



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS - CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - DEAGRI

MANOEL DE SANTANA DE CAMPOS

**CONSTRUÇÃO E TESTE DE UM SECADOR SOLAR E DE UM
PICNÔMETRO DE COMPARAÇÃO A AR PARA A SECAGEM E A
DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE DE GRÃOS**

São Cristóvão – SE
2022

MANOEL DE SANTANA DE CAMPOS

**CONSTRUÇÃO E TESTE DE UM SECADOR SOLAR E DE UM
PICNÔMETRO DE COMPARAÇÃO A AR PARA A SECAGEM E A
DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE DE GRÃOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe - Campus São Cristóvão, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrícola, sob a Orientação do Prof. Dr. Douglas Romeu da Costa.

SÃO CRISTOVÃO/SE
2022

MANOEL DE SANTANA DE CAMPOS

**CONSTRUÇÃO E TESTE DE UM SECADOR SOLAR E DE UM
PICNÔMETRO DE COMPARAÇÃO A AR PARA A SECAGEM E A
DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE DE GRÃOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe - Campus São Cristóvão, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrícola, sob a Orientação do Prof. Dr. Douglas Romeu da Costa.

Aprovado em ____ . ____ .2022

BANCA EXAMINADORA

Avaliador (Me. Wendel de Melo Massaranduba)

Avaliador (Dr. Welington Gonzaga do Vale)

Orientador (Dr. Douglas Romeu da Costa)

**SÃO CRISTOVÃO/SE
2022**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente, a meu DEUS, por me guiar e ser essencial na minha vida, ao meus pais e às minhas irmãs, pois sem eles este trabalho e outros sonhos não se realizariam.

RESUMO

O Brasil, ao longo das últimas décadas, vem consolidando-se na liderança como um dos principais produtores de alimentos no mundo. Fato é que o país já é o terceiro maior produtor mundial de milho atrás de Estados Unidos e China. Por sua relevância o tratamento no pré-processamento desse cereal torna-se uma etapa fundamental para garantir um produto com alta qualidade. A secagem é considerada a etapa de maior gasto energético na produção de grãos, sendo normalmente efetuada com a queima de biomassa, como a lenha, por exemplo. Do ponto de vista financeiro, a secagem de grãos continua sendo dispendiosa e inviável para pequenos agricultores. Objetivou-se com esse trabalho, construir e testar dois equipamentos utilizados no pré-processamento de produtos agrícolas. Construir e testar um secador solar a nível familiar para a secagem de produtos agrícolas; construir e testar um picnômetro de comparação a ar para a determinação da porosidade intergranular de produtos agrícolas. Obtidos os resultados foi possível constatar que o secador solar pode ser utilizado para a secagem de produtos agrícolas e que o picnômetro apresentou valores de porosidade acima do valor medido pelo método da adição de fluido. O custo de confecção dos equipamentos foram de R\$ 1.202,01 e R\$ 1.305,83 e na simulação de secagem foi verificado que as condições de secagem solar foram favoráveis e as variações no formato e tamanho de grãos e o picnômetro apresentou valores de porosidade acima do valor medido.

Palavra-chave: Milho, Energia renovável, Eficiência energética.

ABSTRACT

Brazil, over the last decades, has been consolidating its leadership as one of the main food producers in the world. The fact is that the country is already the third largest producer of corn in the world after the United States and China. Due to its relevance, the treatment in the pre-processing of this cereal becomes a fundamental step to guarantee a product with high quality. Drying is considered the step with the highest energy expenditure in grain production, and is usually carried out with the burning of biomass, such as firewood, for example. From a financial point of view, drying grains remains expensive and unfeasible for small farmers. The objective of this work was to build and test two equipment used in the pre-processing of agricultural products. Build and test a household-level solar dryer for drying agricultural products; to build and test an air comparison pycnometer for the determination of intergranular porosity of agricultural products. Obtained the results, it was possible to verify that the solar dryer can be used for the drying of agricultural products and that the pycnometer presented porosity values above the value measured by the fluid addition method. The cost of making the equipment was R\$ 1.202,01 and R\$ 1.305,83 and in the drying simulation it was verified that the solar drying conditions were favorable and the variations in the shape and size of grains and the pycnometer presented porosity values above the measured value.

Keywords: Corn, Renewable energy, Energy efficiency.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO GERAL	9
2.1 Agricultura familiar	9
2.2 O milho na agricultura familiar	9
2.3 Importância do armazenamento de grãos para o pequeno agricultor .	12
2.4 Principais formas de armazenamentos na agricultura familiar	13
2.5 Importância da secagem	14
3 Capítulo 1 – Construção e teste de um secador solar de grãos a nível familiar	17
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.2.1 Área experimental	18
3.2.2 Milho	19
3.2.3 Secador solar	20
3.2.4 Secagem do milho no secador solar	22
3.2.5 Secagem das amostras de milho utilizadas como testemunha	23
3.2.6 Método da determinação do teor de água	24
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.3.1 Curva de secagem da testemunha	26
3.3.2 Temperaturas da massa de grãos, ar ambiente, ar exaustão, umidade relativa e da umidade relativa de exaustão.	27
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
3.5 REFERÊNCIAS	30
4. Capítulo 2 – Construção e teste de picnômetro a ar utilizando-se material reaproveitado	34
4.1 INTRODUÇÃO	34
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	35
4.2.1 Picnômetro de comparação a ar	35
4.2.2 Determinação da porosidade com o picnômetro	38
4.2.3 Determinação da porosidade pelo método direto	39
4.2.4 Tecnologia de sensores	40
Sensor dsb18b20	41
Sensor dht22	41
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.3.1 Testemunhas	43
Porosidade x teor de água	43
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45

4.5 REFERENCIAS	46
5. Apêndices	48
5.1 APÊNDICE 1 - INFORMAÇÕES SOBRE O SECADOR SOLAR	48
5.2 APÊNDICE 2 - INFORMAÇÕES SOBRE O PICNÔMETRO	50

1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais anuais mais importantes do mundo, fornecendo alimento básico e sendo utilizado como fonte de renda para muitas populações de países em desenvolvimento (RANUM et al., 2014). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, atrás de Estados Unidos e China (MARIUZZO, 2019). Com uma estimativa de produção de grãos de 269,3 milhões de toneladas (safra 2021/2022), a produção estimada de milho é de cerca de 115,6 milhões de toneladas de milho, que representa 32,7% superior à safra 2020/2021, sendo a área plantada estimada em 21.238,9 mil hectares (CONAB, 2022).

Os estados de Mato Grosso, Paraná e Goiás serão os que mais contribuirão para esta produção, com 83.505,2; 34.967,7 e 30.401,4 milhões de toneladas, respectivamente. Já o estado de Sergipe, sendo o quarto maior produtor do Nordeste, contribuirá com 1.006,4 mil de toneladas, com uma área plantada de 184,2 mil hectares e uma produtividade média de 5.464 kg/ha, sendo a maior do Brasil (CONAB, 2022).

Apesar da grande produção de grãos, o cenário global previsto é crítico, pois a população mundial em 2050 atingirá nove bilhões de habitantes (WORLD, 2009). Além disso, a crescente escassez dos recursos terra e água, as mudanças climáticas e eventos extremos e os níveis de renda per capita e urbanização em crescimento constante e decrescente produtividade em alguns países podem agravar a falta de alimento (BOARETTO, 2009).

Um dos principais pontos da agricultura mundial a ser considerado é a forte pressão para garantir a segurança alimentar e também para fornecer energia limpa de forma sustentável.

A busca por redução dos prejuízos e entraves que dificultam a sustentabilidade dos processos agrícolas vem estimulando a pesquisa e a construção de ferramentas e métodos que visam superar tais obstáculos, aumentando tanto a lucratividade do pequeno, grande ou médio produtor, como a variedade do produto ofertado ao consumidor (NETO et al., 2016).

Desse modo, ferramentas como o secador solar e o picnômetro de comparação trazem vantagens pois a qualidade sensorial, bioquímica e físico-química se tornam aspectos fundamentais para a aceitação do consumo do grão no mercado, exigindo assim padrões de qualidade bastante eficientes que visão especificamente, a cor, o sabor, textura e que apresente intuitivamente a ausência de qualquer contaminação,

microbiológica, física e/ou química. Os efeitos de qualidade são fatores compostos por um conjunto de ações, aplicadas e absorvidas durante todo o processamento do grão, levando em consideração as características de cultivo, manejo, armazenamento, processo de transformação e conservação (FERREIRA, 2005).

2 REFERENCIAL TEÓRICO GERAL

2.1 Agricultura familiar

Segundo o Censo Agropecuário 1995/96, existem no Brasil 4.859.864 estabelecimentos rurais, ocupando uma área de 353,6 milhões de hectares. De acordo com a metodologia adotada, os agricultores familiares representam 85,2% do total de estabelecimentos e ocupam 30,5% da área total, recebendo apenas 25,3% do financiamento destinado à agricultura. No entanto, ela agrega 77% do total de trabalhadores ocupados na agricultura e representa 38% do valor bruto da produção agropecuária nacional. Além disso, 67% do feijão, 84% da mandioca e 49% do milho produzidos no Brasil são produtos da agricultura familiar (SILVA et al., 2005).

No Brasil, 39,8% dos estabelecimentos familiares possuem sob qualquer condição, menos de 5 há; outros 30% possuem entre 5 e 20 há e 17% possuem entre 20 e 50 há, e seja, 87 dos estabelecimentos familiares possuem menos de 50ha. A falta de maior atividade nestes segmentos de produção se deve ao fato de a maioria dos produtos não dispor de opção para instalar silos ou outras formas de unidades armazenadoras a custo compatível e de fácil operação e, ao mesmo tempo, não adotarem processos eficientes de colheita e secagem em suas propriedades (SILVA et al., 2005).

2.2 O milho na agricultura familiar

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. O uso do milho em grão na alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal no mundo. No Brasil, varia de 70 a 90%, dependendo da fonte da estimativa e da região geográfica. Embora a utilização do milho na alimentação humana não seja muito grande no Brasil, esse cereal com essa finalidade é importante em regiões com baixa

renda. Por exemplo, no Nordeste do Brasil, o milho é a fonte de energia para muitas pessoas que vivem no Semiárido (DUARTE et al., 2010). Embora na região Nordeste sejam plantados 22,57% de todo o milho no Brasil (3,07 milhões de hectares na safra 2010/11), a produção de 6,1857 mil t representa apenas 10,8% do total colhido no Brasil de toda pequenos produtores no processo produtivo: aqueles que cultivam menos de um hectare de milho representam 30,8% dos produtores e colhem apenas 1,89% da produção. A importância do milho ainda está relacionada ao aspecto social, pois grande parte dos produtores não é altamente tecnificada, não possui grandes extensões de terras, mas depende dessa produção para viver. Isso pode ser constatado pela quantidade de produtores que consomem o milho na propriedade. Segundo os dados do IBGE, cerca de 59,84% dos estabelecimentos que produzem milho consomem a produção na propriedade (ALBERNAZ et al., 2010).

Quadro 1. Área, rendimento e produção de milho nos estados da região Nordeste e no Brasil em 2023.

Região/UF	Área (em mil há)	Produtividade (Kg.ha ¹)	Produção (em mil t)
MA	608,5	5045	3.069,8
PI	608,3	4669	2.840,4
CE	573,1	943	540,4
RN	52,4	555	29,1
PB	116,1	622	72,2
PE	253,8	632	160,5
AL	40,2	2.088	83,9
SE	182,2	5.209	949,1
BA	865,9	4.265	3.693,1
Nordeste	3.300,5	3.466	11.438,5
Brasil	22.316,3	5.604	12.5062,4

Fonte: CONAB, 2023.

1) Normalmente estes produtores não dispõem de máquinas e equipamentos próprios e ficam na dependência de terceiros, seja públicos (prefeituras, associações comunitárias) ou privados (prestadores de serviço). Tal situação, muitas vezes associadas à falta de treinamento dos operadores de máquinas, gera problemas quanto à qualidade dos serviços prestados (geralmente, o manejo de solos, a incorporação de corretivos e plantio, a colheita) e quanto à melhor época de se realizar as operações; 2)

As sementes muitas vezes são obtidas de programas de doações, ou “troca-troca” governamentais, ou o produtor utiliza sementes de paiol, ou segunda geração de híbridos; 3) Geralmente as áreas escolhidas para a implantação das lavouras de milho apresentam média a alta fertilidade natural, mas são pequenas, muitas vezes menores do que 1 hectare e às vezes de topografia que dificulta a mecanização. Normalmente o produtor não realiza análise de solo e tanto a correção quanto a adubação, quando realizadas, são menores do que o recomendado. O tamanho da lavoura e o acesso à área também dificultam algumas operações, como o transporte e a distribuição de calcário; 4) O controle de plantas daninhas geralmente é mecânico e muitas vezes realizado tardiamente. Baixa densidade de plantio é frequente, o que facilita a ocorrência do mato. Normalmente a colheita é realizada manualmente e sempre com atraso, aumentando as perdas no campo e a infestação de insetos. A maioria da produção é consumida na propriedade gerando pouca renda, o que também dificulta a aquisição de insumos para serem utilizados na lavoura; 5) Principalmente no Nordeste, é comum a utilização de consórcio do milho com várias culturas. Geralmente a estrutura de armazenamento é precária e improvisada; 6) O milho não é uma fonte direta de renda, participando na propriedade como fonte de alimentação animal e humana; 7). No que diz respeito ao emprego de mão –de obra, cerca de 14,5% das pessoas ocupadas nas lavouras temporárias e cerca de 5,5% dos trabalhadores do setor agrícola estão ligados à produção de milho. No setor agropecuário, a produção de milho só perde para a pecuária bovina em termos de utilização de trabalhadores, apesar de as tecnologias modernas utilizadas na produção desse cereal serem poupadoras de mão de obra. Como se pode notar, a importância do milho não está apenas na produção de uma cultura anual, mas em todo o relacionamento que essa cultura tem na produção agropecuária brasileira, tanto no que diz respeito a fatores econômicos quanto a fatores sociais. Pela sua versatilidade de uso, pelos desdobramentos de produção animal e pelo aspecto social, o milho é um dos mais importantes produtos do setor agrícola no Brasil. É recomendado que toda a produção siga as normas das Boas Práticas Agrícolas (BPA), que são um conjunto de princípios destinados a tornar a agricultura menos dependente dos produtos químicos, menos agressiva ao meio ambiente, mais socialmente correta e, por conseguinte, mais sustentável (ALBERNAZ et al., 2010).

O Brasil possui um grande número de agricultores familiares que fazem o cultivo de milho, muitos destes conduzem lavouras com baixa utilização de insumos e

em condições desfavoráveis, tanto do ponto de vista, econômico, político, social e técnico (AGRICULTURA, 2020).

O milho possui grande importância social, cultural e econômica na agricultura familiar e também no agronegócio, que é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. O uso deste grão no consumo animal representa grande parte do consumo desse cereal no mundo. No Brasil, varia de 70 a 90%, dependendo da fonte da estimativa e da região geográfica (CRUZ et al., 2011). Com relação ao aspecto nutricional, o milho é a fonte de energia para muitas pessoas que vivem no Semiárido (DUARTE et al., 2010).

Apesar da maioria das tecnologias utilizadas pelos grandes produtores também possam ser utilizadas pelos pequenos produtores, existem diversos fatores que diferenciam a produção da agricultura familiar, como a utilização de alta tecnologia, insumos agrícolas e principalmente a forma de armazenamento, visto que, a maioria das estruturas de armazenamento são precárias e improvisadas (CRUZ et al., 2011).

A maioria dos produtores familiares produzem o milho para ser utilizado na propriedade, para sua própria alimentação e também dos animais. Apenas uma pequena parcela da produção é vendida, geralmente o excedente produzido é comercializado pelos agricultores, preferencialmente para o mercado local. Nas pequenas propriedades familiares, o agricultor geralmente espera o milho secar naturalmente no campo e pode realizar a colheita do milho em etapas, colhendo aos poucos a lavoura conforme sua necessidade e disponibilidade (CRUZ et al., 2011).

Perdas durante o armazenamento, ocasionado pela presença de insetos, roedores e fungos ainda são bastante frequentes. Calcula-se que no mínimo 15% das perdas de produtos armazenados é causado diretamente por insetos e fungos (SANTOS; MANTOVANI, 1997; DALPASQUALE, 2006; SANTOS, 2008).

2.3 Importância do armazenamento de grãos para o pequeno agricultor

Nos primórdios da humanidade, provavelmente há 10.000 anos, o homem começou a perceber a importância da relação semente-planta, esse fato provocou grandes modificações em suas vidas, visto que uma semente posta no solo dava origem a uma planta, e gerava muitas outras sementes. Diante disso, visto a necessidade de proteger seus alimentos de inimigos naturais como, ataque de animais, fatores ambientais como tempestade, plantas daninhas e entre outros, o homem percebeu a necessidade de

modificar profundamente seus hábitos, passando da vida nômade para sedentária (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Com relação aos tempos atuais, o armazenamento nas propriedades rurais é de suma importância, visto que, se feito de forma adequada, traz muitos benefícios ao produtor, como, comercialização com maiores lucros, já que pode ser armazenado e vendido nos períodos de menor oferta, redução de perdas pós-colheita devido ataques de pragas e proliferação de microrganismos, diminuição dos custos relativos a fretes quando se evita transporte em época de grande demanda deste e dentre outros benefícios (MEDINA, 1989).

O autor também afirma que, a ausência de silos ou outras estruturas de armazenamento de grãos, induz a riscos e despesas, que diminuem a rentabilidade do produtor. A prática de estocagem de grãos nas propriedades familiares é realizada frequentemente utilizando técnicas arcaicas e estruturas improvisadas, inadequadas para o correto armazenamento dos grãos. A maioria dos agricultores cultiva o milho, feijão, arroz, para o próprio consumo dentro da propriedade, e também dos animais (SANTOS, 2008; ALBERNAZ et al., 2010). Deve-se iniciar o armazenamento das sementes durante a maturidade fisiológica, tendo como objetivo manter a qualidade dos grãos durante o período de estocagem. Fator esse de extrema importância, visto que a maioria dos agricultores familiares tem o hábito de armazenarem as sementes para propagarem na safra seguinte. (VILLELA; PERES, 2004).

Enquanto os danos causados no campo podem ser compensados pela recuperação da planta danificada ou pelo aumento de produtividade de plantas não atacadas, os prejuízos em grãos armazenados são irreversíveis (FONTES et al., 2003).

2.4 Principais formas de armazenamentos na agricultura familiar

O armazenamento a granel faz parte de uma tendência adotada em diversas partes do mundo. Basicamente, os depósitos com finalidade de armazenar grãos de forma a granel, são chamados de silos. Os agricultores familiares produtores de grãos utilizam frequentemente silos de médio e pequeno porte, que são metálicos, de alumínio ou ferro. Os silos metálicos herméticos, de média e grande capacidade, que oferecem maior qualidade são mais utilizados pelos grandes produtores. (PUZZI, 2000).

O armazenamento em sacos, nos armazéns e na propriedade de pequenos produtores é a prática mais utilizada no país. Essa prática, apresenta diversos problemas, tais como: os grãos ficam vulnerável às condições do meio ambiente e lugares de alta

umidade, o produto pode ser prejudicado pela ação de fungos e outros fatores. Por outro lado, o armazenamento em sacos apresenta alguns pontos positivos como facilidade na manipulação, formações de lotes de um mesmo depositante, ocorrendo fermentações em um ou mais sacos de grãos, os mesmos poderão ser retirados, sem causar mais danos em todo os grãos armazenados (PUZZI, 2000).

Os grãos quando armazenados, deverão estar secos e limpos. Os depósitos, nas fazendas destinados a receber os produtos ensacados devem proteger os grãos, principalmente, contra a umidade, água de chuva e infiltração de vapor d'água (PUZZI, 2000).

2.5 Importância da secagem

Na agricultura familiar, o estabelecimento para o armazenamento de milho em espigas apresenta algumas características especiais, como, por exemplo, baixo custo e a durabilidade, uso de materiais que possibilitam o bom arejamento das estruturas, facilidade para o controle de pragas e outras (SANTOS, 2006)

A secagem é o processo pelo qual parte da água contida em um produto é removida. Em produtos agrícolas, como grãos, sementes e frutos, esse processo ocorre com a transferência de calor e massa de forma simultânea, e é utilizado para evitar o desenvolvimento de fungos, micro-organismos e insetos, que normalmente são as causas da deterioração desses produtos (FIOREZE, 2004; CAVALCANTI-MATA et al, 2006; SILVA, 2008).

A secagem é uma das etapas para o armazenamento seguro, que consiste na retirada do excesso de água dos grãos, num processo de transferência de calor e massa, pela diferença de pressão de vapor de água entre o ar de secagem com a superfície do produto. A secagem dos produtos agrícolas pode ocorrer de forma natural ou artificial. A secagem natural exige longo período e grandes áreas para movimentação do produto (SILVA et al., 2008).

A secagem de alimentos é um mercado em ascensão e com grande potencial de crescimento e ainda mal explorada pelos empresários brasileiros (SOUZA et al., 2007). A secagem, utilizada na energia solar, demonstra ser uma alternativa de grande interesse pelas suas qualidades e características como o fato de ser limpa, gratuita e de enorme potencial, amplamente disponível em todo o Brasil e principalmente no Nordeste (FERREIRA, et al 2008).

O milho é um dos principais produtos agrícolas do Brasil, sendo que o país é o terceiro maior produtor e segundo maior exportador (ARTUZO et al., 2019). O milho armazenado está sujeito ao ataque de pragas como insetos, roedores e fungos. A limpeza do produto é fundamental para preservação da sua qualidade durante o armazenamento. Se as impurezas não forem eliminadas, podem afetar a qualidade, ocorrendo interferências na armazenagem e, posteriormente, na comercialização (BAILEY, 1974; REBONATTO; CITTADIM, 2014). Outra etapa operacional importante do beneficiamento de grãos é o processo de secagem, o qual proporciona condições adequadas para o armazenamento seguro dos grãos.

A secagem é o processo comercial bastante utilizado para a preservação da qualidade dos produtos agrícolas. Pois consiste na remoção de grande parte de água inicialmente contida no produto logo após a naturalidade fisiológica, para que promova longos períodos de armazenamento, sem que ocorram perdas significativas durante o processo. Na secagem de plantas, conforme a espécie, as partes frescas colhidas devem ser preparadas para o processo, visando aumentar a eficiência (MARTINAZZO et al., 2010).

Para Carvalho e Nakagawa (2000), o processo de secagem ocorre mediante duas fases, sendo a primeira, a transferência de água da superfície do produto para o ar que a circunda, e a segunda, o movimento da água do interior do produto para o ar que a circunda.

Tal processo é caracterizado pela transferência de calor e massa. O ar ambiente, recebe uma complementação de energia térmica por meio de um sistema de aquecimento. Em seguida, numa câmara de secagem, esse ar transfere energia para os grãos e estes transferem massa de vapor de água para o ar, que é retirada do sistema de secagem para o ambiente por meio da exaustão desse ar (BRITO et.al., 2017).

Segundo Lima (1995), a secagem artificial feita por secadores, utiliza o aquecimento do ar com a finalidade de aumentar a pressão de vapor de água existente nos grãos pelo aquecimento do mesmo e favorecendo assim a saída de umidade. Parte do calor do ar proporciona um aumento da temperatura do produto (calor sensível) e parte fornece o calor necessário para a vaporização da água dos grãos (calor latente). E outra finalidade é diminuir a umidade relativa do ar, aumentando sua capacidade de absorver umidade.

O que caracteriza um método como artificial é o fato de que o processo é executado com o auxílio de alternativas mecânicas, elétricas ou eletrônicas e o ar, que

atravessa a massa de sementes, é forçado. Tendo em vista a rapidez com que consegue remover água, tem sido a opção mais frequentemente adotada na produção de sementes (CAVARIANI, 1996).

Na secagem artificial, equipamentos denominados secadores, no qual o produto, com teor de água acima do recomendado para a sua armazenagem, é exposto a um fluxo de ar forçado e aquecido, que passa pelos grãos contidos na câmara de secagem reduzindo o teor de água do produto (DALBELLO, 1995).

No secador solar, o ar ambiente é aquecido pela irradiação solar e percorre de forma natural ou forçada, retirando a água do produto que se quer secar. O material pode ser colocado diretamente no coletor, secagem direta, ou em uma câmara de secagem, secagem indireta (SOUZA et al., 2012). A utilização de um secador solar na secagem resultou em um impacto óbvio na qualidade do produto final. Com este novo empreendedorismo tem muitas opções de equipamentos, redução de resíduos e exportação com selo verde aberto, ele conclui que é versátil e sustentável, e bom para meio ambiente, são fatores que o tornam uma alternativa muito atraente ao adicionar valor produção agrícola (OVANDO et al., 2016).

3 CAPÍTULO 1 – CONSTRUÇÃO E TESTE DE UM SECADOR SOLAR DE GRÃOS A NÍVEL FAMILIAR

3.1 INTRODUÇÃO

A secagem é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e a estabilidade de grãos e sementes durante o armazenamento. A diminuição da quantidade de água contida nos grãos reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o período de pós-colheita. A conservação pela secagem baseia-se no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades. Com a redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenagem, são reduzidas a atividade de água, a velocidade das reações químicas no produto e o desenvolvimento de microrganismos (GONELI et al., 2007).

De acordo com Feiden (2015) a secagem ou desidratação tem por objetivo reduzir o conteúdo de água, de 60% a 90% para 8% a 10%, interrompendo o processo natural de deterioração biológica, atividades bacterianas, transformação enzimática e oxidação, preservando suas principais características nutricionais e organolépticas como cor, aroma, sabor e textura, por um período muito maior de tempo e facilitando seu armazenamento.

Entre os diferentes sistemas de secagem, podem ser citados os secadores mecânicos e o secador solar. Nos secadores mecânicos a energia usada, para o aquecimento do gás (ar) de secagem, é oriunda da queima de lenha, de combustíveis fósseis ou ainda pelo uso de eletricidade. Os secadores elétricos, encontrados como os mais acessíveis no mercado dentre os secadores mecânicos, em modelos de menor porte com aplicação domiciliar ou de grande porte com aplicação industrial, possui normalmente uma resistência elétrica que esquenta devido ao efeito Joule, aliado a um fluxo de ar gerado por ventoinha (ARAUJO et al., 2021). Já no secador solar, a energia é proveniente diretamente do sol. O secador solar, ao contrário dos mecânicos, usa energia térmica renovável e de baixo custo na secagem de grãos. Além disso, a energia solar é considerada como fonte limpa visto que não libera poluentes na atmosfera. O uso da energia solar em substituição às fontes de energia convencionais na desidratação de frutas em empreendimentos agroindustriais pode ter consequências favoráveis tanto em termos econômicos e ambientais quanto de inclusão social, pois permite maior participação de pequenos produtores no processamento industrial de frutas (SILVA, 2010).

O desenvolvimento de equipamentos que utiliza a radiação solar com eficiência e baixo custo passou a ter importância maior nos dias atuais, pois se tornou uma alternativa para produtores que não tem acesso aos secadores convencionais em função do seu elevado custo de aquisição e operação (BARBOSA, 2011).

Neste sentido Oliveira; Domingues e Charbel (2020), avaliando um secador solar por convecção natural na secagem do bagaço de laranja, contabilizaram uma redução de 35,6% no teor de água na base úmida em comparação com a secagem em um secador de circulação forçada ar, que foi de 67,8% da perda do teor de água durante o período de avaliação. Os autores sugerem ainda que a combinação dos dois processos de secagem seria adequada, intercalando o tempo de secagem entre os dois equipamentos.

Conforme o exposto, objetivou-se com esse trabalho, construir um e testar um secador solar utilizado no pré-processamento de produtos agrícolas baseado em secagem de grãos utilizando energia solar.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Área experimental

O trabalho foi realizado no Laboratório de Construções Rurais, Energia e Armazenamento de Grãos - CREAG do Departamento de Engenharia Agrícola - DEAGRI e no Laboratório de Remediação de Solos do departamento de Engenharia Agrônômica – DEA, ambos da Universidade Federal de Sergipe na cidade de São Cristóvão - SE. Algumas matérias em perfeito estado de conservação foram compradas em ferro velho de Aracaju SE, e reciclado para uso da construção do secador solar.

Figura 1 – Localização da área experimental.



Fonte: Google Maps, (2021).

Os testes de secagem de grãos de milho foram realizados com o uso de um secador solar de baixo custo para pequenos produtores no mês de outubro de 2021, na área externa entre Complexo Laboratorial de Biologia e Engenharia Florestal e a Subestação de Energia da Universidade Federal de Sergipe, no município de São Cristóvão, Sergipe, sob as coordenadas geográficas de 10.928568 latitude e -37.106759z longitude.

3.2.2 Milho

O produto utilizado foi o híbrido LG 6036 VT PRO 3' (Lima Grain), pertencente a um produtor do Povoado Paracatu de Cima, no município de Simão Dias no estado de Sergipe, coordenadas geográficas: latitude 10°45'53" S, longitude 37°54'59" S e altitude de 313 metros.

O Quadro 1 apresenta informações sobre os tratos culturais do milho. A semeadura ocorreu no mês de abril de 2021 e realizado sua colheita no mês de setembro de 2021. Foi debulhado mecanicamente com o uso de uma máquina, e em seguida, transportado para o Campus da Universidade Federal de Sergipe, onde ficou armazenado em uma sala refrigerada. Para a execução dos testes foi realizada a limpeza do produto com a remoção de impurezas e matérias estranhas.

3.2.3 Secador solar

O secador solar está ilustrado nas Figuras 1, 2 e 3 abaixo. Trata-se de um equipamento de baixo custo para uso em agricultura familiar, construído em uma Oficina de Serralheria na cidade de Aracaju-SE. Constitui-se de uma estrutura de aço, madeira e vidro. Chapa de aço de perfil perfurada, tubos de aço galvanizado, roldanas, cantoneiras, tábuas de pinos e tampão de vidro (Vide Anexo 1).

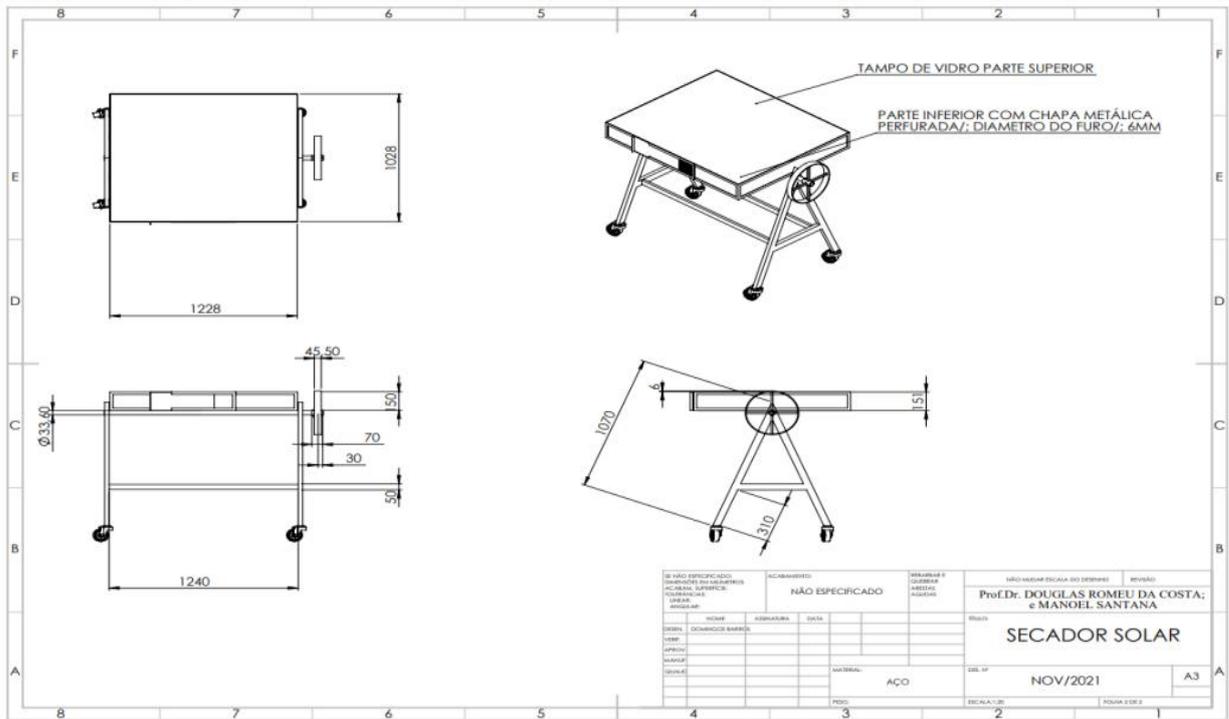
O desenvolvimento do secador solar (Figura 4 e 5) fundamentou-se em um modelo já existente que utiliza a energia solar como fonte principal para retirar a massa de água dos grãos. Tal modelo, caracteriza-se como JPC1. A operação do equipamento realizou-se seguindo orientações já existentes, manuseando em diversas posições durante a secagem, conforme a orientação do sol (SILVA; CORREA, 1981; SILVA et al., 2000; SILVA et al., 2005; SILVA et al., 2008).

Figura 2 - Secador solar: representação em 2D a 180° (a), representação em 2D a 45° (b)



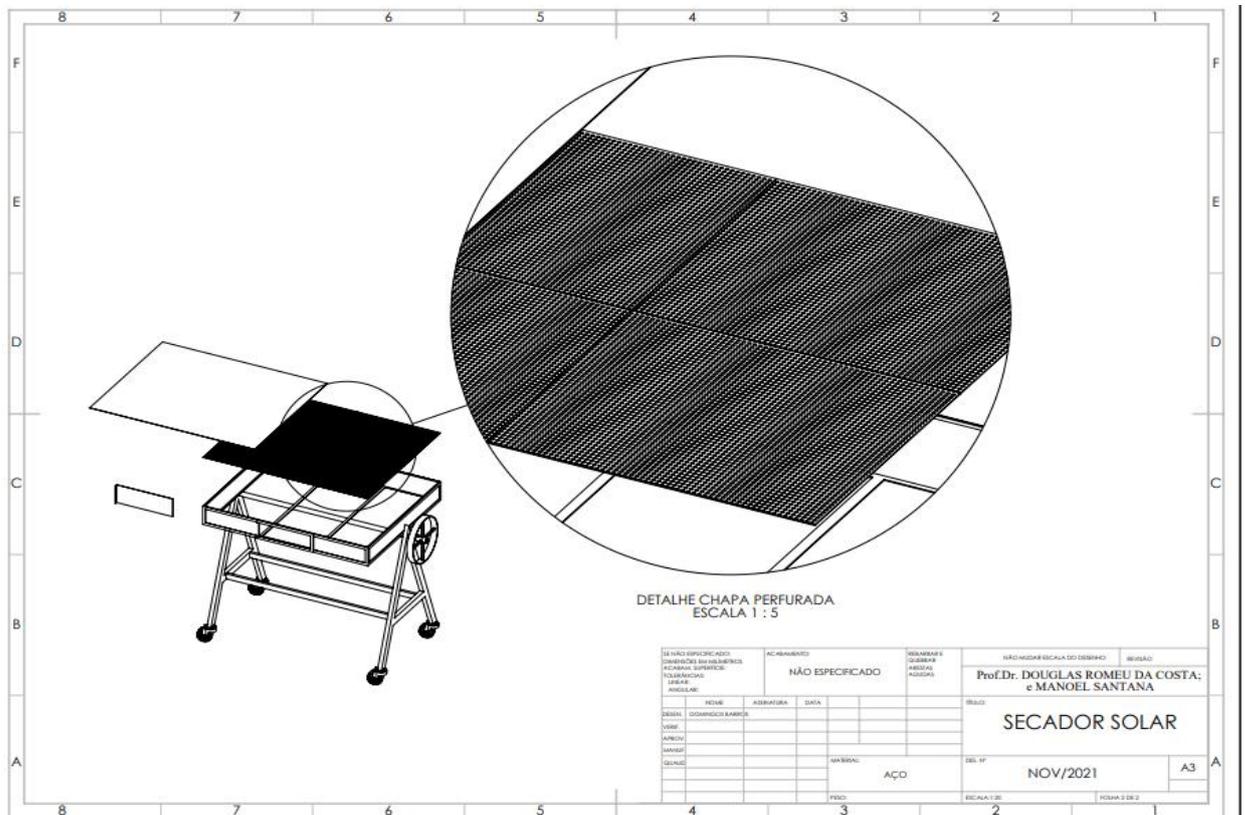
Fonte: O autor, (2021).

Figura 3 - Projeto em 3D do secador solar



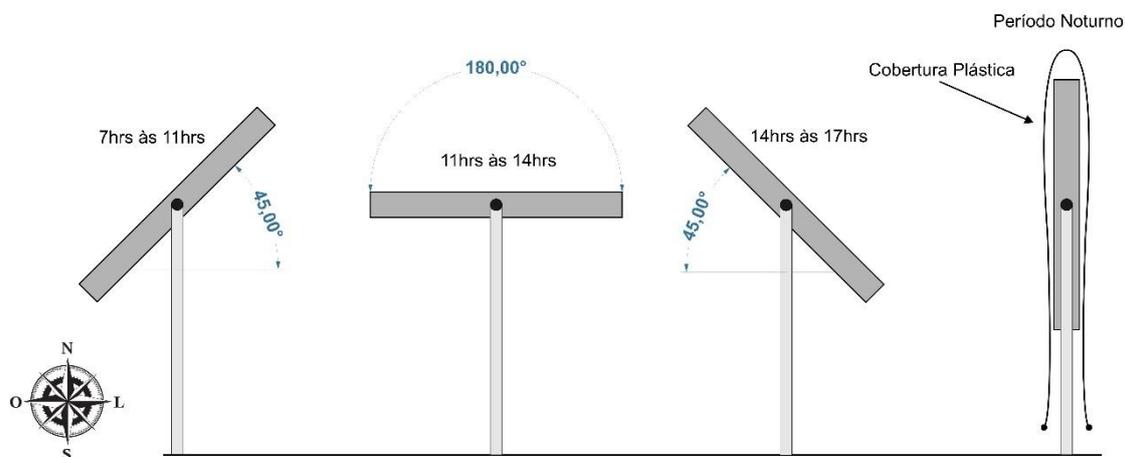
Fonte: O autor, (2021).

Figura 4 - Projeto em 3D do Secador Solar - Ilustração do secador solar de exposição direta.



Fonte: O autor, (2021).

Figura 5 - Projeto em 3D do Secador Solar



Fonte: O autor, (2021).

3.2.4 Secagem do milho no secador solar

No Laboratório de Construções Rurais, Energia e Armazenamento de Grãos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe – CREAG, foram realizados os testes de porosidade utilizando o milho (*Zea mays* L.) a granel produzido no município de Simão Dias, Sergipe. A realização da colheita foi mecânica de aproximadamente 7 sacas de milho e os testes experimentais aconteceram entre os meses de setembro a outubro 2021, quando o milho com teor inicial de água de 20% b.u., foi armazenado em uma câmara com ar refrigerado o que possibilitou a pesquisa.

Foram realizados os testes em três etapas considerando o total de 114 kg para a secagem, sendo 100 para o secador e 14 kg para a testemunha, conforme (Figura 10).

A porosidade pode ser determinada por métodos diretos, como, por exemplo, medindo-se o volume de líquidos acrescentados à massa de grãos, ou por métodos indiretos, como o uso de picnômetro de comparação a ar.

A massa específica granular e o tamanho e a forma dos grãos influenciam diretamente na determinação da porosidade e são informações de relevada importância para construção de equipamentos como o picnômetro (SILVA, 2000).

Figura 6 - Vista frontal



Fonte: O autor, (2021).

A cada etapa giratória no secador solar os grãos eram revolvidos manualmente, três vezes ao dia para uma melhor homogeneização na secagem do milho. No entanto foram considerados os horários de 07h00min às 11h00min, com inclinação a 45 graus. Já, no horário de 11h00min as 14h00min, a inclinação foi de 180° graus e, no horário das 14:00 as 17:00 horas, a inclinação foi de 45° graus de acordo com a movimentação solar.

3.2.5 Secagem das amostras de milho utilizadas como testemunha

Na secagem solar sobre a lona plástica (Figura 8) eram realizadas diariamente sobre os 14 kg de milho as etapas de teste de porosidade junto ao Picnômetro e após a realização eram separadas as amostras de 150 gramas para comprovação de perda de umidade junto à estufa a 105 °C. A imagem da Figura 8A corresponde ao primeiro teste.

Já a imagem da figura 8B corresponde ao segundo teste e a imagem da figura 8C é o teste final da prova. A figura 8D é o milho usado em estudo.

Figura 8 – Etapas da secagem da amostra



Figura 8A - Primeira amostra; Figura 8B - Segunda amostra; Figura 8C - Terceira amostra; Figura 8D – Balança **Fonte:** O autor, (2021).

3.2.6 Método da determinação do teor de água

Os métodos diretos para determinação de umidade avaliam a quantidade de água no produto por diferença entre a massa de entrada e da saída, quando a remoção de umidade é feita por um processo adequado.

Na secagem em estufas (Figuras 9A e 9B) é o método mais utilizado por ser simples e se baseia na remoção da água por aquecimento. Conforme normas oficiais, no Brasil, o Ministério da Agricultura adota o critério de $105^{\circ}\text{C}/\pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas (BRASIL, 2009). Considera para todas as sementes inteiras, em consequência essas normas, a temperatura do ar pode variar de 102°C a 108°C com resultados oficiais.

Com bases nos procedimentos das normas foi realizado no laboratório de Remediação de Solos do DEA – Departamento de Engenharia Agrônômica da UFS o teste com o uso de uma balança de precisão de $\pm 0,001$ grama, pode se pesar as

amostras coletadas de 150 g separadas em 3 partes, cada uma com 50 gramas cada e levado a estufa por um período de 24 horas e após esse tempo foram pesados e obtidos os resultados para análises.

Figura 9 – Método de secagem da amostra

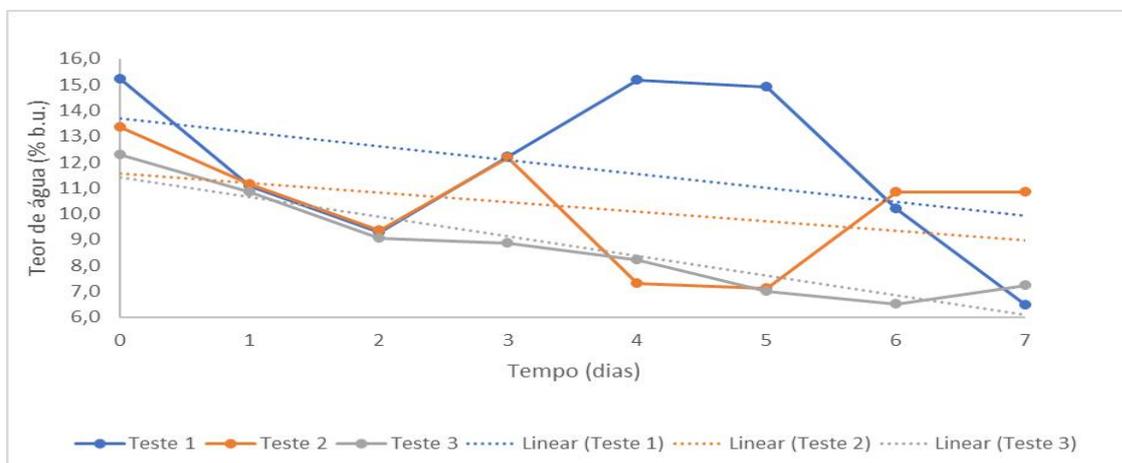


Figura 9A - Estufa Figura; Figura 9B - Amostras distribuídas. **Fonte:** O autor, (2021).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

É apresentado, na Figura 10, a variação do teor de água dos grãos (% b. u) no secador solar, nos testes 1, 2 e 3. Observou-se, que as leituras dos teores, iniciais e finais, de água no milho foram 15,2% b.u. e 7,0% b.u.; 13,4% b.u. e 10,8% e; 12,3% b.u. e 7,2%, nos testes 1, 2 e 3, respectivamente. No secador solar, constatou-se que o teor de água do milho foi menor que o percentual recomendado para armazenagem segura com duração de um ano ou para a comercialização, que 13% b.u. (PUZZI, 2000).

Figura 10 - Variação do teor de água no milho em função do tempo durante a secagem no secador solar, nos testes 1, 2 e 3.



Fonte: O autor, 2021.

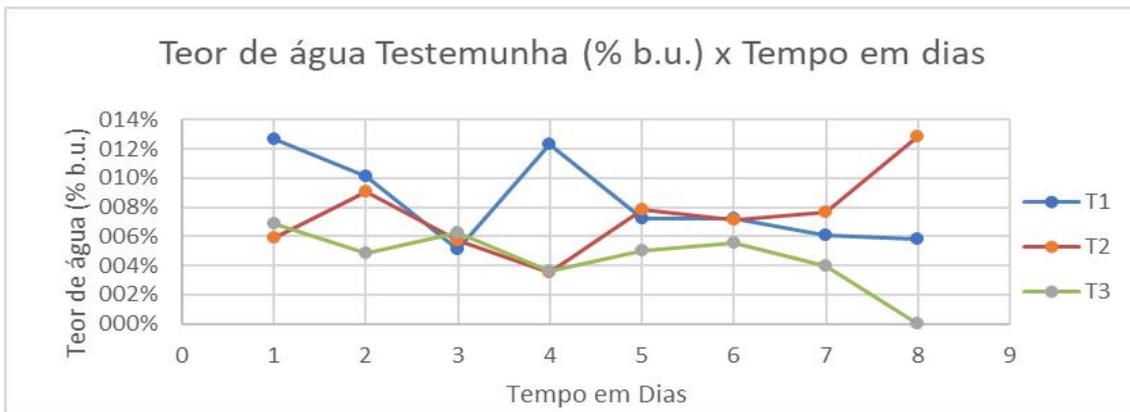
Pelos resultados, o secador tem potencial para realizar a secagem do milho. Porém, notou-se uma desuniformidade do teor de água durante a secagem em períodos subsequentes. Isso demonstra a necessidade de mudança na forma de operação do equipamento. Assim, recomenda-se que haja uma maior movimentação do secador em intervalos regulares, com giros de 360 graus. Souza et al. (2002) verificaram que, a diferença entre os resultados simulados e experimentais de secagem pode estar associada à uniformidade de distribuição do ar ao longo do duto central do secador. No modelo implementado assumiu-se que o ar era distribuído uniformemente ao longo do duto. Entretanto, experimentalmente verificou-se que principalmente no terço superior do silo as sementes atingiram menores valores de teor de água no final da secagem.

Durante a secagem, um gradiente de teor de umidade é gerado entre o interior e a superfície do grão, e a parte superficial em contato direto com o ar de secagem tende ter menor teor de umidade do que o interior. Durante o tempo de secagem, a água começa a se mover do centro para as camadas externas do grão. Quanto maior o tempo de secagem mais uniforme seria o teor de umidade dentro do grão (BARBOSA DE LIMA et al., 2016).

3.3.1 Curva de secagem da testemunha

Analisando os resultados da Figura 11, da curva de secagem das testemunhas, observou-se que a média do teor de água na secagem no ponto 1, iniciou com 12,67% b.u, e no tempo final 5,78%; no tempo 2 iniciou com 6,87% na b.u e no final 12,84% e no tempo 3 a inicial de 6,87% b.u e final 3,99%. Entre os testes inicial e final constatou que houve oscilação no período e ficou abaixo observa-se que as temperaturas atingidas pela massa de grãos estão em conformidade com o recomendado pela literatura. Guissem et al. (2002) observou que o teor médio de água no grão de todas as cultivares foi reduzido de 32,42% para 13,59%, totalizando uma perda de água nos grãos de 18,83%, em 48 dias.

Figura 11 – Variação do teor de água no milho em função do tempo.



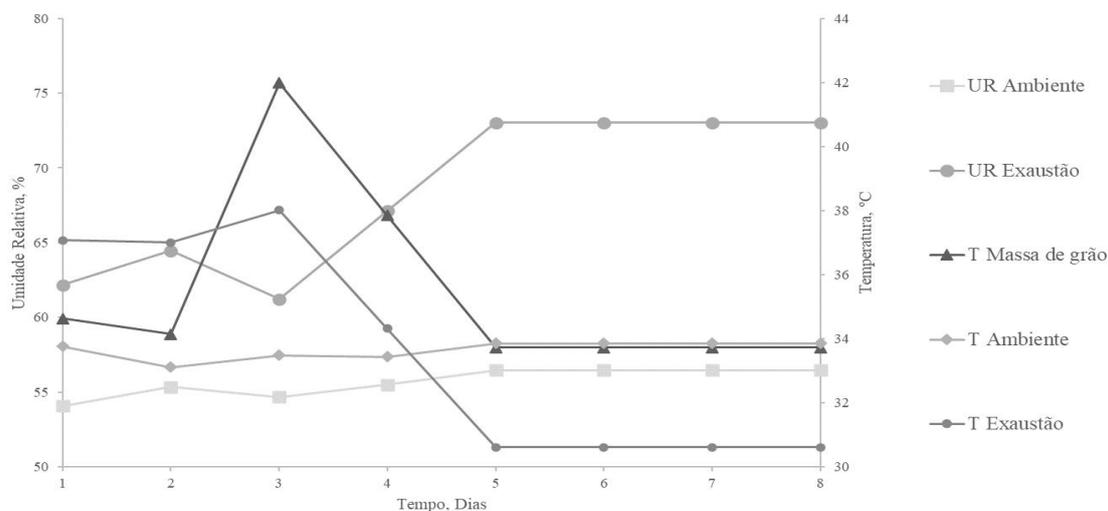
Fonte: O autor, 2021.

Há um maior decréscimo da umidade do grão durante as primeiras horas de secagem, e com uma variação cada vez menor até se tornar constante ao final das horas de secagem, quando o grão entra em equilíbrio higroscópico com o ar. Isso se dá devido ao fato de que durante as primeiras horas de secagem a remoção de umidade se dá pela evaporação da água presente nas camadas superficiais do grão, o que torna sua remoção mais fácil, então a água presente no interior do grão, que está fortemente ligada a este, começa a migrar do interior para as camadas exteriores, porém este é um processo mais lento e que exige mais energia para ocorrer (MOHANRAJ; CHANDRASEKAR,2009).

3.3.2 Temperaturas da massa de grãos, ar ambiente, ar exaustão, umidade relativa e da umidade relativa de exaustão.

Na Figura 12 são apresentados os dados de temperaturas da massa de grão, ar ambiente, ar exaustão e umidade relativa ambiente e umidade relativa de exaustão em relação ao tempo, durante a secagem no teste 1. Observou, se nesse período que a temperatura do ar de secagem variou, sendo a temperatura mínima de massa de grão de 33,11°C e a máxima de 33,85 °C, já a umidade relativa ambiente o valor mínimo foi de 54,07% e máximo 54,68% alcançado no terceiro dia.

Figura 12 – Variação de temperatura no secador solar no teste 1



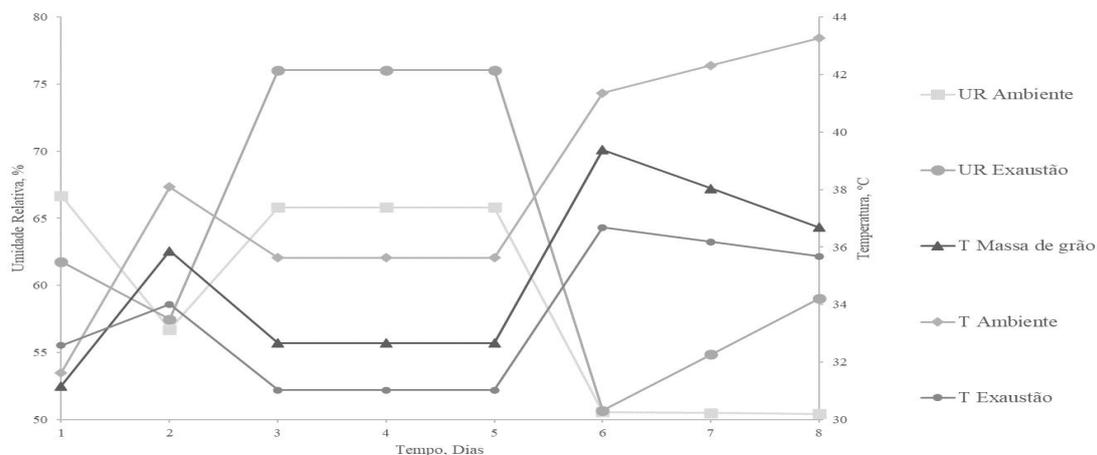
Fonte: O autor, 2021.

Os graus-dia, a radiação solar global, a insolação e a evaporação são fatores que influenciam a perda de água pelos grãos de milho (GUISCHEM et al., 2002).

Na Figura 25 são apresentados os dados de temperaturas da massa de grão, ar ambiente, ar exaustão e umidade relativa ambiente e umidade relativa de exaustão em relação ao tempo, durante a secagem no teste 2.

Observou, se nesse período a temperatura da massa grãos mínimos era de 50,42°C e a máxima de 66,69°C, e a umidade relativa de exaustão mínima de 50,68% e a máxima atingiu 76,04%. Constatou que o secador solar apresentou uma boa eficiência no processo de secagem dos grãos de milhos, sendo a temperatura mínima de massa de grão de 31,17°C e a máxima de 38,04 °C, já a umidade relativa ambiente o valor mínimo foi de 54,42% e máximo 66,69%.

Figura 13 – Variação de temperatura no secador solar no teste 2



Fonte: O autor, 2021.

Segundo Silva et al. (2008) no início da secagem a água escoava na fase líquida, sob um gradiente hidráulico. Com o decorrer da secagem, ocorre a diminuição no diâmetro dos poros capilares e, conseqüentemente, a redução de volume do grão, onde é aproximadamente igual ao volume da água evaporada. À medida que o produto vai perdendo água e passa do ponto crítico de umidade (umidade em que água deixa de comporta-se como água livre), a água na fase líquida faz ligação entre as partículas sólidas (produto), formando as pontes líquidas, onde o escoamento é predominantemente capilar. A água existente nos gargalos dos poros pode migrar, lentamente através das paredes capilares ou evaporando e condensando, sucessivamente, entre as pontes líquidas. A pressão parcial de vapor do produto decresce, e a contração de volume do produto continua, porém em menor intensidade, até atingir a umidade de equilíbrio.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, a cultivar analisadas neste estudo, verifica-se que as condições de secagem solar foram favoráveis e as variações no formato e tamanho de grãos estão de acordo com observado para a maioria dos produtos agrícolas em função do decréscimo do teor de água.

3.5 REFERÊNCIAS

AGRICULTURA familiar: **portfólio de tecnologias**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 26, 2003.

ALBERNAZ, W. M., CRUZ, J. C., PEREIRA FILHO, I. A., MATRANGOLO, W. J. R., NOCE, M. A., CHAVES, F. F., & GUIMARÃES SOBRINHO, J. B. Concurso de produtividade de grãos na cultura do milho na região Central de Minas Gerais - Safra 2009/2010. In: **congresso nacional de milho e sorgo**, 28, Simpósio Brasileiro sobre a lagarta do cartucho, 4, 2010, Goiânia. Potencialidades, desafios e sustentabilidade: resumos expandidos... Goiânia: ABMS, 1 CD-ROM, 2010.

ARAÚJO, C. V. M.; VARELLA, F. K. D. O. M.; VALE, M. R. B. G. Construção de secador solar no semiárido nordestino utilizando materiais recicláveis. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 12, n. 1, p. 21-30, 2021.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; MACHADO, J. A. D.; DE OLIVEIRA, L.; DE SOUZA, Â. R. L. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 515-540, 2019.

BARBOSA, José Rui Peres. **Estudo da viabilidade de uso de secadores solares fabricados com sucatas de luminárias**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

BAILEY, J. E. **Whole grain storage**. In: Christensen, C. M. (ed.) Storage of cereal grains and their products. St. Paul: AACC. p.333-360, 1974.

BARBOSA DE LIMA, A. G.; SILVA, J. V. DA; PEREIRA, E. M. A.; SANTOS, I. B. DOS; BARBOSA DE LIMA, W. M. P. de. Intermittent drying: Fundamentals, modeling and applications. In: Delgado, J. M. P. Q.; Barbosa de Lima, A. G. **Drying and energy technologies**. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, 2016.

BOARETTO, A. E. A evolução da população mundial, da oferta de alimentos e das ciências agrárias. **Revista Ceres**, v. 56, n. 4, p. 513-526, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, 399p, 2009.

BRITO, M. K. T. de. **Estudo teórico da transferência de calor e massa na secagem de tijolos cerâmicos com forma paralelepípedica**. 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2017.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, p. 588, 2000.

CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M., DUARTE, M. E. M., ALMEIDA, F. A. C. **Secagem de sementes**. In: Francisco de Assis Cardoso Almeida; Maria Elita Martins DUARTE; M. E. R. M. C. M. (Org.). **Tecnologia de armazenagem em sementes**. 1ª ed. Campina Grande – PB, Editado pela Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, APPA, v.1, p. 271-370, 2006.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar**. 1996. 85f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Esalq-USP, 1996.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Levantamento da safra brasileira de grãos 2022/2023**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/infoagro/safra/gaos>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CRUZ, J. C.; ISRAEL FILHO, A. P.; PIMENTEL, M. A. G.; COELHO, A. M. KARAM, D.; CRUZ, I.; MATRANGOLO, W. J. R. **Produção de milho na agricultura familiar**. Embrapa: Sete Lagoas, MG. Setembro, 2011.

DALBELLO, O.; **Eficiência do processo de secagem do amendoim**; UNICAMP; 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, 1995.

DALPASQUALE, V. A. Post-harvesting corn losses indexes in a storage unit: A case study. In: **International Working Conference On Stored-Product Protection**, 9. Campinas. Proceedings... Campinas: ABRAPOS, 64-70, 2006.

DUARTE, J. DE O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J. Economia da produção. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

FEIDEN, A.; GALVANI, F.; CAMPOLIN, A. **Desidratação de Frutas Utilizando Secador Solar**. Embrapa, Corumbá, MS, ISSN 1981-7231, 2015.

FERREIRA, A. G.; MAIA, C. B.; CORTEZ, M. F.; VALLE, R. M.. Technical feasibility assessment of a solar chimney for food drying. **Solar Energy**, v. 82, n. 3, p. 198-205, 2008.

FERREIRA, C.M.; PINHEIRO, B. da S.; SOUSA, I.S.F. de; MORAIS, O.P. de. **Qualidade do arroz no Brasil: evolução e padronização**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: Editora Universitária, UFPB, 229p, 2004.

FONTES, L. S.; ALMEIDA FILHO, A. J.; ARTHUR, V. Danos causados por *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) e *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) em Cultivares de Arroz (*Oryza sativa* L.). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, 70(3), 303-307, 2003.

GONELI, A.L.D.; CÔRREA, P.C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S.A. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP, v.27, n.1, p.135-140, 2007.

GUISCHEM, J. M.; SANS, L. M. A.; NAKAGAWA, J.; ZANOTTO, M. D. MATEUS, G. P. Fatores ambientais que afetam a taxa de secagem no grão de milho (*Zea mays* L.) após a maturidade fisiológica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 83-89, 2001.

LIMA, A. C. C. **Análise experimental da secagem de feijão em leito fixo, leito de jorro e leito de jorro fluidizado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 1995.

MARIUZZO, P. Por uma cultura brasileira do milho. **Ciência e Cultura**, v. 71, n. 1, p. 50-52, 2019.

MARTINAZZO, A.P.; MELO, E.C.; CORRÊA, P.C.; SANTOS, R.H.S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf]. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.12. n.4, p.488-498, 2010.

MEDINA, C. C. **A importância do armazenamento a nível de propriedade rural**. São Paulo: Semina, 1989.

MOHANRAJ, M.; CHANDRASEKAR, P. Performance of a forced convection solar drier integrated with gravel as heat storage material for chili drying. **Journal of Engineering Science and Technology**, v. 4, n. 3, p. 305-314, 2009.

NETO, P. H. W.; BERGAMINI, Y. A. L.; EURICH, J.; DE SOUZA, N. M.; ROCHA, C. H. Desidratador de frutas com uso de energia solar direta. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 1, 2016.

OLIVEIRA, M. M.; DOMINGUES, L. A. F.; CHARBEL, A. T. ESTUDO DA SECAGEM SOLAR DE BIOMASSA DE LARANJA COM CONVECÇÃO NATURAL E FORÇADA. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2020.

OVANDO, M. A. M.; ELEAZAR, M DE LOS S.; ESCOBAR, Á. S. Á. ESPINOSA, M. E. D. ROBLERO, J. L. Cálculo y diseño de dos secadores solares con sistema fotovoltaico para deshidratación de alimentos. **LACANDONIA**, año 10, vol. 10, núm. 1: 87-90, junio de 2016.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos**. Campinas. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 666, 2000.

RANUM, P.; PEÑA-ROSAS, J. P.; GARCIA-CASAL, M. N. Global maize production, utilization, and consumption. **Annals of the new York academy of sciences**, v. 1312, n. 1, p. 105-112, 2014.

- REBONATTO, B.; CITTADIM, P. **Processo de armazenamento do milho em silo a granel em uma cooperativa no Município de Francisco Beltrão-PR**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.
- SANTOS, J. P. **Controle de pragas durante o armazenamento de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 20, 2006.
- SANTOS, J. P. **Paiol balaio de milho: prevenção contra caruncho e roedores**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.
- SANTOS, J. P.; MANTOVANI, E. C. **Perdas de grãos na cultura do milho: pré-colheita, colheita, transporte e armazenamento**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 40, 1997.
- SILVA, I. G. **Desidratação de banana em secador solar: Viabilidade técnica e econômica**: 2010. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - UFAC, Rio Branco, 2010.
- SILVA, J. S. **Secagem e Armazenamento de Produtos Agrícolas. Secagem e secadores**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, p.109-146, 2008.
- SILVA, J. S., BERBERT, P. A., RUFATO, S., AFONSO, A. D. L. Indicadores da qualidade dos grãos. In: SILVA, J. S. (Ed.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, p.63-107, 2008.
- SILVA, J. de S.; CORRÊA, C. **Secagem de café com energia solar**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 9p. (Informe técnico, 14), 1981.
- SILVA, J. de S., DONZELLES, S. M. L., CORREIA, P. C. Secagem de grãos com energia solar. In: SILVA, J. de S. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa, MG: 1ª ed. Aprenda fácil, 2000.
- SILVA, J. S.; NOGUEIRA, R. M.; ROBERTO, C. D. **Tecnologias de secagem e armazenagem para a agricultura familiar**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Gráfica e Editora, 2005.
- SOUZA, C. M. A. de; QUEIROZ, D. M. de; LACERDA FILHO, A. F. de. Simulação do processo de secagem de sementes de milho em camada fixa. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 653-660, 2002.
- SOUZA, L. G. M. D.; MENDES, J.; NETO, H.; SANTOS, R.; MELO, A. Obtenção de tomate seco utilizando um sistema de secagem solar construído com materiais alternativos. In: **8º Congresso Iberoamericano de engenharia mecânica**. 2007.
- SOUZA, L. G. M., SILVA, T. S., VIEIRA, A. P. N. B., BRITO, A. M. L., MARQUES, M. S., BATISTA, S. S. Construção de um secador solar a partir de sucatas de tambor de lixo. **VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**. São Luís, MA, 2012.
- VILLELA, F. A., PERES, W. B. Coleta e beneficiamento e armazenamento. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (ed). **Germinação do básico ao aplicado**. São Paulo: ed. Artmed, 17, 265-271, 2004.

4. CAPÍTULO 2 – CONSTRUÇÃO E TESTE DE PICNÔMETRO A AR UTILIZANDO-SE MATERIAL REAPROVEITADO

4.1 INTRODUÇÃO

A porosidade intergranular influencia na secagem e na aeração dos grãos. Os grãos com menor porosidade exercem maior resistência a passagem do ar, que dificulta essas operações. Essa propriedade auxilia a definir capacidade estática de silos, armazéns e transportadores de grãos, além de ser parâmetro para o dimensionamento de moegas e transportadores de grãos (GUIMARÃES et al., 2015).

Mohsenin (1978) cita que a porosidade de uma massa granular pode variar de 30 a 50%, todavia, apesar de toda a evolução nos processos de colheita e pós-colheita, todos os sistemas conhecidos atualmente tiveram suas bases nos mesmos princípios de funcionamento, hoje reflexos dos métodos convencionais que foram aperfeiçoados ganhando uma nova tecnologia.

A massa porosa é composta por grãos e espaços intergranulares. Em trigo, soja e milho, o volume ocupado pelos grãos varia entre 55 e 60%. Já, em arroz com casca e aveia, menos da metade do espaço construído é ocupado pelos grãos. De um modo geral, a porosidade da massa, constituída pela soma dos espaços intergranulares e intragranulares se situa entre 45 e 50% em média (RUFFATO et al., 1999).

Segundo Elias (2008), a massa específica granular conhecida como peso do hectolitro (PH) é essencial para comercialização, dimensionamentos de silos, secadores, depósitos e sistemas de transportes, podendo também ser utilizado para determinar teores de umidade e danos causados por insetos e pragas nos grãos armazenados.

O tamanho e a forma dos grãos são características específicas de cada produto, que podem ser influenciadas pelo ambiente durante e após o período de sua formação e que influenciam as demais propriedades físicas do produto. Esses dados são utilizados para o dimensionamento do tamanho e da forma dos furos das peneiras em equipamentos destinados à separação e classificação. A massa específica granular e o tamanho e a forma dos grãos influenciam diretamente na determinação da porosidade e são informações de relevada importância para construção de equipamentos como o picnômetro (SILVA, 2000).

Ainda de acordo com Elias et al. (2007), a porosidade é determinada pela relação entre o volume ocupado pelo ar existente na massa granular e o volume total ocupado pelos grãos, pode ser determinada através de diferentes métodos, o método empírico utiliza uma proveta para determinar a porosidade intergranular do leito de grãos

determinando a quantidade de um líquido imiscível que preenche os espaços deixados pelos grãos na proveta.

Já o método de determinação por meio do protótipo de picnômetro utiliza apenas ar comprimido como fonte de variação para encontrar a porosidade sendo um método mais barato e eficiente. A determinação de características físicas dos produtos agrícolas tem grande importância para a construção e operação de equipamentos de secagem e armazenamento, bem como para adaptação de equipamentos já existentes, visando obter maior rendimento nas operações de processamento dos grãos (ELIAS et al., 2007).

Mohsenin (1970), propôs um método simples de determinação da porosidade, baseado na equação do gases perfeitos, onde são empregados dois tanques interligados e três válvulas, havendo ainda um manômetro para a leitura de pressões. A fração de espaços vazios de uma massa de grãos, ou porosidade, pode ser determinada pelos métodos direto e indireto. Pelo método direto a porosidade é obtida acrescentando-se um volume de líquido conhecido e necessário para complementação dos espaços vazios da massa granular. No método indireto, a porosidade pode ser determinada pelo uso de picnômetros, ou então, baseado em relações matemáticas que envolvem as massas específicas real ou aparente (RUFFATO et al., 1999; COUTO et al., 1999).

Com base em dados da porosidade do milho observou-se que as testagens com óleo vegetal estão de acordo com outras análises técnicas. Testes feitos por (PUZZI,1986) na porosidade chegou a 47% e seu teor de água a 14%. Enquanto Brooker et al. (1992), constatarão em estudos que a porosidade testada chegou a 40% e seu teor de água ficou entre 12 – 16%. Em ambos os casos estão dentro da normalidade em estudo.

Conforme o exposto, objetivou-se com esse trabalho, a construção e teste de um picnômetro de comparação a ar para a determinação da porosidade intergranular de produtos agrícolas.

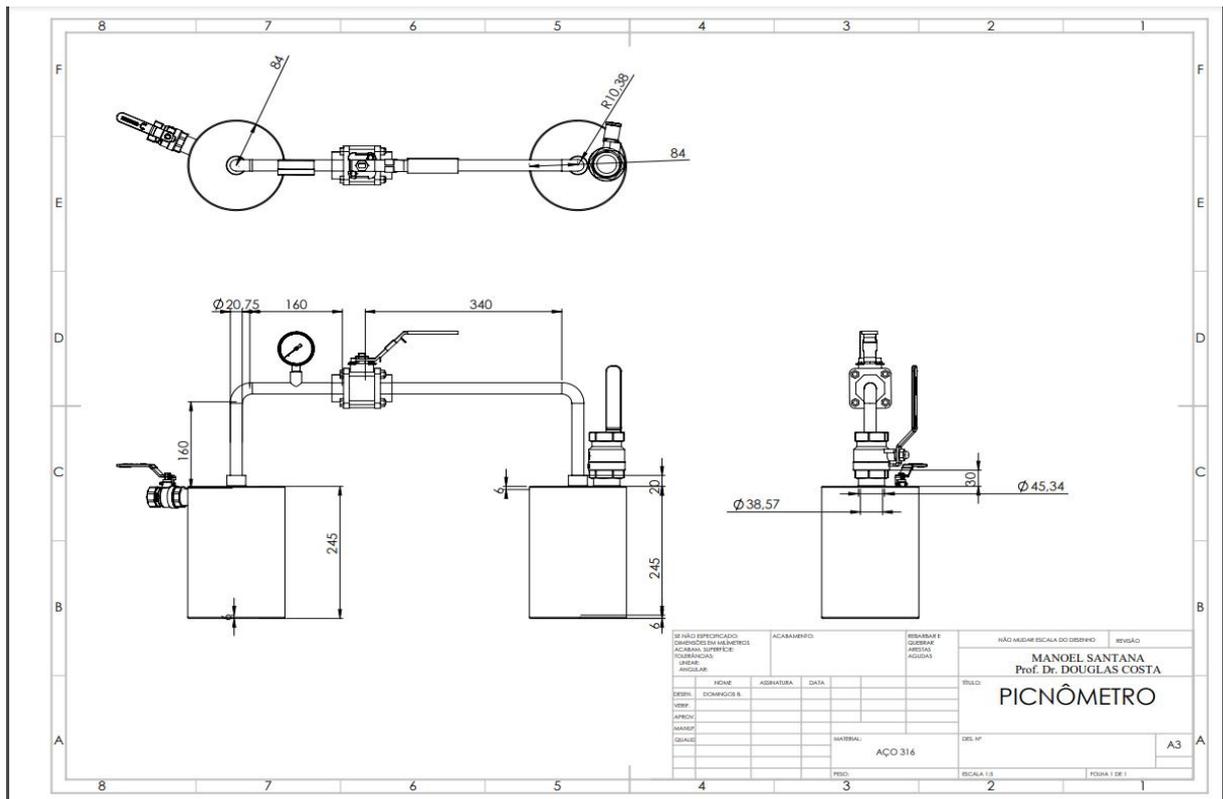
4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Picnômetro de comparação a ar

O Picnômetro foi desenvolvido no Laboratório de Construções Rurais, Energia e Armazenamento de Grãos - CREAG do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe. A construção do equipamento foi realizada em uma oficina de Aracaju-SE.

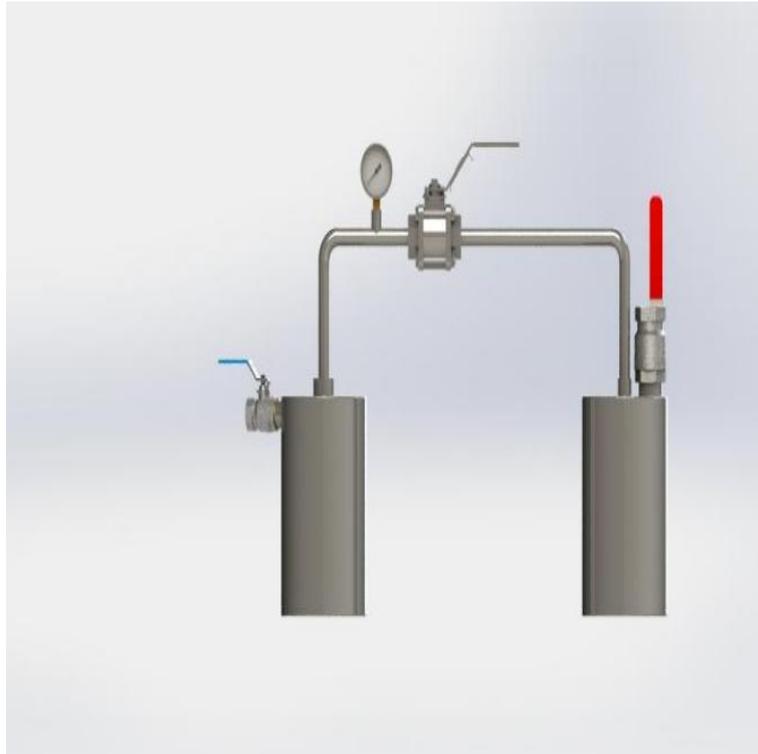
Parte do material utilizado foi em aço inox ref. 316 adquirido em comercio de ferro velho em Aracaju SE, sendo dois cilindros com diâmetro 25mm, exatamente iguais, medindo 245mm de altura por 116mm de diâmetro interno e 117mm externo, três válvulas de vedação (sendo uma de inox) e um manômetro de precisão ar analógico de 21kg/cm², dois adaptadores com flanges. Entre os cilindros 1 e o cilindro 2 de ar existe foi utilizado um duto de ½” de inox que leva o ar que pode ser feito através da abertura da válvula de interligação onde esta colocada no duto que interliga os cilindros (aço inox) de ½” de diâmetro fixado em um nipe de 1/2” na parte superior. Nos cilindros foram feitos rosca na parte superior interna e colocado a parte do fundo que fixa e em seguida executada a solda em inox. Em seguida foi utilizado um compressor ar de capacidade de pressão máx. De 120 lbf/pol.² corresponde a (8,31kgf/cm²). As figuras 1, 2, 3, 4 e 5 ilustram a representação do picnômetro em diferentes áreas.

Figura 1 - Projeto picnômetro em 2D.



Fonte: O autor, 2021.

Figura 2 -Vista frontal dos cilindros de compressão do protótipo picnômetro a ar em 3D.



Fonte: O autor, 2021.

Figura 3 - Vista superior dos cilindros de compressão do protótipo picnômetro a ar em 3D.



Fonte: O autor, 2021.

Figura 4 - Vista lateral dos cilindros de compressão do protótipo picnômetro a ar em 3D.



Fonte: O autor, 2021.

Figura 5 – Picnômetro instalado no compressor.



Fonte: O autor, 2021.

4.2.2 Determinação da porosidade com o picnômetro

Segundo Moshenin (1986), a porosidade, expressa em porcentagem, determinada por meio do método indireto usando o picnômetro, onde pode ser calculada a partir da

equação, portanto não havendo um excesso de pressão, podemos considerar a mesma após abertura liberada no segundo cilindro.

A porosidade da massa do milho foi determinada utilizando um picnômetro de comparação a ar, em três repetições para cada nível de umidade da variedade estudada.

Assim, a porosidade intergranular foi calculada a partir da Equação 1, abaixo:

$$P_1V_1 = M_1RT \rightarrow M_1 = \frac{P_1V_1}{RT}$$

$$(Tq. 1) \quad P_2V_1 = M_2RT \rightarrow M_2 = \frac{P_2V_1}{RT}$$

$$(Tq. 2) \quad P_2V_2 = M_2RT \rightarrow M_2 = \frac{P_2V_2}{RT}$$

$$M = M_1 + M_2$$

$$\frac{P_1V_1}{RT} = \frac{P_2V_1}{RT} + \frac{P_2V_2}{RT}$$

$$RT \cong$$

$$P_1V_1 = P_2V_1 + P_2V_2$$

$$P_2V_2 = V_1 * (P_1 - P_2)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1 - P_2}{P_2}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{P_1 - P_2}{P_2} * 100$$

Onde:

ε = Porosidade intergranular. (Decimal)

P_1 = Pressão do Cilindro 1. (Mpa)

P_2 = Pressão no Cilindro 2. (Mpa)

4.2.3 Determinação da porosidade pelo método direto

Para determinar o espaço poroso intersticial, encheu-se, com grãos de milho, uma proveta graduada de 250 ml (Figura 6), e em outra proveta de 100 ml foi adicionado o fluido (óleo vegetal), não absorvível pelos grãos, e medindo-se o volume de óleo gasto, que corresponde aos espaços que o líquido preencheu, determinou-se a porosidade.

Durante o dia, eram coletados da testemunha 540 gramas de milhos e separados em três partes de 180 gramas para serem feitos os testes de porosidade com o óleo. Em seguida foi aplicada a Equação 1 para obter o resultado.

Figura 6 – Materiais utilizados no experimento de porosidade

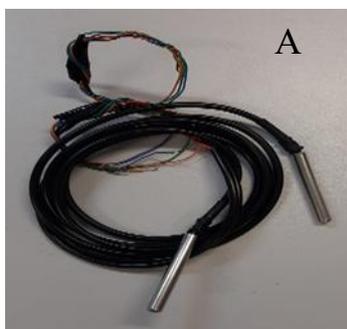


Fonte: O autor, 2021.

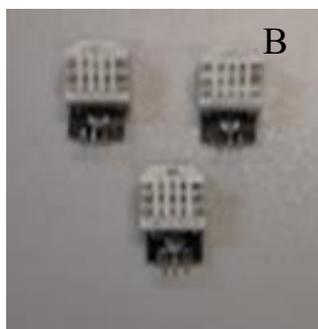
4.2.4 Tecnologia de sensores

Para coleta de dados foi desenvolvido no Laboratório CREAG um sistema para coleta de dados onde constou de um kit de Arduino UNO para avaliação de dados de temperatura e umidade conforme figuras 7A, 7B, 7C e 8. Dois sensores DSB18b20 e dois sensores DHT 22.

Figura 7 - kit de Arduino UNO



A - Cabo sensor DSB18;



B - Sensor DHT 22;



C – Placa de Arduino

Fonte: O autor, 2021.

Figura 8 - Coleta de dados em PC do Arduíno



Fonte: O autor, 2021.

Sensor dsb18b20

O sensor DSB 18B20, possui um barramento que pode ser colocado utilizando uma única porta do micro controlador e efetua leitura individual. Capaz de ler a temperatura e interpretar e enviar a informação dos valores de temperatura em graus Celsius ao micro controlador usando barramento apenas de um fio. Efetua leituras com precisão de até $\pm 0,5$ °C, e enviar as informações para o micro controlador utilizando apenas 1 fio. Suporta tensão de operação entre: 3 a 5,5V, possuem faixa média de temperatura: 55°C entre - 10°C e + 85°C, sua extremidade possuem uma ponta de ação inoxidável (6 x 50mm) e cabo de 108c.

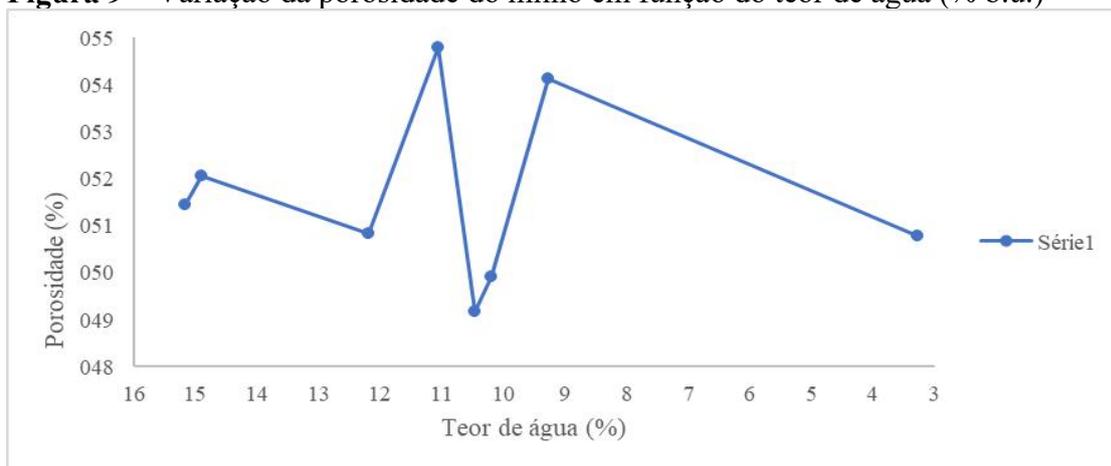
Sensor dht22

O sensor DHT22, é um sensor de temperatura e umidade, capaz de fazer leituras entre -40 a + 80 graus Celsius e a umidade digital entre 0 a 100%UR, operar entre 3-5 VDC. Sensor de alta precisão pode trabalhar entre a faixa de temperatura e a umidade maior. Esse sensor permite leitura a cada 2 segundos para análise de dados.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguem abaixo, os resultados da porosidade do milho no secador solar. O quadro 2 e figura 9 pode se verificar os dados da média diária encontrada nos resultados obtidos da umidade e a porosidade do secador solar diariamente em período matutino.

Figura 9 – Variação da porosidade do milho em função do teor de água (% b.u.)

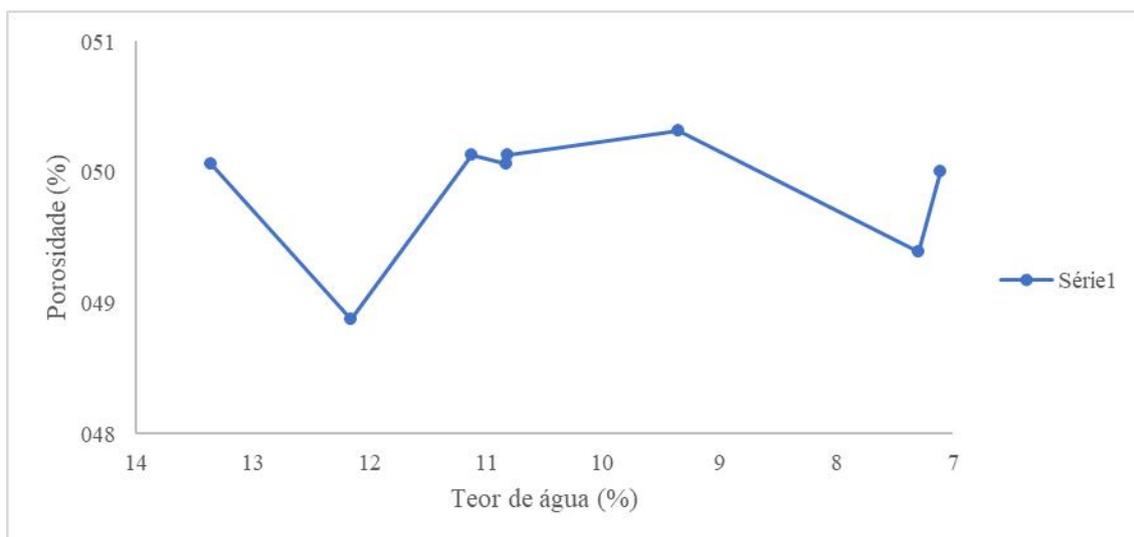


Fonte: O autor, 2021.

A umidade média diária de testes monitorado entre 3 a 9, 10 a 15 dias na secagem de grãos a porosidade média atingiu a porcentagem de 54,78%, dessa forma umidade relativa deve ser monitorada de forma a saber a umidade apropriada dos grãos para armazenagem, devido ao equilíbrio que a umidade relativa e a umidade do produto tendem a alcançar.

O quadro 3 e figura 10, em sequência dos testes pode se verifica a continuação de média diária encontrada nos resultados obtidos em período matutino da umidade e a porosidade do secador solar.

Figura 10 – Gráfico porosidade X teor de água (secador solar), teste 2.



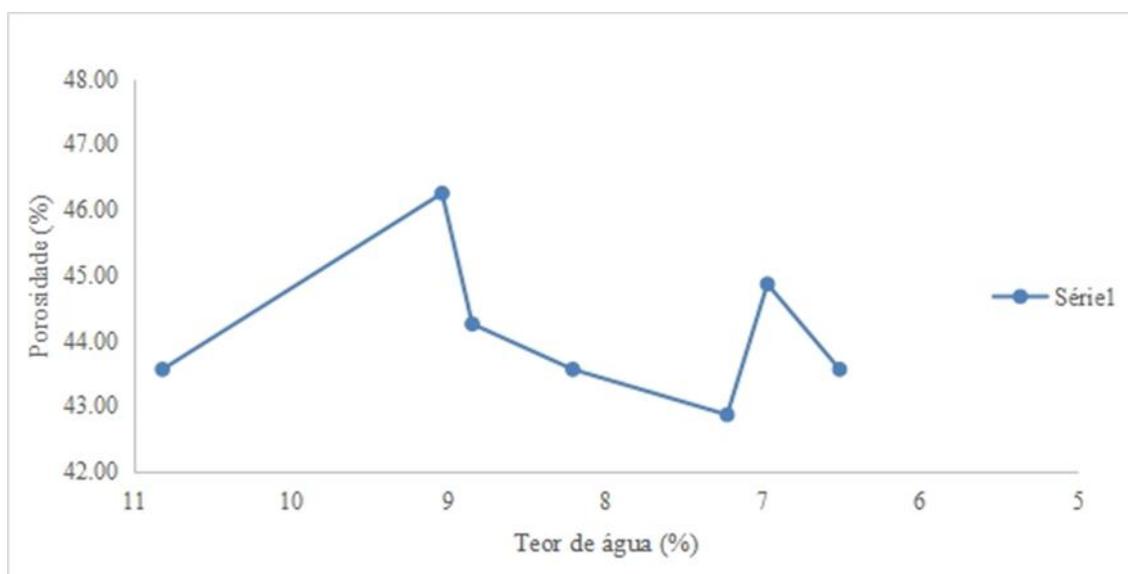
Fonte: O autor, 2021.

Foi observado que a umidade média diária de testes monitorado entre 7 a 13 dias na secagem de grãos a porosidade média atingiu a porcentagem de 50,31% de

secagem de grãos. A porosidade determina as condições de processamento, secagem, armazenamento dos produtos agrícolas (MILMAN, 2002). Outra característica fundamental que a umidade inicial influencia é a taxa de secagem, sendo que quanto maior for a umidade de um produto, maior será a quantidade de água evaporada por unidade de energia.

O quadro 4 e figura 11, onde fecha-se o ciclo de testagem, pode-se encontrar a média diária no resultado e ao resultado da umidade e a porosidade do secador solar.

Figura 11 – Gráfico porosidade x teor de água (secador solar), teste 3.



Fonte: O autor, 2021.

Constatou que o teor de água média diária nos testes monitorado entre 6 a 7, 8 a 11 mostrou que a porosidade média e sua porcentagem no teor de água iniciou com 43,57% na b.u. E, no final a porosidade no ponto 11 permaneceu com 43,57%. Dessa forma a umidade relativa continuará a ser monitorada de forma a saber a umidade apropriada dos grãos para sua armazenagem e consequentemente obter o máximo de equilíbrio que a umidade relativa e a umidade do produto tendem a alcançar.

4.3.1 Testemunhas

Porosidade x teor de água

A secagem das testemunhas era feita a ar ambiente diariamente sendo espalhado em uma lona plástica com dimensões de 1,20 m por 3,00 m em camadas de dois a três

centímetros e no final do dia eram feitos os testes com o uso de um picnômetro para encontrar a porosidades dos grãos de milho e a porcentagem do teor de águas.

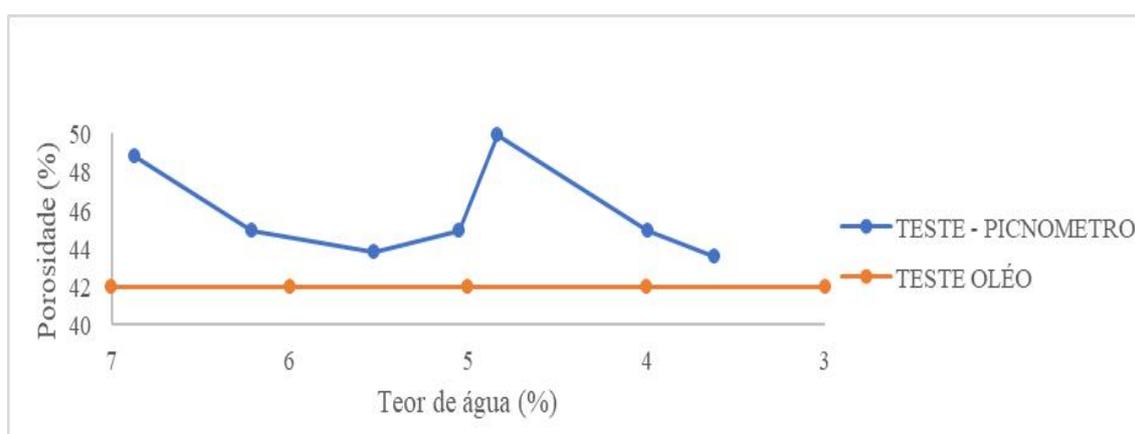
O quadro 5 (T1) apresentam dados da porosidade e teor de água da testemunha em período vespertino. Constatou-se, que houve variação de temperaturas de ar ocasionando oscilação onde os pontos 5 a 6 atingiu 50,25% e houve breve redução e em seguida os pontos de 7 a 13 aumentou atingindo 49,25 % da porosidade.

O quadro 6 (T2) apresentam dados da porosidade e teor de água da testemunha em período vespertino. Constatou-se, que houve variação de temperaturas de ar ocasionando oscilação onde os pontos 5 a 6 atingiu 50,25% e houve breve redução e em seguida os pontos de 7 a 13 aumentou atingindo 49,25 % da porosidade.

Os dados da porosidade e teor de água da testemunha em período vespertino e constatou que houve variação ocasionando oscilação entre os pontos 4 a 7, mas permanecendo em 50,00%. E entre os pontos 7 a 13 final continuou em 50,0%. Os dados demonstrou que houve oscilação entre os pontos inicial 4 e ponto final 13 finalizando com o mesmo teor de água na porosidade. Teve entre esses pontos um pequeno aumento intermediário, mas permanecendo estável no final.

Segundo o quadro 7 e figura 12 (T3), concluímos que o teor de água média diária no teste monitorado entre os pontos 3,62 a 5,05 houve aumento da porosidade chegando a 49,95% e entre os pontos 5,53 a 7 atingiu 48,78% conforme testes executados no picnômetro.

Figura 12– Gráfico porosidade x teor de água secador solar.



Fonte: O autor, 2021.

Os testes com óleo vegetal foram feitos sete repetições e constatou que não houve variação na porosidade entre os pontos no gráfico 3 e 7 permanecendo em 42%

sua porosidade sem oscilação. Esse percentual está dentro do indicado nas normas técnicas da literatura.

A porosidade é definida como a fração de vazios na amostra, estando relacionada à densidade aparente (LEE; YOO, 2020). Corresponde a propriedade que sofre influência de vários fatores como forma e tamanho do produto, desuniformidade do produto, percentual de grãos danificados, teor de água, teor de impurezas (MATA; DUARTE, 2002) e o tamanho da impureza (CORRÊA et al., 2001).

De acordo com PUZZI (2010), tanto sementes como grãos armazenados em silos ou acondicionados em sacos nas pilhas, tem comportamento de uma massa porosa, formada por grãos e do espaço intersticial, chamado também de intergranular. Segundo o autor uma massa de grãos de trigo, arroz ou milho apresenta de 40 a 45% de espaço intergranular.

Reduções no volume do grão devido à secagem foram citadas por Guedes et al. (2011) e Siqueira et al. (2012), que constataram que a contração volumétrica causou mudanças físicas na estrutura celular dos produtos por eles estudados, provocando com isso alterações nas dimensões características. A contração volumétrica associada à redução do teor de água são as principais causas de alteração nas propriedades físicas dos produtos agrícolas.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se as condições em que foi realizado o experimento, pode-se concluir que o picnômetro apresentou valores de porosidade acima do valor medido pelo método da adição de fluido e necessita de ajuste no sistema de carga de produto no cilindro 2 devido ao não preenchimento total do mesmo.

4.5 REFERENCIAS

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.M. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold. p. 450, 1992.

CORRÊA, P. C.; GUIMARÃES, W. T.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Efeito do nível e do tamanho de impurezas nas propriedades físicas da massa granular de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n. 1, p 97-100, 2001.

COUTO, S. M.; MAGALHÃES, A. C.; QUEIROZ, D. M.; BASTOS, I. T. Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 61-68, 1999.

ELIAS, M.C. **Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos**. Pelotas: Santa Cruz, p. 362, 2008.

ELIAS, M.C., GUERRA, R.A., ELIAS, S.A.A., ANTUNES, P.L. Operações de préarmazenamento, armazenamento e conservação de grãos. In: M.C. Elias. **Pós colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade**. Pelotas: Edgraf UFPel, . p. 342, 2007.

GUEDES, M. A.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; FARIAS, P. D. A. Caracterização física de grãos de soja utilizando-se processamento digital de imagens. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 3, p. 279-294, 2011.

GUIMARÃES, D. S.; LUZ, C. A. S.; PERES, W. B.; LUZ, M. L. G. S.; GADOTTI, G. I. **Secagem de Grãos e Sementes**. Pelotas: Gráfica Santa Cruz, 2015.

LEE, H.; YOO, B. Agglomerated xanthan gum powder used as a food thickener: Effect of sugar binders on physical, microstructural, and rheological properties. **Powder Technology**, v. 362, p. 301–306, 2020.

MATA, M.; DUARTE, M. E. M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 79-93, 2002.

MILMAN, M. J. **Equipamentos para Pré-Processamento de Grãos**. Pelotas: Editora Gráfica Universitária da Universidade Federal de Pelotas, v. 200, p. 206, 2002.

MOHSENIN, N.N., **Physical proprieties of plant and animal materials**. New York, Gordon and Breach Science Publishers, 1978.

PUZZI, D.; **Armazenagem e abastecimento de grãos**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas, SP, 1986.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos**. Campinas. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 666, 2010.

RUFFATO, S.; CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H.; MANTOVANI, B. H. M.; SILVA, J. N. D. Influência do processo de secagem sobre a massa específica aparente, massa específica unitária e porosidade de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 45-48, 1999.

SILVA, J. S. **Secagem e Armazenamento de Produtos Agrícolas. Secagem e secadores**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, p.109-146, 2008.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, p. 231-238, 2012.

5. APÊNDICES

5.1 APÊNDICE 1 - INFORMAÇÕES SOBRE O SECADOR SOLAR

Quadro 1 - ORÇAMENTO PARA CONSTRUÇÃO DE UM SECADOR SOLAR

ITEM	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	UND.	QUANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1.0	ESQUADRIA ACO				
1.1	Metalon galvanizado 50 x 30 – CH18	MI	7,52	25,84	155,63
1.2	Cantoneira tipo “L” 3 x 4 por 2.50mm	ML.	5,22	10,29	53,71
1.3	Barra chata 7/8 por 3/16 Arcelor Mitral	ml	8,33	10,66	88,80
1.4	Vergalhão de ½ quadrado	MI	5,00		
1.5	Tubo galvanizado de 1.1/4 por 3/16 – CH 16 (42.20)	MI	1.50	28,77	43,16
1.6	Chapa perfurada res. F3/16 E.C 7.0 CH 20 200	m ²	3,00	161,11	198,84
1.7	Barra quadrada ½ “	ml	0,22		5,53
2.0	ESQUADRIA DE MADEIRA				
2.1	Tabua em PINUS 0,13 x 1,00 parafusada	MI	5,00	12,00	60,00
3.0	PINTURA				
3.1	Pintura em esquadria de madeira PINOS com tinta preto fosco automotiva, duas demãos	m ²	5,00	3,25	16,25
3.2	Pintura em esquadria de aço com tinta preto fosco automotiva	m ²	7,72	3,25	25,09
4.0	Aplicação de silicone em todo perímetro esquadria para vedação	Un.	01	15,00	15,00
5.0	Rodízio GLE 412 BP	Un	04	35,00	140,00
6.0	Serviços mão- de-obra de oficina de esquadria – solda.	vb	-	-	400,00
				TOTAL GERAL RS	1.202,01

Quadro 2 - Dimensões da caixa do secador solar de exposição direta.

DIMENSÕES	INTERNO	EXTERNO
Comprimento (cm)	1,22	1,27
Largura (cm)	1,02	1,22
Altura (cm)	14,10	15,00

Fonte: O autor, (2021).

Quadro 3 - Informações sobre os tratamentos culturais do milho.

MILHO – SEMEADURA EM 2021		
	DATA DE PLANTIO	28/04/2021
SEMEADURA	MANEJO	PLANTIO DIRETO
	SEMEADURA	BALDAN SPE TOP LINE, MODELO 4500 DE 6 LINHAS
	ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS	70 cm
SEMENTES	MILHO	LG 6036 VT PRO 3' (Lima Grain)
	ADUBO (NPK)	10-30-30
	SULFATO DE AMONIO (NPK)	21-00-00
FERTILIZANTE S	NITRATO DE AMONIA E CALCIO (NPK)	27-00-00
	ADUBO FOLIAR	SYMBO GENISIS
	DEFENSIVOS AGRICOLAS	HERBICIDA GLIFOSATO (XEQUE MATE) HERBICIDA (FACERO)

Fonte: O autor, (2021).

5.2 APÊNDICE 2 - INFORMAÇÕES SOBRE O PICNÔMETRO

Quadro 4 - ORÇAMENTO PARA CONSTRUÇÃO DO PICNÔMETRO EM INOX 316

TEM	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	UND	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1.0	Válvula esfera MB latão DN ½ passagem plena	Un.	42,90	42,90
2.0	Válvula de esfera MB latão DN 1.1/2 passagem reduzida vedação TEFLON	Un.	174,25	174,25
3.0	Válvula esfera inox CF8 ½ TP 07	Un.	132,00	132,00
4.0	União em Aço inox 304 c/rosca BSP DN			
5.0	União inox com rosca REF 304 BSP	Un.	60,65	60,65
6.0	Luva Inox com rosca Ref. 304 de ½ x ½	Un.	20,32	60,96
7.0	Cotovelo rosca FEMEA a/1 REF 304 ½ BSP	Un.	24,40	48,80
8.0	NIPLÉ galvanizado 1/BSP	Un.	7,30	7,30
9.0	Cilindro de Inox	Un.	190,00	380,00
10.0	Tubo de aço inox de ½ Ref. 304 med. 0,75 ml	Met.	66,66	50,00
11.0	Manômetro D-300 Rosca 14 para compr. Cód. M11-90-v4-300 PSI	Un.	49,00	49,00
12.0	Serviços de tornearia e solda	Vb.	300,00	300,00
			TOTAL GERAL RS	1.305,83

Quadro 5 - Determinação da porosidade intergranular como o método da mistura.

TESTES LONA			
t= 0s			
MÊS	P ₁ = %	P ₂ = %	P ₃ =%
20/10	40,0	40,0	40,0
21/10	40,0	40,0	40,0
22/10	40,0	40,0	40,0
23/10	40,0	40,0	40,0
24/10	40,0	40,0	40,0
25/10	40,0	40,0	40,0
26/10	40,0	40,0	40,0
27/10	40,0	40,0	40,0

Fonte: O autor, 2021.

Quadro 6 - Umidade média diária e porosidade média no secador solar.

TESTE 1	
TEOR ÁGUA (%)	POROSIDADE (%)
15,18	51,44
14,91	52,04
12,20	50,83
11,05	54,78
10,46	49,16
10,19	49,91
9,27	54,12
3,26	50,77

Fonte: O autor, 2021.

Quadro 7 - Umidade média diária e porosidade média no secador solar.

TESTE 2	
TEOR DE ÁGUA (%)	POROSIDADE (%)
13,37	50,06
12,16	48,87
11,13	50,13
10,82	50,06
10,82	50,13
9,36	50,31
7,30	49,39
7,11	50,00
7,11	50,00

Fonte: O autor, 2021.

Quadro 8 - Umidade média diária e porosidade média no secador solar

TESTE 3	
TEOR ÁGUA (%)	POROSIDADE (%)
10,82	43,57
9,04	46,26
8,85	44,26
8,21	43,57
7,23	42,87
6,97	44,87
6,51	43,57

Fonte: O autor, 2021.

Quadro 9 - Umidade média diária e porosidade média no secador solar

TESTE 1	
TEOR DE ÁGUA (%)	POROSIDADE (%)
49,25	12,67
54,04	12,28
52,39	10,12
51,70	7,19
49,88	7,23
50,25	6,05
50,43	5,78
51,79	5,09

Fonte: O autor, 2021.

Quadro 10 - Umidade média diária e porosidade média no secador solar

TESTE 2	
TEOR DE ÁGUA (%)	POROSIDADE (%)
13,37	50,06
12,16	48,87
11,13	50,13
10,82	50,06
10,82	50,13
9,36	50,31
7,30	49,39
7,11	50,00
7,11	50,00

Fonte: O autor, 2021.

Quadro 11 - Umidade média diária e porosidade média no secador solar

TESTE 3	
TEOR DE ÁGUA (%)	POROSIDADE (%)
13,37	50,06
12,16	48,87
11,13	50,13
10,82	50,06
10,82	50,13
9,36	50,31
7,30	49,39
7,11	50,00
7,11	50,00

Fonte: O autor, 2021.

Quadro 12 – Teor de água e porosidade média no secador solar

TESTE 3 (ÓLEO / POROSIDADE)		
POROSIDADE (%)	TEOR DE ÁGUA (%)	POROSIDADE MEDIA ÓLEO (%)
48,78	6,87	42
44,95	6,21	42
43,79	5,53	42
44,95	5,05	42
49,95	4,84	42
44,95	3,99	42
43,57	3,62	42

Fonte: O autor, 2021.