

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

GABRIEL RODRIGUES DE SOUZA

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLEMENTAÇÃO DE BOMBA DE
CALOR PARA SECAGEM DE CAFÉ EM UMA FAZENDA**

**CARATINGA
2018**

**GABRIEL RODRIGUES DE SOUZA
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLEMENTAÇÃO DE BOMBA DE
CALOR PARA SECAGEM DE CAFÉ EM UMA FAZENDA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica das Faculdades Doctum de
Caratinga, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.**

**Área de Concentração: Eficiência
Energética.
Orientador: Prof. MSc Ricardo Botelho
Campos.**

**CARATINGA
2018**

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLEMENTAÇÃO DE BOMBA DE CALOR PARA SECAGEM DE CAFÉ EM UMA FAZENDA, elaborado pelo(s) aluno(s) GABRIEL RODRIGUES DE SOUZA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

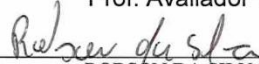
Caratinga 06/12/2018



RICARDO BOTELHO CAMPOS
Prof. Orientador



VINICIUS MURILLO LIMA RODRIGUES
Prof. Avaliador 1



ROBSON DA SILVA
Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tornar esse sonho possível, em todos os momentos de dificuldades ele estava lá. Agradeço aos meus pais Irlandia e Jose Paulino e o meu irmão Matheus por todo apoio e incentivo que contribuíram muito durante essa caminhada.

Sou grato a todos os professores que fizeram parte da minha trajetória acadêmica em especial ao professor Ricardo Botelho Campos que durante esses cinco anos de curso se tornou um amigo, responsável pela orientação que lhe coube foram de suma importância suas observações e incentivos. Aos colegas de turma, amigos e todos que direta e indiretamente participaram para a consolidação dessa conquista.

A todos o meu muito obrigado!

*“Disseram que jamais atravessaríamos a fronteira. E agora, aqui estamos nós”.
(Corey Taylor)*

ABREVIATURAS E SIGLAS

C.V - Cavalo Vapor

Sr. J P Souza - Jose Paulino de Souza

U - Umidade

b.s - Base Seca

b.u- Base Úmida

PCI - Poder Calorífico Inferior do Combustível

PCS - Poder Calorífico Superior do Combustível

UC - Teor de Umidade do Combustível

EPC - Energia Proveniente do Combustível

QC- Quantidade de Combustível

PCI - Poder Calorífico Inferior do Combustível

OIC - Organização Internacional do Café

°C - Grau Celsius

CO2 - Dióxido de Carbono

Kg - Quilograma

KJ - Quilo Joule

BTU - Unidade Térmica Britânica

kW - Quilowatt

h - Horas

m³ - Metro Cúbico

V- volt

ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

PASEP - Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Secador rotativo utilizado na propriedade em São Domingos das Dores .	22
Figura 2 - Turbina, responsável por enviar o calor gerado pela fornalha para dentro do secador acionada por um motor	23
Figura 3 - Fornalha utilizada no secador	24
Figura 4 - Medidor de umidade de grãos G610i.	26
Figura 5 - Medidor para parâmetro de temperatura que entra no secador possuindo uma funcionalidade de 0° a 150°C	27
Figura 6 - Medidor de temperatura visão parte interna.	28
Figura 7 - Medidor de temperatura acoplado ao secador.....	29
Figura 8 - Lenha utilizada para queima na fornalha	30
Figura 9 - Carrier modelo 3F 40KWQD48C5.....	38
Figura 10A - Conexões da bomba de calor	39
Figura 10B - Conexões da bomba de calor	39
Figura 11- Bomba de calor conectada ao split cassette.....	40
Figura 12 - Secador fechado.....	41
Figura 13 - Bomba de calor conectada ao secador.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de sacas beneficiadas e quantidade de horas trabalhadas durante a secagem	25
Tabela 2 - Umidade inicial e final e a quantidade de lenha consumida durante a seca de três amostras diferentes.....	27
Tabela 3 - Conversão de unidades: estéreo, metro cúbico e tonelada de madeira por espécie.....	32
Tabela 4 - Poder calorífico por amostra e energia total produzida por amostra através da quantidade de lenha consumida em quilogramas.	33
Tabela 5 - Energia utilizada pelo secador a cada hora trabalhada.....	33
Tabela 6 - Eficiência dos equipamentos.....	34
Tabela 7 - Relação kJ para BTU	35
Tabela 8 - Horas trabalhadas multiplicada pela tarifa cobrada pela concessionária de energia do estado de Minas Gerais.....	36
Tabela 9 - Investimentos para o beneficiamento do café produzido	37
Tabela 10 - Valor investido por saca	37
Tabela 11- Consumo da bomba de calor em relação às horas trabalhadas no modelo convencional	42
Tabela 12 - Equipamentos e instalação	43
Tabela 13 - Modelo convencional e modelo com a bomba de calor.....	44
Tabela 14 - Valores por unidade para a produção de 100 sacas beneficiadas.....	44

RESUMO

O presente trabalho tem como propósito realizar o comparativo de utilização e funcionamento de um projeto de substituição de uma fornalha de secador rotativo de café de combustão a lenha, por uma bomba de calor dimensionada para realizar o fornecimento de calor para a secagem de café durante a colheita nos meses de julho a agosto em uma fazenda na cidade de São Domingos das Dores, com o intuito de constatar se o equipamento é viável ou não para desempenhar a função proporcionando maior eficiência e visando uma melhor qualidade do produto final, atendendo as necessidades dos produtores que a cada ano preocupam-se em produzir cafés com altos níveis de excelência.

Palavra-chaves: Investimento. Eficiência. Produtores.

ABSTRACT

The present work has the purpose of comparing the use and operation of a replacement project of a rotary dryer furnace of wood combustion coffee, by a heat pump designed to carry out the heat supply for the drying of coffee during harvest from July to August on a farm in the city of São Domingos das Dores, with the purpose of verifying whether the equipment is feasible or not to perform the function, providing greater efficiency and aiming at a better quality of the final product, taking into account the needs of the producers who every year worry about producing high-quality coffees.

Keywords: Investment; Efficiency; Producers.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Produção brasileira de café	15
3.1.1 Tipos de secagem	15
3.1.2 Aplicações da bomba de calor	16
3.2 Componentes da bomba de calor	19
3.2.1 Compressor.....	19
3.2.2 Condensador.....	19
3.2.3 Válvula de expansão	20
3.2.4 Evaporador.....	20
4 DESENVOLVIMENTO	22
4.1 Secador utilizado para a secagem do café	22
4.1.1 Equipamento utilizado para aferir a umidade dos grãos.....	26
4.1.2 Acompanhamento da temperatura do secador	27
4.1.3 Combustível utilizado na fornalha	30
4.2 Investimentos para o beneficiamento do café	31
4.2.1 Cálculo da eficiência da lenha.....	31
4.2.2 Eficiência em BTUs	35
4.2.3 Investimento total para a produção no modelo convencional	36
4.3 Bomba de calor dimensionada	38
4.4 Comparativo entre os dois processos	44
5 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo os aspectos tecnológicos envolvidos para a secagem do café, terreiro e secadores mecânicos são os mais utilizados durante o processo de beneficiamento do produto.

O uso de secadores mecânicos para a secagem do café traz como vantagem a redução no tempo de secagem dos grãos, proporcionando uma maior viabilidade em regiões onde há clima úmido e/ou períodos chuvosos.

Este procedimento, quando mal conduzida pode interferir na qualidade dos grãos, impregnando odores provenientes das diversas formas de utilização de combustíveis no aquecimento das fornalhas que transmitem o calor até o interior do secador.

O aquecimento do ar nos secadores mecânicos acontece de diversas formas, a mais utilizada são as fornalhas com aquecimento a lenha, estas são construídas para assegurar a queima total e contínua do combustível, em situações que permitam a utilização da energia térmica liberada da combustão com o maior aproveitamento térmico possível.

Um dos problemas relacionados à fumaça gerada durante a queima da lenha nas fornalhas é o mascaramento dos aromas próprios dos cafés, impedindo a diferenciação desses tipos e classificações dos mesmos. Após determinado tempo de armazenamento, o cheiro da fumaça desaparece e o aroma específico do café volta a ser percebido.

Alguns compradores fazem uso do cheiro da fumaça para desqualificar o produto e assim pagar um valor abaixo do preço de mercado, repassando ao produtor que sua mercadoria realmente seja de qualidade inferior.

Durante o processo de secagem mecânica, o café recebe o calor direto da fornalha através de uma turbina com motor de indução tipo gaiola de 3.7 c.v, permanecendo em rotação durante toda a secagem. Há um medidor de temperatura externo e outro interno ao qual se encontra acoplado em contato com o café, para fins de comparação do calor que entra e sai do secador.

Com a crescente demanda de café no Brasil e mercado exterior a busca por qualidade no produto faz com que o mercado fique acirrado e a cada ano seja exigido dos produtores cafés em altos níveis de excelência.

Com isso a procura por novas tecnologias que proporcionam melhorias e auxiliam os produtores durante o processo de secagem e beneficiamento do café, se mostram de suma importância.

A dificuldade em manter um controle específico das chamas na fornalha gera uma oscilação na temperatura o que pode influenciar diretamente na qualidade do café e também no consumo energético do secador gerando gastos desnecessários ou até mesmo provocando um incêndio e a queima dos grãos trazendo prejuízos e colocando vidas em risco.

A utilização da bomba de calor em substituição a fornalha elimina essa oscilação, garantido ao usuário maior exatidão em relação ao ar aquecido que é enviado para dentro do secador.

A substituição do conjunto fornalha turbina por uma bomba de calor viabiliza uma melhoria na qualidade do café, devido a este não ser mais exposto à fumaça, além de minimizar o impacto negativo ecológico gerado no processo de secagem dos grãos.

A bomba de calor também pode vir a promover uma economia financeira relacionada à compra de lenha como combustível e o consumo elétrico do motor que movimentava a turbina responsável por levar o calor da fornalha ao secador, agregando mais um fator favorável à implementação desta substituição.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS

Através da coleta de dados foram produzidas tabelas com valores, a fim de realizar o dimensionamento de um equipamento elétrico capaz de fornecer a energia necessária para a secagem de café.

Foram estudadas técnicas de pesquisa e levantamentos de dados a fim de realizar o comparativo da eficiência dos dois modelos de utilização para a secagem do café, explanando o tema e propondo idéias para que produtores possam implementá-las em suas propriedades.

Durante a safra do café de montanha em Minas Gerais, na cidade de São Domingos das Dores, no período de julho a agosto, foram feitos levantamentos e monitoramento do consumo de lenha pela fornalha do secador utilizado na propriedade do Senhor J. P. Souza.

Foi também registrado todo o consumo do motor de 2.7 c.v que gira a turbina acoplada ao secador, fornecendo assim todo o gasto energético investido para a produção final do café.

Com o conhecimento necessário sobre a área de aplicação, foi dimensionado o melhor equipamento para desempenhar a função, garantindo a temperatura necessária para a secagem dos grãos sem influenciar na qualidade do produto tendo o maior nível de aproveitamento energético possível e eliminando as perdas, levando em consideração a qualidade do projeto e a economia financeira.

Para cálculo da umidade do café que é adicionado e removido do secador foram utilizadas as formulas através da relação entre a massa total e a quantidade de água presente, obtendo-se a relação para os grãos úmidos expressa pela equação 1:

$$U(\% \text{ b. u.}) = (\text{massa total} / \text{massa de água}) \times 100 \quad (1)$$

Para os grãos secos foram utilizados a relação entre a massa seca e a quantidade de água na amostra expressa pela equação 2:

$$U(\% \text{ b. s.}) = (\text{massa de matéria seca} / \text{massa de água}) \times 100 \quad (2)$$

O equipamento utilizado na propriedade para fazer essa medição é produzido pela empresa Gehaka modelo G610i versão 1.00.016.

Para determinar o poder calorífico da lenha utilizou-se a equação 3:

$$PCI = PCS - 0,0114 \times PCS \times UC \quad (3)$$

Onde:

PCI: poder calorífico inferior do combustível, kJ.kg⁻¹;

PCS: poder calorífico superior do combustível, kJ.kg⁻¹ (17.974 kJ.kg⁻¹

para a espécie “Eucaliptusgrandis”); e

UC: teor de umidade do combustível, % b.u.

Com a determinação do poder calorífico, é possível calcular a energia produzida através da queima do combustível utilizando a equação 4:

$$EPC = QC \times PCI \quad (4)$$

Onde:

EPC: energia proveniente do combustível, kJ;

QC: quantidade de combustível, kg;

PCI: poder calorífico inferior do combustível, kJ.kg⁻¹.

Com entrevista a um especialista sobre a qualidade do café foi possível quantificar a influência do cheiro da fumaça e sua interferência no preço do produto, por possuir impacto direto na qualidade do mesmo.

Assim a realização de tabelas de gastos financeiros relacionado ao consumo do modo convencional foi produzida, para a utilização em comparação à bomba de calor em substituição para o mesmo período de trabalho.

Com análises de trabalhos científicos foi possível também estabelecer maior confiança em executar o comparativo e assim garantir embasamento para o projeto.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Produção brasileira de café

O Brasil é um dos maiores países produtores de cafés no cenário mundial. Hoje a competição no mercado exterior está bastante acirrada, o que faz com que cada vez mais a busca por melhorias na qualidade do produto seja constante a fim de se manter em um mercado cada vez mais competitivo.

Em nível mundial, de acordo com a OIC, em 1997, a produção foi de 99,7 milhões de sacas de 60 kg e o Brasil teve participação com 19% desse mercado.

Em 2018, como a produção mundial esteve por volta de 159 milhões de sacas e a brasileira 56,48 milhões de sacas, houve a participação de 35,5% do mercado mundial, com uma redução de aproximadamente 20% da área cultivada.

Em 1997, o Brasil enviou ao exterior 16,7 milhões de sacas e, em 2017, 30,7 milhões de sacas. Com relação ao consumo do mercado brasileiro nesse mesmo período, opais passou de 11,5 milhões de sacas para 21,5 milhões de sacas, um aumento significativo para esse período.

3.1.1 Tipos de secagem

A secagem é um dos principais fatores que influenciam a qualidade do café natural e conseqüentemente seu valor comercial (Moreira, 2015), sendo a temperatura o fator de maior influência na secagem dos produtos agrícolas.

O processo mais comume econômico entre os produtores rurais para preservar a qualidade dos grãos durante o período de armazenagem é a secagem(Lacerda, 2001).

O desenvolvimento de secadores que facilitem uma rápida desidratação dos frutos sem o uso de temperaturas elevadas durante a secagem vem se mostrando uma alternativa vantajosa, principalmente considerando a qualidade do café natural (Moreira, 2015).

A procura por novas tecnologias para aperfeiçoar a qualidade de secagem dos grãos evoluem a cada ano, para o produtor de pequeno porte umas das opções mais utilizadas são os secadores rotativos.

Moreira (2015) informou que a secagem é um procedimento de grande influência na qualidade final dos grãos, sendo a etapa com maior demanda de energia, envolvendo os maiores investimentos financeiros e riscos de danos físicos, fisiológicos.

Segundo o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA), o café deve estar na fase 3 de secagem, também conhecida como meia seca. A temperatura da fornalha deve ser de 50 a 60°C e a massa dos grãos deve estar de 30 a 40°C.

A secagem é uma das etapas do pré-processamento dos produtos agrícolas que tem por finalidade retirar parte da água neles contida tanto para o armazenamento quanto para a comercialização em curto prazo. É definida como processo simultâneo de transferência de calor (SILVA, AFONSO, DONZELLES, 2010). Esse processo é de suma importância, pois possui impacto direto na qualidade do produto se má conduzida.

Segundo Silva (2000), nos secadores de fluxos concorrentes, o ar e o produto fluem no mesmo sentido durante todo o processo de secagem.

Keener e Glenn (1978 citado por Lacerda, Silva, 2001, p.1010) informaram que, dentre os fatores que interferem no consumo específico de energia durante a secagem dos grãos, incluem-se a umidade inicial e final do café, a temperatura e as propriedades físicas dos grãos, que conseqüentemente afetam diretamente na qualidade do café.

Nos secadores de grãos, a energia liberada pelo combustível para aquecer o ar de secagem pode ser avaliada por processos exploratórios. Várias são as expressões utilizadas para determinar o poder calorífico das matérias utilizadas como combustíveis, todas se baseiam na composição química e nas propriedades físicas da matéria pois cada matéria possui sua composição específica.

3.1.2 Aplicações da bomba de calor

Segundo Guilhermetti (2007), a bomba de calor é um sistema termodinâmico com a funcionalidade de retirar energia na forma de calor de um meio a temperatura inferior, chamado de fonte fria, e de fornecer energia útil, na forma de calor, a um

meio de temperatura superior, também chamado de fonte quente, através de uma porção de energia elétrica.

As bombas de calor possuem inúmeras aplicações e modelos de funcionamento, segundo Garrido (2014, p.8)

A maioria das bombas de calor atualmente funciona com base no ciclo de compressão mecânica de vapor ou ciclo de absorção. Teoricamente, bomba de calor pode ser conseguida por outros ciclos termodinâmicos, estes incluem ciclos Stirling e Vuilleumier, ciclos monofásicos (por exemplo, com o ar, CO₂ ou gases nobres), sistemas de sorção sólido-vapor, sistemas híbridos (nomeadamente combinando a compressão de vapor e ciclo de absorção) e processos eletromagnéticos e acústicos.

A bomba de calor é um equipamento mais complexo e dispendioso que os de aquecimento com resistência elétrica ou caldeira, mas que permite atingir uma eficiência muito maior(BELO, 2013).

O desempenho técnico e econômico de uma bomba de calor está intimamente relacionado com as características da fonte de calor empregada(LOBO, AOKI, TEIXEIRA, PAULILLO, 2004), assim o dimensionamento correto e a exatidão na instalação influenciam diretamente na qualidade do sistema gerando economia e garantindo longevidade aos equipamentos utilizados.

De acordo com a segunda lei da termodinâmica, o calor não pode espontaneamente fluir de uma posição mais fria para uma posição mais quente, é requerido trabalho para conseguir esta função (GUILHERMETTI, 2007).

Segundo Lobo, Aoki, Teixeira, Paulillo (2004, p.1)

O custo da economia de energia difere para cada tipo de instalação. As bombas de calor corretamente dimensionadas e instaladas podem reduzir custos de aquecimento de 30 a 50 por cento comparados às fornalhas elétricas. A qualidade da instalação afetará significativamente a economia de energia e a longevidade do sistema.

Guilhermetti(2007) diz que para o desempenho energético e determinação dos valores de eficácia, consumo do compressor, taxas de troca de calor no evaporador e condensador, temperaturas de condensação e evaporação além do fluido refrigerante escolhido, deve-se levar em consideração também, o desempenho econômico levando em conta o custo inicial do equipamento, as taxas e o tempo de retorno para o investimento.

Segundo Moraes, Ribeiro, Cavalheira (2009, p.2)

Uma bomba de calor ar/ar funciona da seguinte forma. O compressor bombeia gás refrigerante em alta pressão e alta temperatura para o condensador (troca de calor). Este gás dentro do condensador se torna líquido, devido à alta pressão. Este líquido vai para a válvula de expansão, onde líquido se expande perdendo pressão e resfriando, voltando ao estado gasoso. Agora o gás refrigerante passa pelo evaporador (troca de calor) com baixa pressão e baixa temperatura, absorvendo o calor do ar do ambiente e voltando novamente para o compressor para fechar o ciclo.

A termodinâmica utiliza frequentemente os conceitos de temperatura, de energia e de calor, todos eles se relacionando de maneira muito próxima (SAVI, COLUCCI, 2010).

Savi e Colucci (2010) disseram que a primeira lei da termodinâmica expõe a conservação da energia e que a eficiência de qualquer equipamento não pode ser superior a um, não podendo então realizar maior trabalho do que a quantidade de calor que o sistema absorve.

As bombas de calor permitem a mesma utilização de energia elétrica fornecer uma potência térmica superior à consumida (BELO, 2013).

Segundo Savi e Colucci (2010, p.14).

Temperatura é uma variável de estado que é desconhecida em mecânica e em eletrodinâmica. Ela é especialmente introduzida para a Termodinâmica e sua definição está intimamente relacionada com o conceito de equilíbrio térmico. Igualdade de temperatura entre dois sistemas é a condição para que exista equilíbrio térmico entre eles.

3.2 Componentes da bomba de calor

Uma bomba de calor, também designada por termobomba, possui um conceito que engloba tanto máquinas caloríficas como frigoríficas, mas que atualmente estão sendo aplicadas em grande escala para a geração de calor. Os componentes principais de configuram de uma bomba de calor são: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador.

3.2.1 Compressor

O componente mais importante do equipamento, recebe o vapor a baixa pressão e temperatura através do tubo de sucção, onde o comprime aumentando sua pressão e temperatura, expelindo-o através do tubo de descarga para o condensador.

O funcionamento do compressor é caracterizado por dez parâmetros representativos dos processos que ocorrem no seu interior (BELO, 2013).

O compressor é o elemento mecânico do sistema que tem como função elevar a pressão e promover a circulação do fluido refrigerante. Como consequência do trabalho executado, a compressão aumenta a temperatura do fluido que depois será reduzida ao longo do condensador (LUIZ, 2007).

Para a realização de compressão é necessário que exista energia mecânica, o consumo de energia é adequado para um fluido refrigerante que vem indicado na sua placa característica, eles devem ser impermeáveis contra umidade.

3.2.2 Condensador

O condensador é um permutador de calor que faz a conversão de calor entre dois fluidos (BELO, 2013). É um componente essencial nos sistemas de aquecimento, pois é responsável por receber o gás com a pressão elevada do compressor.

Tem como papel principal dissipar, na forma de calor, a energia absorvida pelo fluido refrigerante ao longo do processo de evaporação e de compressão (LUIZ, 2007).

Segundo Belo (2013), o fluido frigorigéneo, na maior parte dos casos entra como vapor sobreaquecido, é arrefecido até ao estado de saturação, dando-se posteriormente a sua condensação. A utilização de um ou outro condensador depende de inúmeras variáveis levando em consideração as condições de projetos e localização do condensador.

3.2.3 Válvula de expansão

Garante o fornecimento do gás refrigerante para o evaporador sob as condições adequadas de temperatura e pressão, para que todo o evaporador seja usado para superaquecimento.

Conforme Luiz (2007), a válvula de expansão tem a função de controlar a passagem do fluido refrigerante criando uma resistência, originando uma diferença de pressão entre o lado com alta pressão do condensador e de baixa pressão localizado no evaporador. Uma válvula de expansão térmica é um elemento essencial para uma bomba de calor, este é o ciclo que faz o condicionamento de ar ser possível.

Na modelação deste componente assume-se que existe uma expansão adiabática irreversível, com o respectivo aumento da entropia específica (BELO, 2013).

O controle do fluxo de gás refrigerante é realizado com o auxílio de um bulbo atrelado a um sensor de temperatura e ocupado com um gás semelhante ao do projeto, que faz com que a válvula abra contrária à mola de pressão em seu interior, à medida que a temperatura se eleva.

3.2.4 Evaporador

O evaporador tem como finalidade promover a absorção de calor do ar de processo para o fluido de trabalho (LUIZ, 2007).

Segundo Belo (2013), o evaporador realiza a troca de calor entre o fluido frigorigéneo e o ar, no caso de ser uma bomba de calor ar-água, o evaporador é um permutador de tubos alhetados para que a realização da troca entre o ar e o fluido frigorigéneo garanta ao sistema maior eficiência e qualidade durante o processo.

Em aparelhos de refrigeração recebe o tratamento como um evaporador ou trocador de calor que gera a permuta de energia térmica localizada no meio ambiente enviando a um gás refrigerante a baixa temperatura e o processo de evaporação.

O fluido refrigerante ao entrar no evaporador encontra-se a baixa pressão, e passa da fase mistura para a fase vapor (LUIZ, 2007). Assim há a diminuição da pressão gerada pela redução de temperatura permitindo que o fluido faça a absorção do ar no ambiente.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Secador utilizado para a secagem do café

Através de derrigagem, o café maduro é colhido na lavoura em panos de ráfia, sendo limpo por meio da retirada das folhas, gravetos e outras impurezas que possa conter, após é transportado e disposto em terreiro de cimento para exposição à luz solar, a fim de reduzir ao máximo seus níveis de umidade.

É movimentado com o auxílio de rodos para que durante esse período de secagem não ocorra fermentação ou aumento de temperatura, o que afeta as propriedades químicas dos grãos e acarreta em perda de qualidade do produto, conseqüentemente queda em seu valor no mercado.

Após esse processo é transposto para secadores mecânicos rotativos ou estáticos. O secador utilizado para o desenvolvimento deste estudo é um modelo rotativo, produzido pela empresa PALINI ALVES com fornalha a lenha, turbina e capacidade de até dez mil litros ou 50 sacas beneficiadas, como mostra a figura 1.

Figura 1: Secador rotativo utilizado na propriedade em São Domingos das Dores.



Fonte: Autor, 2018.

O modelo de secador rotativo é muito utilizado, por acelerar a secagem dos grãos. Cafés com casca em altos índices de umidade quando introduzidos em outros secadores como os estáticos para acelerar o processo de secagem, tendem a colar uns aos outros, fazendo com que a seca não ocorra uniformemente, o que acarreta em perda de qualidade, gastos desnecessários e conseqüentemente prejuízos indesejáveis.

Em secadores rotativos não há esse tipo de ocorrência, por ser um equipamento que trabalha na posição horizontal contendo galerias em seu interior, fazendo com que o café fique em constante movimento, por isso sua grande utilização por produtores da região de São Domingos das Dores.

A Figura 2 apresenta o modelo de motor utilizado para acionamento da turbina no secador.

Figura 2: Turbina, responsável por enviar o calor gerado pela fornalha para dentro do secador acionada por um motor.



Fonte: Autor, 2018.

Nesse processo o motor de 2.7 cv aciona uma turbina que se localiza entre a fornalha e o secador, tem como função enviar o ar quente produzido pela fornalha para dentro do secador através de sua rotação.

Na figura 3 se observa a fornalha utilizada na propriedade.

Figura 3: Fornalha utilizada no secador.



Fonte: Autor, 2018.

Com a coleta de dados durante a colheita do café que ocorreu no período de julho a agosto, foi possível observar e anotar todo o investimento em compra lenha e energia elétrica, utilizados para a secagem do café em secador rotativo no modelo convencional, possibilitando então mensurar a quantidade investida para o beneficiamento do produto.

Foram observadas três amostras de cafés em diferentes quantidades e umidade inicial, assim demonstrou-se como o secador tem sua eficiência de secagem comprometida quando se trabalha com volumes menores do que sua capacidade de funcionamento. Quanto maior o volume de café em seu interior maior o aproveitamento do calor gerado pela fornalha durante o processo de secagem.

Na tabela 1, se observa a quantidade de sacas e horas trabalhadas.

Tabela 1: Quantidade de sacas beneficiadas e quantidade de horas trabalhadas durante a secagem.

Amostras	Sacas 60 kg	Massa total de café (kg)	Horas de funcionamento do secador
AM 1	42	2534 kg	8 Horas
AM 2	29	1767 kg	20 Horas
AM 3	29	1759 kg	16 Horas
Total Amostra:	99 sacas	6000 kg	44 Horas

Fonte: Autor, 2018.

Durante a secagem do café ao introduzir o produto dentro do secador é aferido a sua umidade inicial, fornecendo ao funcionário responsável pelo monitoramento do equipamento, uma estimativa de tempo de secagem dos grãos.

Todo grão possui um teor de umidade específico o que representa a quantidade de água por amostra de massa do grão seja ele seco ou úmido, é de extrema importância que esse processo seja feito com qualidade, pois para o beneficiamento em curto prazo ou a realização da secagem para a armazenagem em longo prazo garanta qualidade e prevenção para que não ocorra a deterioração dos grãos de café quando estiverem estocados.

4.1.1 Equipamento utilizado para aferir a umidade dos grãos

A figura 4 demonstra o equipamento que o proprietário faz uso para obter a temperatura tanto inicial quanto final de todo o café beneficiado na propriedade.

Figura 4: Medidor de umidade de grãos G610i.



Fonte: Autor, 2018.

Esse modelo utiliza a tecnologia FLOW THRU executando o peso da amostra automaticamente, correções de temperatura sem a necessidade de recursos externos ou tabelas complementares. Utiliza um termômetro como instrumento de medição que trabalha em uma faixa de 0° a 100°C com divisão de 0,1°C obtendo uma precisão de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$.

Assim monitora a temperatura de operação entre a diferença do instrumento e a amostra. Com isso é possível realizar a medição antes e depois do processo de secagem a fim de garantir a qualidade do café.

A tabela 2 demonstra os valores de umidade e lenha consumida.

Tabela 2: Umidade inicial e final e a quantidade de lenha consumida durante a secagem de três amostras diferentes.

Amostras	Sacas 60 kg	Massa total de café (kg)	Umidade inicial do café	Umidade final do café	Lenha utilizada [m ³]
AM 1	42	2534 kg	17°C	12.9°C	3 m ³
AM 2	29	1767 kg	25°C	13°C	7 m ³
AM 3	29	1759 kg	23°C	12.9°C	5 m ³
Total:	99	6000 kg	65°C	38.8°C	15 m ³

Fonte: Autor, 2018.

4.1.2 Acompanhamento da temperatura do secador

No secador para monitoramento da temperatura que entra nele e também a temperatura que se encontra o café durante a seca existem dois medidores de temperatura acoplados, assim o usuário consegue visualmente realizar o acompanhamento durante todo o processo. A figura 5 demonstra o medidor acoplado logo na saída da turbina próximo a entrada do secador.

Figura 5: Medidor para parâmetro de temperatura que entra no secador possuindo uma funcionalidade de 0° a 150°C.



Fonte: Autor, 2018.

Entretanto durante a secagem em secadores rotativos, o controle da temperatura que entra no secador se limita apenas no medidor de temperatura localizado na turbina (figura5), que envia o ar aquecido para dentro do secador, esse medidor possui um comprimento de 10 cm, existindo ai uma limitação para o acompanhamento em todo o interior da turbina levando em consideração que ela apresenta profundidade radial de 90 cm.

A figura 6 apresenta a parte interna do medidor de temperatura onde se observa seu comprimento.

Figura 6: Medidor de temperatura visão parte interna.



Fonte: Autor, 2018.

No secador existe um mesmo modelo de medidor de temperatura onde é possível acompanhar a temperatura em que o café se encontra durante o processo de secagem.

Deste modo o trabalhador que está desenvolvendo a tarefa, tem uma confiabilidade no processo de secagem para que não seja excedido o volume de lenha durante a queima acarretando em elevação de temperatura no medidor de entrada e posteriormente no interior do secador causando problemas na qualidade do produto.

A figura 7 demonstra o medidor acoplado do no corpo do secador localizado na parte central.

Figura 7: Medidor de temperatura acoplado ao secador.



Fonte: Autor, 2018.

Quanto maior o volume de café no interior do secador maior é a sua eficiência durante o processo, a temperatura que a fornalha fornece para a turbina e que é enviada para dentro do secador fica oscilando de acordo com a quantidade de combustível aplicado para a queima tendo que ser mantida entre 80° a 90°C no medidor acoplado na turbina para que dentro do secador se tenha uma temperatura entre 30° a 40°C.

Por se tratar de um equipamento que comporta até dez mil litros ou 50 sacas de café beneficiado quanto menor a massa de café sendo trabalhada no processo menor sua eficiência, pois acaba acarretando em dissipação do calor gerado para o ambiente.

Nas amostras monitoradas observou-se que quanto menor o volume de café, maior a demanda de horas trabalhadas quando o café se encontra com altos níveis de umidade gerando maiores despesas para o beneficiamento do produto.

4.1.3 Combustível utilizado na fornalha

Na propriedade alvo de estudo o proprietário faz uso de lenha de eucalipto onde o mesmo realiza a compra, assim com o consumo total de lenha pela fornalha é possível mensurar o valor gasto com a aquisição do combustível utilizado durante o processo.

A figura 8 demonstra a lenha utilizada na propriedade.

Figura 8: Lenha utilizada para queima na fornalha.



4.2 Investimentos para o beneficiamento do café

Através do monitoramento das horas trabalhadas do motor de 3.7 cv responsável por movimentar a turbina que entrega o ar aquecido para dentro do secador seu consumo foi calculado durante a secagem, em um total de quarenta e quatro horas trabalhadas.

Assim é possível quantificar a eficiência energética do secador no modelo convencional associando todo o investimento e demonstrando a quantidade exata investida por saca de 60 kg de café beneficiado. A escolha adequada da bomba de calor a ser aplicada no projeto se fundamenta através destes parâmetros, juntamente com sua eficiência e potência.

Por se tratar de uma análise técnica de aplicação para um projeto que já se encontra em funcionamento é de suma importância que a mesma seja adequada, pois deste modo a eficiência do sistema fica o mais próximo da exatidão eliminando o máximo de perdas possíveis.

A função da bomba de calor é substituir o conjunto fornalha turbina gerando assim o fim do investimento em compra de lenha e também o uso da energia elétrica por parte do motor responsável por girar a turbina, pois a mesma faz uso apenas de energia elétrica.

4.2.1 Cálculo da eficiência da lenha

Para cálculo da eficiência do funcionamento da fornalha empregada no sistema utilizamos lenha de eucalipto como combustível (*Eucalyptus grandis*). Onde a lenha foi cortada em toras de 1 metro com diâmetros variados. Onde a umidade determinada para lenha seca com casca fica em torno de 30%.

A tabela 3 demonstra as conversões para diferentes tipos de madeiras.

Tabela 3: Conversão de unidades: estéreo, metro cúbico e tonelada de madeira por espécie.

ESPÉCIE	ESTÉREO (st)	METRO CÚBICO (m ³)	TONELADA (t)
Eucalipto com casca	1,00	0,70	0,608
	1,43	1,00	0,868
	1,65	1,15	1,000
Eucalipto sem casca	1,00	0,61	0,577
	1,64	1,00	0,946
	1,74	1,06	1,000
Pinus com casca	1,00	0,70	0,588
	1,43	1,00	0,828
	1,73	1,20	1,000
Pinus sem casca	1,00	0,57	0,545
	1,75	1,00	0,956
	1,83	1,04	1,000
Madeira para energia	1,00	0,50	0,340
	2,00	1,00	0,680
	2,94	1,47	1,000

Fonte: Fatos e Números do Brasil Florestal, 2008

Ao adicionar os valores convertidos e realizar os cálculos de poder calorífico e energia produzida obteve-se a tabela 4 onde se observa os resultados encontrados para o consumo total de cada amostra beneficiada no secador em quilo joules para a quantidade de lenha que foi calculada em quilogramas.

Tabela 4: Poder calorífico por amostra e energia total produzida por amostra através da quantidade de lenha consumida em quilogramas.

Amostras	Sacas 60 kg	Massa total café (kg)	Lenha utilizada (kg)	Poder calorífico (kJ.kg ⁻¹)	Energia produzida (kJ)
AM 1	42	2534	2604	17912,53	4,66E+07
AM 2	29	1767	6076	17912,53	1,09E+08
AM 3	29	1759	4340	17912,53	7,77E+07
Totais	99	6000	13020	17912,53	2,33E+08

Fonte: Autor, 2018.

Como os 13020 quilogramas de massa de eucalipto utilizados durante o processo de secagem possuíam uma variação de umidade em torno de 3% foi adotado o mesmo poder calorífico para cada amostra variando a energia produzida de acordo com o consumo da fornalha durante o tempo de secagem de cada porção de café.

Como os dados obtidos foram relacionados ao consumo total de lenha e geração total de energia (kJ), a tabela 5 demonstra a energia dividida por horas trabalhadas durante a secagem dos grãos.

Tabela 5: Energia utilizada pelo secador a cada hora trabalhada.

Amostras	Sacas 60 kg	Massa total de café (kg)	Lenha utilizada (kg)	Horas de funcionamento do secador	Energia produzida (kJ)/hora
AM 1	42	2534	2604	8	5,83x10 ⁶
AM 2	29	1767	6076	20	5,44x10 ⁶
AM 3	29	1759	4340	16	4,86x10 ⁶

Fonte: Autor, 2018.

Com a energia produzida pela fornalha em (kJ) e fazendo a conversão para a mesma quantidade gerada em BTUs (Unidade térmica britânica) a escolha do equipamento a ser utilizado é dimensionado. O joule (J) é a unidade de energia e trabalho no SI, e é definida como $1 \text{ kg} \times \text{m}^2 \times \text{s}^{-2} = 1 \text{ N} \times \text{m} = 1 \text{ W} \times \text{s}$.

Ao fazer o cálculo de equivalência entre essas grandezas, é necessário também levar em consideração as perdas térmicas durante o processo na fornalha, na turbina e no secador ao queimar a lenha há a geração de calor onde parte é aproveitada para a secagem do café e uma porção é dispersa ao ambiente girando em torno de 40% da energia gerada.

Quando esse calor aquece um conjunto de placas na fornalha de fogo indireto para ser enviado ao secador utilizando o conjunto turbina há também a dispersão de energia na forma de calor havendo uma perda de aproximadamente 40% da energia processada.

No corpo do secador as perdas acontecem por ser um equipamento vazado então a energia que não entra em contato com os grãos também é liberada ao ambiente. É possível observar esse processo utilizando os medidores de temperatura instalados na entrada do secador e o outro do meio do secador. A tabela 6 demonstra as perdas envolvidas no processo de secagem.

Tabela 6: Eficiência dos equipamentos.

Eficiência do trocador	Eficiência da Fornalha	Eficiência do Secador	Eficiência Turbina
0,6	0,4	0,44	0,6

Fonte: Autor, 2018.

4.2.2 Eficiência em BTUs

Ao inserir essas perdas ao cálculo de BTU para dimensionamento da bomba de calor é possível fazer a escolha do melhor equipamento que forneça a mesma quantidade de energia na entrada do secador e garanta que durante o processo o café seja seco de forma uniforme.

A tabela 7 demonstra a transformação da energia produzida (kJ) para a unidade térmica britânica (BTU).

Tabela 7: Relação kJ para BTU.

Amostras	1 KJ = 0,947817 BTU	Energia produzida (kJ)	Energia em BTU equivalente	Energia em BTU equivalente por hora
AM 1	0,947817	$3,12 \times 10^5$	$2,96 \times 10^5$	36975,28
AM 2	0,947817	$7,28 \times 10^5$	$6,90 \times 10^5$	34510,74
AM 3	0,947817	$5,20 \times 10^5$	$4,93 \times 10^5$	30812,74

Fonte: Autor, 2018.

Através dessa relação é possível dimensionar um equipamento elétrico capaz de suprir a energia necessária para a mesma quantidade de café em cada amostra.

A escolha da bomba de calor ideal leva em consideração esses parâmetros de potência, pois sua unidade de medida para utilização é em BTU então há a necessidade também de calcular o consumo do motor utilizado para girar a turbina responsável por enviar o ar aquecido para dentro do secador.

Realizando a transformação de CV para kW do motor de 2.7 CV observa-se:

1 CV 1 CV = 0,736 kW.

2.7 CV = 1.9872 kW ou 1987.2 W.

A tabela 8 demonstra o consumo em reais do motor durante as horas trabalhadas multiplicado pelo preço do kW/h cobrado para o mês de julho de 2018

Tabela 8: Horas trabalhadas multiplicada pela tarifa cobrada pela concessionária de energia do estado de Minas Gerais.

Amostras	Sacas 60 kg	Massa total de café (kg)	Horas de funcionamento do secador	Preço kW (R\$)	Consumo total em (R\$)
AM 1	42	2534	8	0.61619417	9.79
AM 2	29	1767	20	0.61619417	24.49
AM 3	29	1759	16	0.61619417	19.59

Fonte: Autor, 2018.

4.2.3 Investimento total para a produção no modelo convencional

Para calcular o consumo de energia de um equipamento em reais utiliza-se a potência em (W) do mesmo, realizando a multiplicação dessa potência pela quantidade de horas trabalhadas divididas por 1000, sendo multiplicada pelo valor da tarifa cobrada pela concessionária. A tarifa é observada junto ao preço cobrado pela empresa por KW horas e também os impostos adicionados pelo estado ICMS, PASEP, COFINS.

Com a obtenção desses dados e levando também em consideração o salário do funcionário responsável por administrar o processo de secagem se torna possível quantificar o consumo energético por saca do modo convencional associando o consumo de lenha, energia elétrica e o salário do funcionário.

Assim o dimensionamento correto da bomba de calor se torna possível observando a potência que ela me fornece para a secagem e o consumo necessário de energia elétrica que ela consome. A tabela 9 demonstra todo o investimento energético para a produção e secagem das três amostras trabalhadas no secador.

Tabela 9: Investimentos para o beneficiamento do café produzido.

Amostras	Sacas 60 kg	Horas de funcionamento do secador	Lenha comprada (R\$)	Energia elétrica (R\$)	Operador salário (R\$)
AM 1	42	8	165	9.79	50
AM 2	29	20	385	24.49	120
AM 3	29	16	275	19.59	10
Total	100 sacas	44	825	53.87	180

Fonte: Autor, 2018.

Com o valor total investido para a produção final do produto, se torna possível mensurar a quantidade gasta para produzir cada saca de café beneficiado. A tabela 10 demonstra os valores investidos para a produção final no produto.

Tabela 10: Valor investido por saca.

Sacas	Massa total de café Kg	Valor total investido R\$	Valor por saca R\$
100	6000	1058.87	10.58

Fonte: Autor, 2018.

Com esse valor aplicado para a produção das três amostras beneficiadas no processo convencional, possibilita a escolha da bomba de calor adequada observando os dados técnicos do equipamento e potência, a partir daí o comparativo de investimento para o mesmo período de utilização se torna possível.

4.3 Bomba de calor dimensionada

O equipamento escolhido é fabricado pela empresa Carrier modelo Split Cassete 48000 BTUs Quente/Frio 220v 3F 40KWQD48C5 com voltagem de 220v e capacidade de refrigeração de 48000 BTUs consumo médio de 104,58 (kWh/mês), classificação energética C de compressor rotativo ciclo quente e frio potência de aquecimento 4980W, serpentina de cobre e vazão de ar de 2000 m³/h.

A figura 9 demonstra o modelo utilizado para o processo.

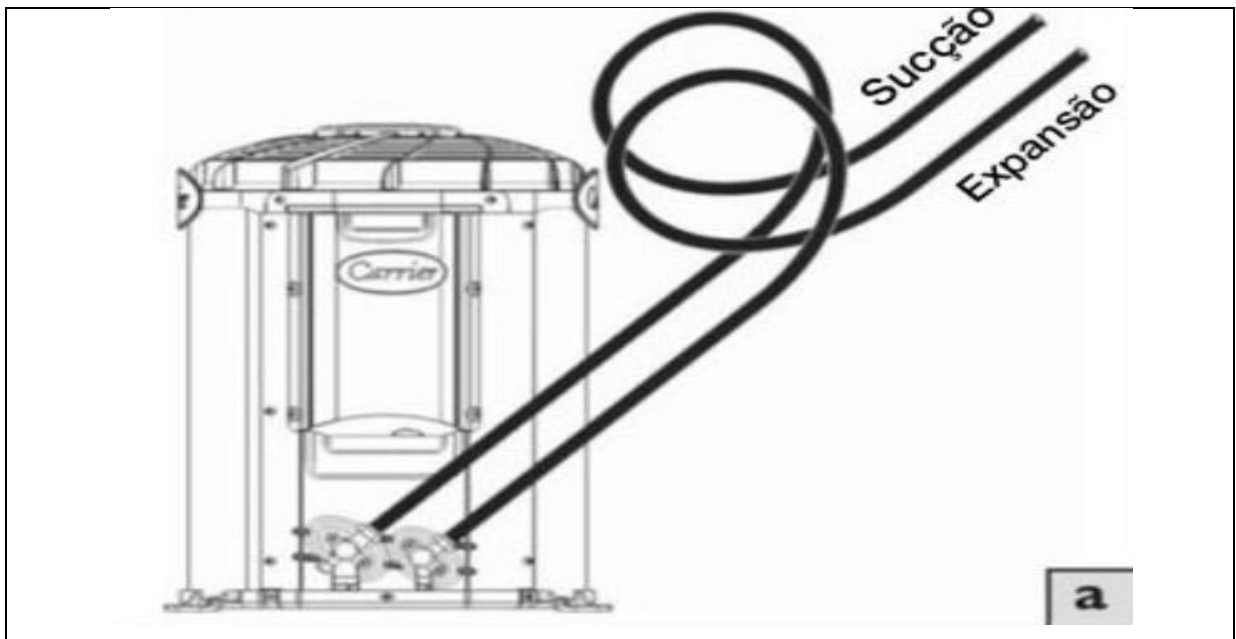
Figura 9: Carrier modelo 3F 40KWQD48C5.



Fonte: Carrier, 2018.

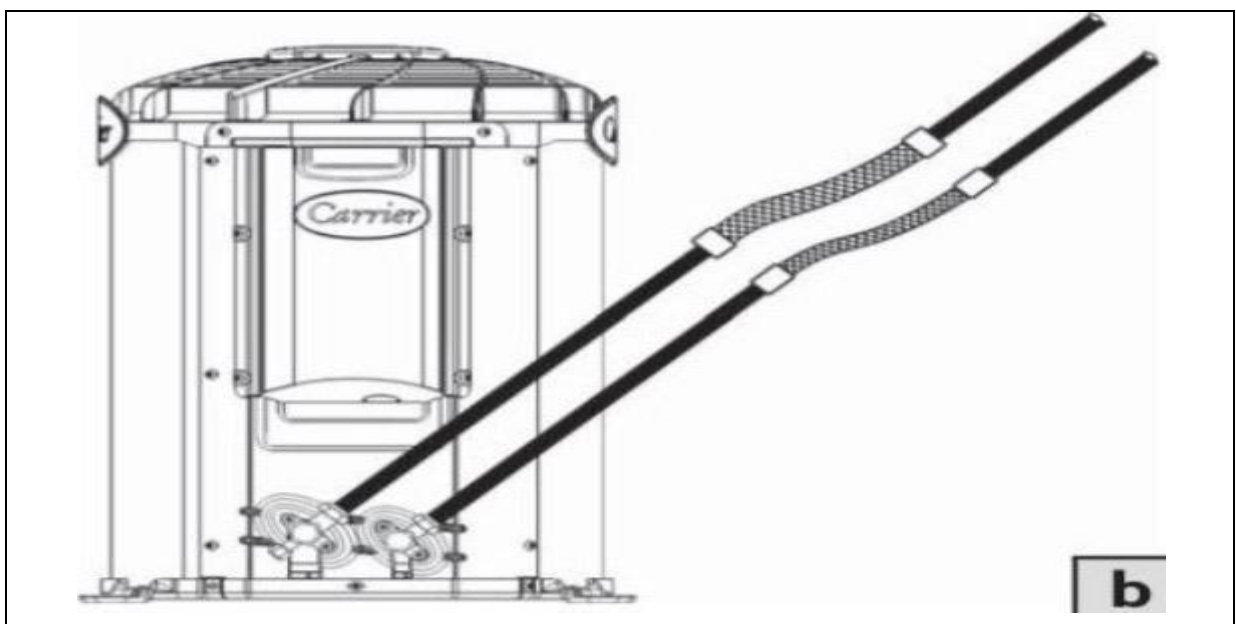
A bomba de calor possui duas ligações uma é linha de sucção e a outra a linha de expansão. São conectadas ao splitcassete acoplado ao secador enviando o ar aquecido fazendo com que todo o interior do secador fique com a mesma temperatura, e seque os grãos de maneira uniforme. Na imagem 10 A e 10 B se observa as mangueiras conectadas a bomba de calor.

Figura 10 A: Conexões da bomba de calor.



Fonte: Carrier, 2018.

Figura 10 B: Conexões da bomba de calor.

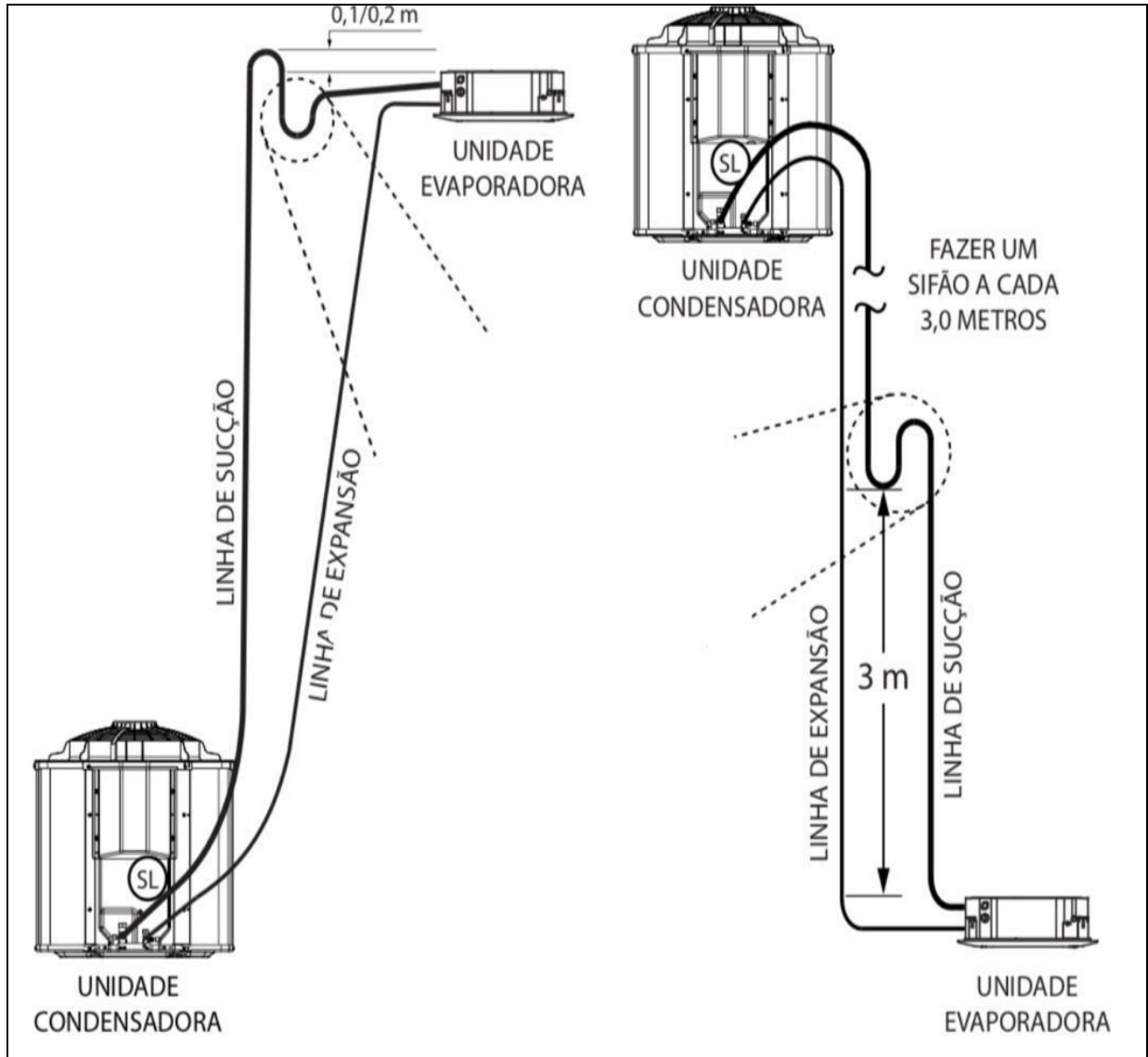


Fonte: Carrier, 2018.

Para a instalação da bomba de calor atingir total aproveitamento de sua potência, há a necessidade de uma adaptação no secador. Fazendo com que ele passe a ser totalmente fechado sem furos como é o original, pois assim a bomba de calor consegue através das linhas de sucção e expansão estabilizarem a temperatura dentro do secador de acordo com a escolha do usuário.

Na imagem 11 se observa a bomba de calor conectada ao splitcassete.

Figura 11: Bomba de calor conectada a unidade evaporadora.



Fonte: Carrier, 2018.

A bomba de calor fica localizada em um ambiente aberto e arejado onde possua uma boa ventilação para que seja aproveitada toda sua potência, localizada a 3 metros do secador para que não haja a influência pelo calor que o secador possa expelir decorrente do aquecimento interno durante o processo de trabalho.

A figura 12 demonstra o esboço do secador sem furos.

Figura 12: Secador fechado.



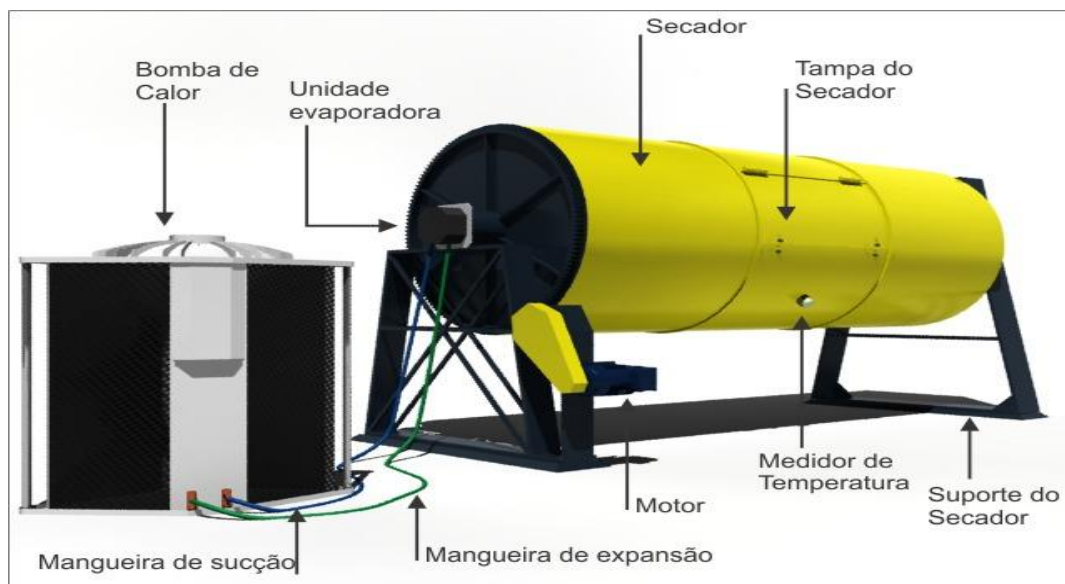
Fonte: Autor, 2018.

A partir do momento em que o secador passaria a ser fechado não haveria mais a perda de energia em forma de calor para o ambiente, tornando o processo de secagem dos grãos otimizado e de forma eficiente, a temperatura dentro dele passaria a ser distribuída uniformemente atingindo todo o interior do secador eliminando o problema de secagem de volumes menores.

Como foi observado no modelo convencional, quanto menor a quantidade de café sendo processada menor a eficiência de secagem por ocorrer grande dissipação de calor para o ambiente.

A imagem 13 demonstra a bomba de calor conectada a unidade evaporadora acoplada ao secador.

Figura 13: Bomba de calor conectada ao secador.



Fonte: Autor, 2018.

Com as especificações do fabricante da bomba de calor é possível calcular seu consumo durante as horas que foram trabalhadas no modelo convencional e criar um comparativo de investimento para produzir as mesmas quantidades de sacas beneficiadas durante o processo se ela estivesse em funcionamento.

A tabela 11 demonstra os valores relacionados ao consumo da bomba de calor.

Tabela 11: Consumo da bomba de calor em relação às horas trabalhadas no modelo convencional.

Amostras	Massa total de café (kg)	Horas de funcionamento do secador	Preço KW (R\$)	Consumo total em (R\$)
AM 1	2534	8	0.61619417	24.54
AM 2	1767	20	0.61619417	61.37
AM 3	1759	16	0.61619417	49.09
Total	6000	44	1.84	135

Fonte: Autor, 2018.

A tarifa é observada junto ao preço cobrado pela concessionária de energia por KW horas incluindo impostos e tarifas adicionadas pelo estado, ICMS, PASEP, COFINS.

4.3.1 Orçamento para implementação do equipamento

A instalação deve ser realizada por um profissional capacitado e os equipamentos a serem utilizados de acordo com as exigências das normas técnicas. A tabela 12 demonstra os equipamentos a serem utilizados.

Tabela 12: Equipamentos e instalação.

Quantidade	Equipamentos e serviços	Valor R\$
1	Disjuntor Easy9 Bipolar 25A Curva C 5Ka 230V Schneider	29.17
1	Ar Condicionado Split Cassete 48000 Btus Quente/Frio 220v 3F Carrier 40KWQD48C5	8695.00
1	30 metros de fio bitola 4	53.85
1	Instalação	1000
1	Chapas para fechar o secador	1320
Total		11098.32

Fonte: Autor, 2018.

Com os valores dos materiais e instalação obteve-se o valor total de 11098.32 reais para a realização do investimento de implementação da bomba de calor.

4.4 Comparativo entre os dois processos

Com os valores investidos para a produção no modelo convencional associando às horas de trabalho do funcionário responsável por administrar o serviço de secagem das três amostras, a compra de lenha, o consumo do motor que aciona a turbina responsável por enviar o ar aquecido para dentro do secador, juntamente com os valores de consumo da bomba de calor para o mesmo período de trabalho. A tabela 13 demonstra os valores a fim de realizar o comparativo dos modelos de funcionamento.

Tabela 13: Modelo convencional e modelo com a bomba de calor.

Serviços	Modelo convencional	Bomba de calor em substituição
Consumo de energia elétrica (R\$)	53.87	135
Funcionário (R\$)	180	180
Lenha (R\$)	825	-
Total	1058.87	315

Fonte: Autor, 2018.

A utilização da bomba de calor pode reduzir significativamente os valores investidos para produzir as mesmas quantidades de sacas que foram beneficiadas no processo já existente. A tabela 14 demonstra o comparativo dos valores investido por saca para os dois modelos.

Tabela 14: Valores por unidade para a produção de 100 sacas beneficiadas.

Sacas de 60 Kg	Modelo convencional	Bomba de calor em substituição
Valor total investido (R\$)	1058.87	315
Valor por saca beneficiada (R\$)	10.58	3.15

Fonte: Autor, 2018.

5 CONCLUSÃO

Com a coleta de dados houve a possibilidade de quantificar todo o investimento para a produção total de 100 sacas de café beneficiado, podendo mensurar o investimento por unidade de saca considerando o valor investido para a compra de lenha, o salário pago ao funcionário responsável por executar a tarefa e a energia consumida pelo motor da turbina.

Para que a bomba de calor possa ser utilizada no projeto, há a necessidade de realizar uma adaptação no secador deixando-o totalmente fechado com uma saída de ar em uma extremidade que também possa regular a temperatura em seu interior para que o equipamento obtenha o máximo de eficiência durante o trabalho.

Após a escolha do aparelho, fazendo uso de suas especificações foi calculado seu consumo energético para parâmetro de comparativo de investimento para o mesmo período de trabalho do secador no modelo convencional, a fim de provar que sua utilização para a secagem dos grãos em substituição a fornalha seria viável.

Com os valores dos dois processos foi possível demonstrar os investimentos necessários por saca beneficiada sendo observado que a utilização da bomba de calor se mostra favorável para ser adaptada ao secador e utilizada para a secagem dos grãos.

A propriedade onde o estudo foi realizado possui uma produção média anual de 600 sacas de café, a substituição do conjunto fornalha turbina pela bomba de calor se mostra favorável, pois a economia gerada por não haver a necessidade de aquisição de lenha como matéria de combustível nem a utilização do motor responsável por acionar a turbina que envia o ar para dentro do secador são satisfatórias.

Proporcionando ao proprietário o retorno do investimento em uma média de três safras mantendo sua produção anual, além de produzir cafés com qualidades superiores uma vez que ao utilizar a bomba de calor o funcionário possui maior controle da temperatura durante o processo de secagem o que garante durante as horas trabalhadas que o café receba a temperatura ideal e constante, otimizando o

processo reduzindo as perdas conseqüentemente redução no tempo de secagem dos grãos.

Como o projeto foi desenvolvido com o intuito de constatar que a bomba de calor pode ser tecnicamente viável para a secagem de café em secador rotativo ou não, onde foi demonstrada uma adaptação no secador e também na utilização da unidade evaporadora da bomba de calor acoplada em uma das extremidades do equipamento, deixo como trabalhos futuros a construção de uma unidade evaporadora específica para ficar localizada dentro do secador para próximos projetos relacionados ao tema.

REFERÊNCIAS

BELO, J. P. L. *Estudo de uma bomba de calor*. 2013. 97p. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica Técnico Lisboa, 2013. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395146019913/disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acessado em: 20 de maio de 2018.

Borgnakke, Claus. *Fundamentos da termodinâmica/ Claus Borgnakke, Richard E. Stonntag*; tradução da 7ª edição americana -- São Paulo: Blucher, 2009.

Capítulo 5. Secagem e secadores. *Secagem e armazenagem de produtos agrícolas*. 109. Capítulo 5. Juarez de Sousa e Silva. Disponível em: <ftp://ftp.ufv.br/lnetpub/ftproot/Dea/Disciplinas/juarez/Secagem%20e%20Armazenagem%20Livro%20eletr%F4nico%20demonstra%E7%E3o/Cap%EDtulo%205.pdf>. Acessado 20 de maio de 2018.

Carrier Brasil. Disponível em: <https://www.carriero brasil.com.br/>. Acessado em: 10 de novembro de 2018.

CTA. *Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata*. Disponível em: <https://ctazm.org.br/>. Acessado em: 10 de abril de 2018.

DUARTE, M. V. *Estudo da bomba de calor – Fluidos de trabalho e eficiência energética*. 2013. 157p. Engenharia eletromecânica– universidade da beira interior engenharia, Covilhã, 2013. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/2472/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Miguel%20Duarte.pdf>. Acesso em: 02 de novembro de 2018.

FUNCIA, C. A. F. Produção de madeira em tora. In: FUNCIA, C. A. F. *Fatos e Números do Brasil Florestal*: São Paulo, SP - Brasil: Sociedade Brasileira de Silvicultura, dezembro 2008. 92p. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>. Acesso em: 05 de outubro de 2018.

GARRIDO, C. V. *Análise térmica de um sistema de bomba de calor para geração de vapor*. 2014. 65p. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009916.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2018.

LOBO, AOKI TEIXEIRA, PAULILLO. *Determinação da eficiência e da aplicabilidade de bombas de calor em clima temperado subtropical – Típico da região sul do país*

Primeira fase. Curitiba 2004. Disponível em: <http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/1/001-04.pdf>. Acessado em 20 de maio de 2018.

LUIZ, M. R. *Bomba de calor para desumidificação e aquecimento de ar.* 2007. 83p. Grau em engenharia mecânica – Universidade federal da Paraíba centro de tecnologia. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/8995/2/arquivototal.pdf>. Acessado em: 23 de agosto de 2018.

MONTEIRO, J. M. F. *Pré-colheita e pós-colheita: Fazendo café de qualidade.* 2003. 28p. Qualidade do café – Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata, Viçosa, 2003. Disponível em: <https://ctazm.org.br/bibliotecas/pre-colheita-e-pos-colheita-fazendo-um-cafe-de-qualidade-174.pdf>. Acessado em: 10 de novembro de 2018.

MOREIRA, R. V. *Caracterização do processo de secagem do café natural submetido a diferentes métodos de secagem.* 2015. 117p. Dissertação. Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/9805/2/DISSERTACAO_Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20do%20processo%20de%20secagem%20do%20caf%C3%A9%20natural.pdf. Acessado em: 05 de abril de 2018.

OLESKO, H. D. *Uma proposta de eficiência energética para sistemas de ar comprimido industriais.* 2013. 103p. Monografia (Especialista em Eficiência Energética). Universidade tecnológica federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3671/1/CT_CEEE_I_2013_09.pdf. Acessado em: 05 de abril de 2018.

OLIVEIRA JR, S. 1985; *Aplicações industriais de bombas de calor – Metodologia para avaliação de desempenho*, São Paulo, 172p. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Organização internacional do café. Disponível em: <http://abic.com.br/oic-exportacao-mundial-de-cafe-em-abril-cresce-7/>. Acessado em: 10 de maio de 2018.

OSÓRIO, A. G. S. *Projeto e construção de um secador intermitente de fluxos concorrentes e sua avaliação na secagem de café*. Viçosa, 1982. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola. Pré- processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais) – Departamento de Engenharia Agrícola – CCA, Universidade Federal de Viçosa.

RML GUILHERMETTI. *Uso de bombas de calor em processos industriais*. 2007. 10p. Artigo científico, 2007. Disponível em: http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/Artigos/Art_TCC_012_2007.pdf. Acessado em: 20 de maio de 2018.

SAVI, A. A; COLUCCI, C. C. *Termodinâmica*. 2010. Maringá. Eduem - Editora da Universidade Estadual de Maringá. 2010. 133p. Disponível em: http://nead.uesc.br/arquivos/Fisica/termodinamica/modulo_termodinamica.pdf. Acesso em: 10 de setembro de 2018.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. *Secagem e secadores*. In: *Secagem e armazenagem de produtos agrícolas*. Viçosa: Aprenda Fácil, 2.000. p.107-38.