: aplicabilidade e riscos**. Grãos Brasil da Semente ao Consumo, Maringá: PR, p. 29 - 33, 20 fev. 2014.

SILVA, L. C.. **Aeração de grãos armazenados**. Revista Grãos Brasil da Semente ao Consumo. Ano X, p. 07 - 10, 01 set. 2010.

SOUZA, A. E.; REIS, J. G. M.; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S.. **Estudo da produção do milho no Brasil: regiões produtoras, exportação e perspectivas**. SOUTH AMERICAN DEVELOPMENT SOCIETY JOURNAL, v. 4, p. 189-194, 2018.

WEBER, Érico Aquino. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. 2005

ZITO, R. K.; ARANTES, N. E.; FRONZA, V.; SÁ, M. E. L. de; PÁDUA, G. P. de; ZANETTI, A. L.; JUHÁSZ, A. C.. **Soja em Minas Gerais**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 32, n. 260, p. 16-21, jan./fev. 2011.

