UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL
MESTRADO PROFISSIONAL

BENEDITO DE JESUS DA SILVA RODRIGUES

PROTÓTIPO DE UM SECADOR DE GRÃOS ROTATIVO COMPACTO COM SISTEMA FOTOVOLTAICO

BELÉM
2023

BENEDITO DE JESUS DA SILVA RODRIGUES

PROTÓTIPO DE UM SECADOR DE GRÃOS ROTATIVO COMPACTO COM UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Dissertação de Mestrado Profissional apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Instituto de Tecnologia – ITEC, da Universidade Federal do Pará - UFPA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial.
Área de concentração: Projetos Industriais
Linha de Pesquisa: Materiais e Processos de Fabricação.

Orientação: Profª. Drª. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias.

BELÉM
2023

BENEDITO DE JESUS DA SILVA RODRIGUES

PROTÓTIPO DE UM SECADOR DE GRÃOS ROTATIVO COMPACTO COM UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Instituto de Tecnologia – ITEC, da Universidade Federal do Pará - UFPA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial.
Área de concentração: Projetos Industriais
Linha de Pesquisa: Materiais e Processos de Fabricação.

Orientação: Profa. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias.

AVALIAÇÃO: Às 9:20 horas em 31 / 08 / 2023.

BANCA EXAMINADORA:

_____
Profa. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias
(Orientadora – PPGEI/ITEC/UFPA)

_____
Profa. Dra. Cecilia Almeida de Carvalho Zavaglia
(Membro externo – PPGEM/UNICAMP)

_____
Prof. Dr Petrônio Vieira Junior
(Membro interno– PPGEI/ITEC/UFPA)

BELÉM
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará Gerada automaticamente pelo módulo Ficat.

R696p Rodrigues, Benedito de Jesus da Silva.
Protótipo de um secador de grãos rotativo compacto com sistema fotovoltaico / Benedito de Jesus da Silva Rodrigues-2023.
210 f.: il. color.

Orientadora: Profª. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Belém, 2023.

1. Açaí. 2. Sustentabilidade. 3. Geração de energia fotovoltaica. 4. Bio economia. I. Título.

CDD 23 ed.- 620.0710981

Dedico este trabalho a minha estimada Mãe, Dinalva Maria da Silva Rodriguês, por seu apoio e incentivo com amor e sabedoria, acreditando sempre na minha capacidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre ser a minha fortaleza.

A minha família que sempre me apoiou em meus projetos.

A Professora Carmem Gilda Barroso Tavares Dias, por me orientar com sabedoria.

Ao Professor Petrônio Vieira Junior, pelos ensinamentos.

Ao Instituto Federal do Pará, de onde eu tiro o sustento da minha família.

Aos meus amigos.

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim”

(Nicolas Testa)

RESUMO

A bio economia industrial do açaí, fruto originário da Amazônia, produz alimentos com compostos fenólicos antioxidantes e lipídios. Frações do subproduto do despolpamento são destinadas para geração de bioenergia, e são pesquisadas como biopolímeros, carga para confecção de moveis e matérias arquitetônicos. Observando este contexto, foram projetados dois secador de grãos rotativo: o primeiro modelo é do tipo comercial (capacidade de secar 14Kg de caroços de açaí) e o segundo modelo é do tipo compacto (capacidade de secar 1,0 kg de material). Devido a praticidade do uso em laboratório, selecionou-se o modelo compacto para ser confeccionado, este protótipo é constituído por: um micro motor (com torque e frequencia regulaveis, 40W de potencia elétrica e bivolt 127/220VCA), que impulsiona um tambor rotativo (com medidas de 24cm de diâmetro por 24cm de comprimento) a velocidade de rotação de 57,6rpm, um sistema de aquecimento de ar (constituído por: câmara de confinamento de ar, módulo de aquecimento térmico e controlador de temperatura). O equipamento é autonomo para uso florestal, com um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica (configuração: uma bateria de 60Ah, um módulo fotovoltaico monocristalino de 540WP; um regulador de carga PWM de 40A e um inversor DC/CA de 1000W). Nos experimentos em laboratório, foram secados 1Kg de caroços de açaí (periodo de duas horas e quarenta e três minutos), após o termino do processo, foram obtidas as seguintes frações: 5% de fibras, 1% de particulado insolúvel do mesocarpo e 63% de endocarpo. O secador de grãos rotativo compacto é uma tecnologia versátil, que futuramente poderá ser utilizado nas pesquisas sobre biomateriais, contribuindo para sustentabilidade e a macro economia da região.

Palavras-Chave: Açaí, sustentabilidade, geração de energia fotovoltaica e bio economia

ABSTRACT

The industrial bioeconomy of açaí, a fruit native to the Amazon, produces food with antioxidant phenolic compounds and lipids. Fractions of the pulping by-product are used to generate bioenergy and are being researched as biopolymers, filler for making furniture and architectural materials. With this in mind, two rotary grain dryers were designed: the first is a commercial model (capable of drying 14 kg of açaí kernels) and the second is a compact model (capable of drying 1.0 kg of material). Due to the practicality of its use in the laboratory, the compact model was selected for manufacture. This prototype consists of: a micro motor (with adjustable torque and frequency, 40W of electrical power and bivolt 127/220VAC), which drives a rotating drum (measuring 24cm in diameter by 24cm in length) at a rotation speed of 57.6rpm, an air heating system (consisting of: air confinement chamber, thermal heating module and temperature controller). The equipment is autonomous for forestry use, with a photovoltaic electricity generation system (configuration: a 60Ah battery, a 540WP monocrystalline photovoltaic module, a 40A PWM charge regulator and a 1000W DC/AC inverter). In the laboratory experiments, 1 kg of açaí kernels were dried (for a period of two hours and forty-three minutes), after which the following fractions were obtained: 5% fiber, 1% insoluble particulate matter from the mesocarp and 63% endocarp. The compact rotary grain dryer is a versatile technology that could be used in biomaterials research in the future, contributing to the region's sustainability and macro-economy.

Key words: Açaí, sustainability, photovoltaic energy generation and bioeconomy

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Planície de inundação do municio de Cametá (data:12/07/2022) 4

Figura 2 a-Açaí fruto 5

Figura 2 b-Açaí poupa 5

Figura 3 a - Caroços acumados (bairro do una-belém-20-06-2022) 5

Figura 3 b - Caroço (laborio de compositos-ufpa-02-07-2022) 5

Figura 4 - Secagem natural de grãos 7

Figura 5 - Principais partes que constituem um secador de grãos solar 8

Figura 6 - Secador rotativo com aquecimento a gás 10

Figura 7- Secador de grãos rotativo com aquecimento resistivo 10

Figura 8-Imagem digital teste de rotação do tambor a 1800 rpm 12

Figura 9 - Diagrama de sistema hibrido de secagem de grãos em silos 13

Figura 10-Diagrama de sistema fotovoltaico on-grid. 16

Figura 11-Diagrama de sistema fotovoltaico off grid. 17

Figura 12- Diagrama geral do projeto do secador rotativo 19

Figura 13 - Tambor rotativo modelo 3d vista frontal 20

Figura 14 - Massa disposta sobre a superfície interna do tambor rotativo 21

Figura 15 - Analise das forças atuante no ponto a no tambor rotativo 22

Figura 16 - Sistema de transmissão entre as polias 1 e 2 24

Figura 17 - Circulação de ar quente no secador rotativo compacto 26

Figura 18 - Circulação de ar quente secador rotativo convencional a gás 27

Figura 19a - Tambor rotativo 3d com medidas 47

Figura 19b - Tambor rotativo fabricado 47

Figura 20 - Tela de aço inox reforçada 48

Figura 21 - Deslocamento dos resíduos sólidos no interior do tambor rotativo 49

Figura 22 - Tambor aberto rotativo sustentado em dois eixos de aço de ½” polegadas 49

Figura 23 - Projeto 3d do tambor rotativo 50

Figura 24 - Tambor rotativo 50

Figura 25 - Tambor rotativo com resíduo orgânico 50

Figura 26 - Leitura com tacômetro digital 50

Figura 27 - Imagem digital típica obtida do teste de rotação do tambor a 1800 rpm. 51
Figura 28 - Polia do tambor de diâmetro de 11cm do motor diâmetro de 10cm 52
Figura 29 - Especificação do micro motor elétrico monofásico CA 53
Figura 30 - Micro motor elétrico CA 127/220 v 53
Figura 31 - Controlador de velocidade 54
Figura 32 - Diagrama do controlador de velocidade de micromotores CA 54
Figura 33 - Tacômetro digital 54
Figura 34 - Câmara de aquecimento, deslocamento do fluxo de ar. 56
Figura 35 - Projeto 3d do módulo aquecimento de ar vista frontal 57
Figura 36 - Projeto 3d do módulo de aquecimento de ar. vista posterior 57
Figura 37 - Módulo de aquecimento de ar. visão frontal 58
Figura 38 - Módulo de aquecimento de ar. visão posterior 58
Figura 39 - Resistor fabricado montado em aletas de alumínio 59
Figura 40 - Resistor aletado fixado na parede da câmara de confinamento de ar quente 59
Figura 41 - Resistor aletado preso ao conector de porcelana 59
Figura 42 - Câmara de aquecimento de ar e a área útil dos ventiladores 60
Figura 43 - Ventilador metálico de 8x8x3,4 cm 61
Figura 44 - Abertura de entrada de ar estreitada pelos ventiladores 61
Figura 45 - Aumento da abertura de entrada de ar 61
Figura 46 - Caixa de acrílico de proteção dos ventiladores metálicos 62
Figura 47 - Exaustor ou fuga de ar quente 62
Figura 48 - Exaustor modelo 3d 62
Figura 49 - Isolante térmico com capacidade de isolamento de até 180°C 63
Figura 50 - Controlador de temperatura 63
Figura 51 - Sensor de temperatura 63
Figura 52 - Esquema de ligação do controlador de temperatura em 127 VAC 64
Figura 53 - Projeto 3d da lamina isoladora térmica 65
Figura 54 - Lamina isoladora térmica fabricada em chapa de metal 65
Figura 55 - Projeto 3d da gaveta seletora e a peneira de pré-seleção 65

Figura 56 - Montagem da gaveta seletora, cortando a chapa de metal 66
Figura 57 - Montagem gaveta seletora, chapa de metal cortada 66
Figura 58 - Peneira pré-seletora feita de chapa de metal e tela de aço reforçada 66
Figura 59 - Estrutura de sustentação concepção designer 3d. 67
Figura 60 - Estrutura de sustentação montagem em aço inox 67
Figura 61 - Porta de acesso do secador rotativo compacto designer 3d. 67
Figura 62 - Porta de acesso do secador rotativo compacto em aço inox 67
Figura 63 - Materiais utilizados na fabricação da porta de acesso do secador rotativo. 68
Figura 64 - Apoios de metal para sustentação da porta de acesso. 68
Figura 65 - Trava de metal para bloqueio da porta de acesso 68
Figura 66 - Concepção designer 3d do secador rotativo compacto. 69
Figura 67 - Secador rotativo compacto montado em aço inox, metal e acrílico. 69
Figura 68 - Compartimento do banco de baterias do sistema fotovoltaico 70
Figura 69 - Disjuntor monopolar din 10 a curva c 70
Figura 70 - Disjuntor bipolar din 20a curva c 70
Figura 71 - DPs- dispositivo de proteção contra surtos. Slim classe II 275V e 45KA 71
Figura 72 - Conector paralelo para cabos de 4mm² 72
Figura 73 - Esquema ligação do circuito elétrico do secador rotativo 72
Figura 74 - painel 1 componentes de proteção, comando, monitoramento e controle 73
Figura 75 - Arranjo do banco de baterias de 60 A.h 75
Figura 76 - Módulo de silício policristalino 76
Figura 77 - Módulo de silício monocristalino 76
Figura 78 - Fixação do módulo fotovoltaico no telhado do prédio do laboratório 78
Figura 79 - Utilização de uma bússola digital na técnica norte sul de fixação de módulos 79
Figura 80 - Medição e leitura da tensão de saída do módulo PV do projeto 79
Figura 81 - Haste de ½'' de cobreada de aterramento 1,5 m 80
Figura 82 - Conector para haste de aterramento 80

Figura 83 - Cabo verde de 6mm² para aterramento 80
Figura 84 - Conector MC4 82
Figura 85 - Conector paralelo 82
Figura 86 - Barra de cobre 82
Figura 87 - Esquema de ligação do circuito elétrico do sistema de geração PV 82
Figura 88 - Caixa embutida individual fechada. 83
Figura 89 - Caixa embutida individual aberta. 83
Figura 90 - Painel 2- sistema de geração PV 84
Figura 91 - Esquema de ligação geral dos circuitos elétricos 85
Figura 92 - Resistores ligados em paralelo. Potência de 500W 90
Figura 93 - Pesagem dos caroços de açaí 92
Figura 94 - Caroços de açaí no interior do tambor rotativo 92
Figura 95 - Frações de fibras retiradas do secador rotativo compacto 93
Figura 96 - Ajuntamento de fibrilas originadas dos caroços de açaí. 93
Figura 97 - Particulado insolúvel do mesocarpo do açaí (borra do açaí) 93
Figura 98 - Níveis de secagem dos caroços de açaí 94
Figura 99 - Resistores ligados em série. Potência de 125W 94
Figura 100 - Pesagem dos caroços de açaí 95
Figura 101 - Leitura da pesagem dos caroços 95
Figura 102 - Caroços de açaí no interior do tambor rotativo (experimento 2) 95
Figura 103 - Frações de fibras retiradas do secador rotativo compacto 96
Figura 104 - Um resistor conectado em série com potência de 250W 96
Figura 105 - Retiradas das frações no 3° experimento após a hidratação do resíduos 97
Figura 106 - Fibras e fibrilas originadas dos caroços de açaí 98
Figura 107 - Particulado insolúvel do mesocarpo do açaí 98
Figura 108 - Endocarpo (caroços de açaí secados e desfibrados) 98
Figura 109 - Projeto 3d do secador rotativo comercial 101

LISTA DE LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Identificação dos componentes do sistema de transmissão 24

Tabela 2 - Dados específicos do sistema de aquecimento de ar 27

Tabela 3 - Potência e demanda dos componentes elétricos do secador de grãos 35

Tabela 4 - Fatores de perda de energia no sistema fotovoltaico 40

Tabela 5 - Volume e da capacidade de massa tambor rotativo 48

Tabela 6 - Variáveis do sistema de transmissão 52

Tabela - 7 Variáveis do sistema de transmissão do motor elétrico 52

Tabela - 8 Caraterísticas técnicas do motor elétrico selecionado 53

Tabela 9 - Parte 01- potência do resistor 58

Tabela 10 - Parte 02- potência do resistor 58

Tabela 11 - Parte 01- dados dos ventiladores do sistema de aquecimento de ar 60

Tabela 12 - Parte 02- dados dos ventiladores do sistema de aquecimento de ar 60

Tabela 13 - Potência elétrica dos componentes do sistema de aquecimento de ar 64

Tabela 14 - Disjuntores de proteção dos circuitos do secador rotativo 70

Tabela 15 - Descrição das bitolas do condutores dos circuitos elétricos 71

Tabela 16 - Energia elétrica corrigida em KW.h/dia ou KW.h/dias 74

Tabela 17- Informações relacionadas aos dados do banco de baterias 74

Tabela 18 - Especificação do banco de baterias 75

Tabela 19 - Especificação técnica das tecnologias dos módulos 76

Tabela 20 - Arranjos de módulos fotovoltaicos com controlador de carga PWM 77

Tabela 21 - Arranjos de módulos fotovoltaicos com controlador de carga MPPT 77

Tabela 22 - potência elétrica dos inversores com controlador de carga PWM e MPPT 77

Tabela 23 - tensão elétrica de entrada dos reguladores de carga PWM e MPPT 78

Tabela 24 - Disjuntores de proteção para sistema de geração PV 79

Tabela 25 - Componentes do sistema de aterramento 80

Tabela 26 - Descrição das bitolas do condutores do sistema de geração PV 81

Tabela 27 - Modelos de conectores e suas aplicações 81

Tabela 28 - Custo dos componentes eletroeletrônicos do secador rotativo compacto 86

Tabela 29 - Custo da mecânica, estrutura e funilaria secador rotativo compacto. 87

Tabela 30 - Custo do projeto do sistema fotovoltaico do secador rotativo compacto 88

Tabela 31 - Custo total dos projetos do secador rotativo e o sistema de geração PV 89

Tabela 32 - Comparativo dos projetos dos secadores rotativos comercial e compacto (parte 1) 101

Tabela 32 - Comparativo dos projetos dos secadores rotativos comercial e compacto (parte 2) 102

Tabela A1 - Características técnicas da descarga de baterias elétricas 188

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - 1º Experimento, fase 1. Processo de aquecimento. Tempo (min.) e Temperatura(°C) 90

Gráfico 2 - 1º Experimento, fase 2. Desligamento de 5 minutos. Processo de aquecimento. Tempo (min.) e Temperatura(°C) 91

Gráfico 3 - 1º Experimento, fase 3. Processo de aquecimento. Tempo (min.) e Temperatura(°C). 91

Gráfico 4 - 2º Experimento. Processo de aquecimento. Tempo (min.) e temperatura (°C) 95

Gráfico 5 - 3º Experimento. Processo de aquecimento. Tempo (min.) e temperatura (°C) 97

Gráfico 6 -Potências da resistência aletada em função da configuração dos Resistores 99

Gráfico 7 - Temperaturas da resistência aletada em função das configurações dos resistores 99

Gráfico 8 - Tempo de Aquecimento da resistência aletada em função das configurações dos resistores. 100

Gráfico A - Participação dos diversos tipos de silício no mercado de módulos fotovoltaicos até 2017 (Anexo A) 186

Gráfico B- Participação dos diversos tipos de silício no mercado de módulos fotovoltaicos até 2023 (ANEXO A) 186

Gráfico C - Participação na geração de energia elétrica mundial dos módulos de silício até 2023 (ANEXO A) 187

Gráfico D - Curva de profundidade de descarga de uma bateria estacionária (ANEXO A) 187

Gráfico E- Curva de tensão de circuito aberto e a descarga da bateria. (ANEXO A) 187

Gráfico F - Gráfico da Irradiação em Horas de Sol a Pico (ANEXO A) 188

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACM	Aluminium composite material (material composto de alumínio)
AoR	Ângulo cinético de repouso
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
A.h	Ampere hora
CV	Cavalo vapor
CA	Corrente alternada
DC	Direct current (corrente direta)
DPS	Dispositivos de proteção contra surtos
EPR	Borracha etileno-propileno
HSP	Horas de Sol a Pico
MPPT	Power point tracking
PCs	Computadores pessoais
PERCP	Passivated emitter and rear cell
PNG	Portable network graphic
PV	Photovoltaic (fotovoltaico)
PVT	Painéis fotovoltaicos térmicos
PWM	Pulse width modulation (modulação por frequência de impulso)
m-Si	Silício monocristalino.
p-Si	Silício policristalino.
SPDA	Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas
SKT	SketchUp (esboço, desenho)
MI	Motor de indução.
MB	Marina Bay
POP	Procedimento de operação.
SW	South West
NBR	Norma brasileira.
VAC	Tensão em corrente alternada
VCA	Electrical voltage in alternating current
VCC	Tensão em corrente contínua.

VDC	Voltage Direct Current (tensão em corrente contínua)
XLPE	Polietileno reticulado

Sumário

1 INTRODUÇÃO 1
2 OBJETIVOS 3
2.1 Objetivo geral 3
2.1.1 - Projetos eletromecânicos; 3
2.1.2 – Elaboração dos desenhos em 3d; 3
2.1.3 - Sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaicos; 3
2.2.4 - Análise de custo dos secadores rotativos; 3
2.2.5 - Determinar o payback dos sistemas fotovoltaicos; 3
2.2 Objetivos específicos 3
2.2.1 - Selecionar um modelo de secador rotativo; 3
2.2.2 - Confeccionar o secador de grãos rotativo compacto; 3
2.2.3 - Montar os circuitos elétricos de força e comando do protótipo; 3
2.2.4 - Armar o sistema de geração fotovoltaico do protótipo; 3
2.3.5 – Conectar os circuitos elétricos do protótipo e do sistema de geração PV; 3
2.2.6 - Elaborar o sistema de aterramento e interliga-lo aos circuitos elétricos; 3
2.2.7 - Executar experimentos em laboratório. 3
3 REVISÃO DE LITERATURA 4
3.1 Açaí e a euterpe oleracea mart 4
3.2 Tecnologias de secagem de grãos e sementes 7
3.2.1 Secagem natural 7
3.2.2 Secador de grãos a energia solar 8
3.2.3 Secagem de grãos por aquecimento direto 9
3.2.4 Secadores de grãos híbridos 12
3.3 Geração de energia elétrica fotovoltaica e o meio ambiente 14
4 MATERIAIS E MÉTODOS 19
4.1 Projeto eletromecânico do secador de grãos rotativo compacto 19
4.1.2 Tambor rotativo de secagem (m) 20
4.1.3 Cálculo da quantidade de massa no tambor de secagem (m) 20
4.1.4 Cálculo do torque do tambor rotativo (T) 20
4.1.5 Determinação da velocidade angular de rotação do tambor rotativo (ω) 21
4.1.6 Determinação da potência mecânica 23
4.1.7 Sistema de transmissão 24

4.1.8 Dimensionamento e seleção do motor elétrico.....25
4.1.9 Método de partida e acionamento elétrico.....25
4.1.10 Sistema de aquecimento de ar.....26
4.1.11 Dimensionamento do circuito elétrico do secador rotativo 32
4.1.12 Dispositivos de proteção do circuito elétrico.....32
4.1.13 Aterramento do circuito elétrico do protótipo 33
4.1.14 Condutores do circuito elétrico do secador rotativo.....33
4.1.15 Conectores para o circuito de elétrico do protótipo 33
4.1.16 Esquema de ligação do circuito elétrico do protótipo 34
4.1.17 Fixação dos componentes do circuito protótipo 34
4.2 Projeto do sistema de geração fotovoltaico 34
4.2.1 Dimensionamento do banco de baterias 34
4.2.2 Determinação da quantidade módulos fotovoltaicos no arranjo 39
4.2.3 Seleção do inversor.....42
4.2.4 Características construtivas dos módulos fotovoltaicos 43
4.2.5 Fixação e montagem do módulo fotovoltaico 43
4.2.6 Otmização da geração de energia elétrica dos módulos PV 43
4.2.7 Dispositivos de proteção do sistema de seração PV.....44
4.2.8 Aterramento do sistema de geração fotovoltaico 44
4.2.9 Seleção dos condutores do sistema de geração PV 44
4.2.10 Seleção dos conectores ou conexões do sistema de geração PV 45
4.2.11 Esquema de ligação do circuito do sistema de geração PV.....45
4.2.12 Fixação dos componentes do sistema de geração PV.....45
4.2.13 Elaboração do esquema geral de ligação dos circuitos elétricos 45
4.4 Analise de custo geral 45
4.5 Determinação do payback do sistema de geração PV.....46
4.6 Desenvolvimento dos experimentos 46
4.7 Projeto 3d do protótipo.....46
4.8 - Projeto do secador de grãos rotativo comercial 46
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....47
5.1 Projeto eletromecânico do secador de grãos rotativo compacto.....47
5.1.1 Tambor de rotativo 47
5.1.2 Especificação do sistema de transmissão de potência 51
5.1.3 Descrição do sistema de aquecimento de ar.....55

5.1.4 Lamina isoladora térmica 64
5.1.5 Gaveta seletora 65
5.1.6 Especificação da estrutura de sustentação 66
5.1.7 Especificação da porta de acesso do prótipo 67
5.1.8 Secador de grãos rotativo compacto montado 69
5.1.9 Especificação dos dispositivos de proteção do circuito do secador 70
5.1.10 Aterramento do circuito elétrico do secador rotativo 71
5.1.10 Especificação dos condutores do circuito elétrico do secador rotativo.....71
5.1.11 Especificação dos conectores do circuito elétrico 71
5.1.12 Esquema de ligação do circuito elétrico do protótipo 72
5.1.13 Fixação dos componentes do circuito elétrico do protótipo 72
5.2 Projeto do sistema de geração fotovoltaico 74
5.2.1 Dimensionamento e Configuração do Banco de Baterias 74
5.2.2 Especificação dos módulos fotovoltaicos, inversores e conversores 75
5.2.3 Localização, fixação e otimização de geração dos módulos PV 78
5.2.4 Dispositivos de proteção do sistema fotovoltaicos 79
5.2.5 Sistema de aterramento do protótipo 79
5.2.6 Especificação dos condutores do sistema fotovoltaico 80
5.2.7 Conetores dos cabos elétricos para o sistema fotovoltaico.....81
4.2 8 Esquema de ligação do circuito elétrico do sistema de geração PV 82
5.2.9 Fixação dos componentes do sistema de geração PV.....83
5.3 - Especificação esquema geral de ligação dos circuitos elétricos.....84
5.4 Analise de custo do geral do projeto.....85
5.4.1 Custo dos componentes eletroeletrônicos do secador comercial.....85
5.4.2 Custo do sistema de geração PV 88
5.4.3 Custo resultante do secador rotativo e o sistema de geração PV 88
5.5 Determinação do payback do sistema de geração PV do protótipo.....89
5.6 Experimentos.....89
4.6.1- 1° Experimento.....89
5.6.2 - 2° Experimento.....94
5.6.3 - 3º Experimento.....96
5.6.4 - 4º Experimento.....97
5.6.5 – Analise gráfica das variáveis do processo de secagem 98
5.7 - Projeto do secador de grãos rotativo comercial 100

5.8 - Secadores rotativo de grãos compacto versus o comercial 101
5.9 - Proposta para um futuro projeto 102
6 CONCLUSÃO 104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 105
APÊNDICE A 110
APÊNDICE B 136
ANEXO A 186

1 INTRODUÇÃO

O açaí é um fruto retirado da palmeira açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) nativa das várzeas da América Central e do Sul da Amazônia, que é cultivada no Brasil, mais precisamente da região norte [1]. A cadeia produtiva do açaí gera um grande volume de bio material que contribuem para o aumento dos rejeitos urbanos. Em busca de uma solução, existem diversas pesquisas e ações desenvolvidas para o uso inteligente das frações dos caroços de açaí, como por exemplo: o enriquecimento de alimentos [7], biomassa sustentável [8], matrizes cimentícias [9] e o biocarvão (biochar).

Na forma de contribuir para as pesquisas do uso das frações dos caroços de açaí, foram projetados dois modelos de secadores de grãos rotativos e os respectivos sistemas geração fotovoltaica. O primeiro modelo é o um secador comercial com capacidade de secagem é 14Kg de caroços de açaí, e o segundo modelo é o compacto possui a capacidade de armazenar 1Kg. Em virtude do secador de grãos compacto possui fins laboratoriais, este foi o modelo selecionado para ser confeccionado. A elaboração dos principais componentes deste protótipo, foram embasados em estudos literários e a aplicação das normas vigentes, de acordo com a descrição a seguir:

O tambor rotativo, foi especificado, considerando a qualidade das frações extraídas no processo de secagem, seguindo os critérios: ocupação de 15% do volume do tambor rotativo, sem obstáculos (eixo na transversal) e a com velocidade mínima de rotação capaz de promover uma queda livre dos caroços no direção verticalmente [34]. Para rotacionar o tambor, foi selecionado um micro motor elétrico com um controlador de frequencia.

O grande diferencial deste protótipo é a câmara de confinamento de ar (composta de módulo de aquecimento de ar e um controlador de temperatura), devido ela prioriza um processo de secagem mais homogêneo da seguinte forma: o fluxo de ar quente, se desloca da parte inferior da câmara para a parte superior, no sentido ascendente, proporcionando um deslocamento concentrado de massa de ar entre os caroços. Na etapa final deste processo o excesso de ar e umidade são expelidos por um exaustor.

Para funcionamento energético do protipo de forma autonoma, foi projetado e montado um sistema de geração fotovoltaico, obedecendo as normas vigentes, estudos literários e os critérios tecnologicos.

Na interligação dos componentes elétricos de forma segura, especificou-se os seguintes dispositivos: disjuntores, condutores elétricos, conectores, barras de conexão e o sistema de aterramento. Utilizando os critérios das correntes nominais, correntes de projeto e a norma NBR 5410.

Para fixar os dispositivos elétricos e as tecnologias de comando, controle e monitoramento foram elaborados dois painéis de ACM.

Na fase dos experimentos em laboratório, foram analisadas três variáveis; potência elétrica(Watts), tempo do processo (horas e minutos) e temperatura (graus centigrados), e as características morfológicas das frações extraídas.

O secador de grãos rotativo compacto (protótipo) é um equipamento que visa, desempenhar de forma satisfatória o processo de secagem, sem o uso de combustíveis de quaisquer natureza, sem liberar partículas e gases de efeito estufa no meio ambiente, funcionando energeticamente de forma autônoma. E assim, futuramente poderá ter seu uso como um instrumento de pesquisa, contribuindo de foram indireta para a bio economia do açaí.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar o projeto de dois modelos de secador de grãos rotativo: o primeiro é um equipamento comercial e o segundo é um modelo compacto. Elaborando os seguintes componentes:

2.1.1 - Projetos eletromecânicos;

2.1.2 – Elaboração dos desenhos em 3d;

2.1.3 - Sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaicos;

2.2.4 - Análise de custo dos secadores rotativos;

2.2.5 - Determinar o payback dos sistemas fotovoltaicos;

2.2 Objetivos específicos

2.2.1 - Selecionar um modelo de secador rotativo;

2.2.2 - Confeccionar o secador de grãos rotativo compacto;

2.2.3 - Montar os circuitos elétricos de força e comando do protótipo;

2.2.4 - Armar o sistema de geração fotovoltaico do protótipo;

2.3.5 – Conectar os circuitos elétricos do protótipo e do sistema de geração PV;

2.2.6 - Elaborar o sistema de aterramento e interliga-lo aos circuitos elétricos;

2.2.7 - Executar experimentos em laboratório.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Açaí e a euterpe oleracea mart

A palmeira *Euterpe oleracea Mart*. (Família Arecaceae), é uma espécie nativa da floresta amazônica, encontrada em áreas de terra firme e em planícies de inundação (Figura 1), principalmente no estado do Pará. A palmeira do açaí é nativa das várzeas da América Central e do Sul e é cultivada no Brasil por seus frutos, que são considerados um “superalimento”. O açaizeiro pode ser encontrado simplesmente como um componente nas florestas nativas, ou em maciços naturais, em toda a região do estuário amazônico [1].

Figura 1 - Planície de Inundação Município de Cametá-PA (12/06/2022)

Fonte: Acervo do autor (2023).

Com relação ao aspecto físico (Figura 2a e Figura 2b), o fruto do açaí é composto por são seis drupáceos esféricos e apresentam coloração preto-púrpura, no estágio maduro. Ele se destaca por seu valor nutricional; sendo rico em lipídios, proteínas, fibras e antocianinas. Além disso, desempenha importante papel socioeconômico e ambiental nas regiões produtoras. Existem estudos sobre o manejo das palmeiras de açaí, como por exemplo, os efeitos da intensidade do desbaste de estipes de açaizeiros na composição dos frutos; especificamente no estado Pará no município de Cametá na Comunidade de Manoel Raimundo, localizada de Joana Coeli. Nas parcelas de produção em várzea do estuário amazônico. O manejo do agricultor com conhecimentos empíricos em observações de áreas de açaizais vizinhas apresentou uma população de açaizal com maior número de cachos verdes devido a variação de intensidade do desbaste e a presença de espécies florestais de pequeno porte. No entanto no manejo orientado

por assistência técnica apresentou maior produtividade, com frutos de maior peso [1].

Figura 2a - Açaí fruto

Fonte: Autor (2022).

Figura 2b - Açaí poupa

Fonte: Autor (2022).

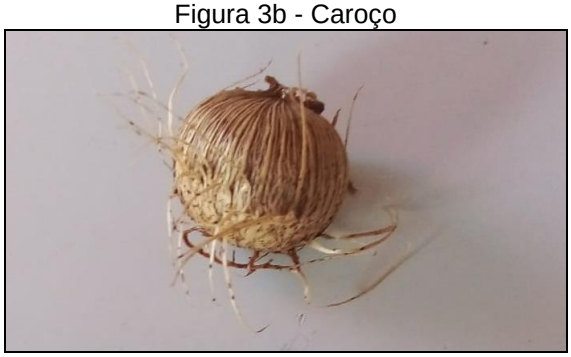
A cadeia produtiva do açaí, envolve: extrativistas, produtores, intermediários, indústrias de beneficiamento e batedores do fruto, ela é de importância crucial para a formação de renda dos produtores. O crescimento do mercado no país e no exterior estimulou o plantio fora da área de ocorrência. Em 2021, o Brasil produziu 1.485.113 toneladas de açaí, deste total, o estado do Pará é responsável por mais de 90%, correspondendo a 1.388.116 toneladas [2].

Do fruto do açaí, o produto mais comercializado, é a polpa, que representa aproximadamente apenas 15% do peso do fruto maduro, enquanto o caroço do açaí corresponde por 85% [3] (Figura 3a e Figura 3b). Este bio material é despejado junto aos rejeito urbano, o que representa um risco para o meio ambiente. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, eles devem ter uma destinação, ambientalmente, adequada através de processos de reciclagem, compostagem, recuperação, aproveitamento energético ou outras utilizações, que evitem danos ou riscos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais adversos [4].

Figura 3a - Caroços acumulados

Fonte: Autor (2022).

Figura 3b - Caroço



Fonte: Autor (2022).

Diante desse passivo ambiental é necessária uma destinação adequada, agregando valor a cadeia produtiva contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região [5]. Diversas ações e pesquisas vêm sendo desenvolvidas para tornar os resíduos do fruto do açaí uma nova fonte de ingredientes de interesse industrial, transformando em produtos com valores agregados.

Os estudo do aproveitamento dos resíduos para a produção de manose e polifenóis ainda é incerto. Porém, as tecnologias verdes, com modelos embasados na bioeconomia circular, devem aumentar os rendimentos, seletividade e pureza, que podem ser aplicados no desenvolvimento de novas indústrias. [6]

A priori os caroços de açaí podem ser considerados uma matéria-prima com potencial de fibras alimentares de interesse industrial, com seu uso nas áreas de enriquecimento de alimentos ou bioprocessos, por apresentarem um baixo teor de lipídios, as sementes de açaí, são uma alternativa para extração de óleos [7].

Este material já faz parte de um pequena parcela da matriz energética brasileira, pois já vem sendo utilizado como biomassa na geração de bioenergia. O baixo custo e a disponibilidade relativa, poderá proporcionar a ele um espaço mais significativo nos locais onde existem o uso das matérias-primas derivadas do petróleo para a geração de energia elétrica [8]. Na construção civil, este produto poderá ser uma solução quando adicionado nas matrizes cimentícias, onde é aplicado como um tipo de fibra, melhorando a durabilidade dos compostos [9].

Para fins agrícolas e ambientais existem diversos materiais que podem ser utilizados, por exemplo: o biochar, que é um produto obtido dos caroços de açaí através do processo de decomposição termoquímica por pirolise. A adição de biocarvão (biochar) pode melhorar qualidade física solo, através do aumento da macroporosidade [10]. Outra potencial aplicação é o tratamento de água e remoção de poluentes [11]. Um eco-sorvente elaborado, com aspecto hidrofóbico e morfologia macroporosa, proporciona a absorção do óleo de cozinha residual [12].

As pesquisas e ações desenvolvidas sobre o uso das frações dos caroços de açaí possuem características socioambientais, objetivando contribuir para uma economia circular, adotando ações práticas de baixo custo e gerenciamento de resíduos, cuja a meta principal é a sustentabilidade da cadeia produtiva do açaí.

3.2 Tecnologias de secagem de grãos e sementes

A secagem é uma das etapas do pré-processamento dos produtos agrícolas que tem por finalidade retirar parte da água neles contida. É definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem. A remoção da umidade deve ser feita de tal forma que o produto fique em equilíbrio com o ar do ambiente onde será armazenado, para preservar a aparência e as qualidades nutritivas dos grãos e semente. [13]. Entre os diversos produtos agrícolas que necessitam de secagem, tem-se por exemplo: o café, sereias, cacau, arroz, soja e etc. No caso em particular desta dissertação, o produto que será utilizado, serão os caroços de açaí, isto após passarem pelo processo de despolpamento do fruto.

3.2.1 Secagem natural

A secagem natural (Figura 4) é um método amplamente utilizado em regiões tropicais. Nesta técnica geralmente os grãos são espalhados em uma camada uniforme em uma superfície limpa e seca, como um celeiro ou armazém, os grãos são regularmente virados para garantir que a secagem seja uniforme.

Figura 4 - Secagem natural de grãos

Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

A secagem natural pode levar de alguns dias até várias semanas, dependendo da quantidade de grãos e das condições ambientais. Várias razões justificam a utilização desta técnica, como o desconhecimento de técnicas mais modernas e processo de fermentação de grãos que deve ser gradativo.

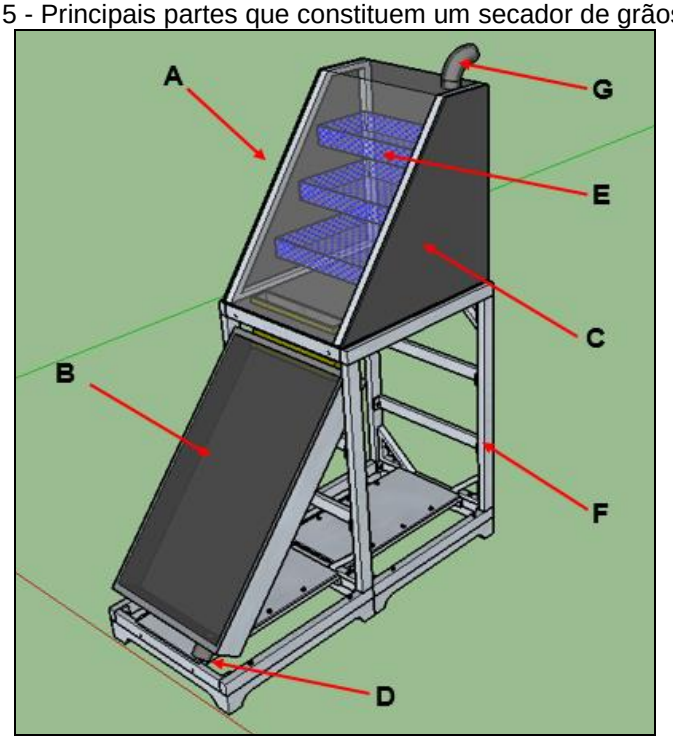
Este método tem a vantagem de ser uma técnica simples e de baixo custo, que não requer equipamentos sofisticados. Além disso, ela pode ser utilizada

em áreas onde não existe a disponibilidade de eletricidade e combustível. Existem algumas desvantagens desta técnica que devem ser ressaltadas, embora, com o passar do tempo, alcance um teor de umidade adequado para armazenagem, o produto fica sujeito ao ataque de pragas, ao tombamento de plantas e às intempéries, o que contribuem para acarretar grandes perdas e baixa qualidade do produto. [13]

3.2.2 Secador de grãos a energia solar

É o tipo de secador de grãos que utiliza a radiação dos raios solares no processo de secagem. Seu funcionamento ocorre da seguinte forma: o ar fica confinado em uma estufa de vidro localizada na parte inferior do secador(B), que é aquecido naturalmente por ação dos raios solares, o que reduz a densidade do ar, tendendo a ficar mais leve, proporcionando deste modo o deslocamento desta massa de ar para a parte superior do secador, passando assim entre os grãos, que estão armazenados em cestas (E), o excesso ar aquecido sai através do exaustor (G), concluindo assim a secagem do material, ver Figura 5.

Figura 5 - Principais partes que constituem um secador de grãos solar



Fonte: Autor (2022)

Onde:

A: Estufa de armazenamento e aquecimneto de grãos;

B: Aquecedor solar de ar;

C: Estrutura externa da Estufa de armazenamento;

D: Controle de entrada de Ar por bombeamento;

E: Cestas recepitoras de grãos;

F: Estrutura métalica de sustentação dos componentes;

G: Saida natural do excesso de ar quente;

Alguns secadores de grãos a energia solar podem apresentar uma eficiência energética de proxima 34%(trinta e quatro porcento), e através da inserção de um sistemas de ventilação aprimorado poderá atingir até 80%(oitenta porcento) de eficiencia[14], o que resultará em uma redução consideralvel do tempo de secagem e aumento na massa dos grãos secados.

No segundo estudo apresentado nesta dissertação, o secador solar apresentou alto rendimento, com uma eficiência térmica de 71% [15]. Os resultados obtidos no terceiro estudo, demonstram a viabilidade técnica e econômica do sistema integrado de secagem-armazenagem para pequenas e médias propriedades rurais. Além disso a facilidade de construção e de operacionalização viabilizam a adoção do sistema por produtores [15].

3.2.3 Secagem de grãos por aquecimento direto

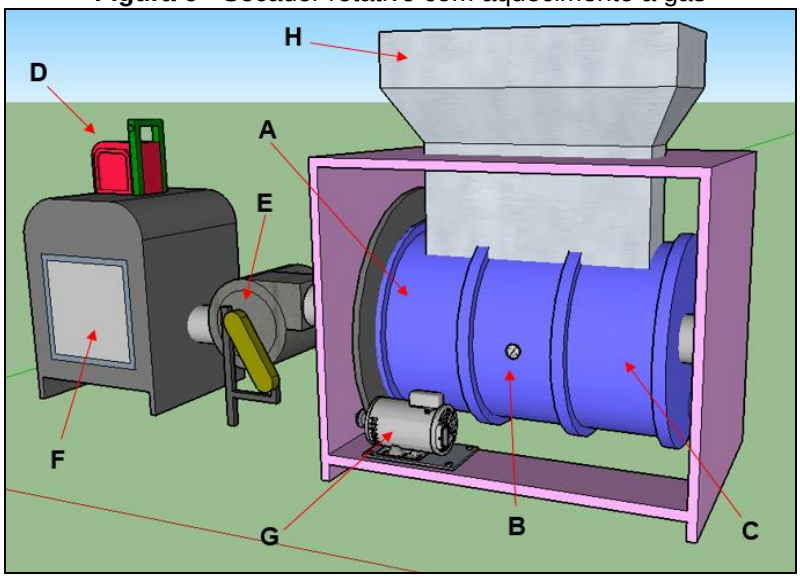
No processo de aquecimento direto, os grãos são aquecidos usando uma fonte de calor interna, como por exemplo: queimadores de gás ou eletricidade. O ar quente é então circula entre os grãos para remover a umidade. A secagem por aquecimento direto é uma técnica comum em operações menores de processamento de grãos, onde o custo e o espaço são limitados. A seguir serão descritas as principais tecnologias de secagem direta:

a) Secador rotativo a gás: É um equipamento que se destina a secar grãos por aquecimento a gás. Geralmente é utilizado no processo de secagem de cafés pré-processados. Com relação a forma construtiva os secadores a gás são composto por: Tambor que recebe os grãos através da parte superior, e após isto, ar é aquecido por uma parte denominada de aquecedor, depois ele é bombeado o interior do tambor por uma turbina, realizando o processo de secagem dos grãos [16]. Na figura 6 sãos demonstradas as principais partes deste equipamento:

Em alguns casos estes dispositivos a gás podem apresentar redução de eficiência. Para amenizar isto, um do procedimento simples que pode ser efetuado, é a regulagem ou troca do sistema de difusão de fluxo de ar.

O aprimoramento do difusor, resulta em uma melhor da difusão efetiva, aumento da temperatura do ar de secagem, reduzindo o tempo de secagem e a melhoria na qualidade de cafés, que são naturalmente processados e despolpados [16].

Figura 6 - Secador rotativo com aquecimento a gás



Fonte: Autor (2023).

Onde:

A: Difusor de movimento de distribuição de ar aquecido;

B: Medidor de temperatura e fluxo de ar;

C: Câmara cilíndrica rotativa de secagem;

D: Queimador de gás;

E: Ventilador;

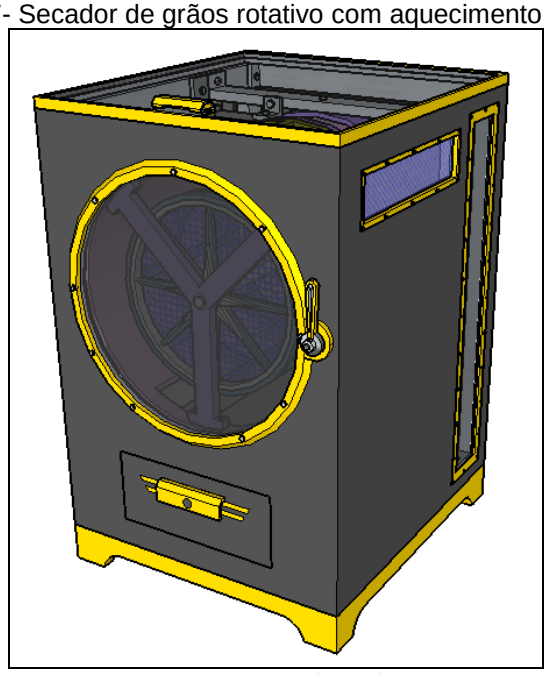
F:Aquecedor de ar;

G: Motor elétrico para mover o difusor e a câmara de secagem;

H: Carregamento do secador.

b) Secador de grãos rotativo com aquecimento resistivo: Este equipamento produz o aquecimento do ar utilizando resistores elétricos como fonte de calor. Na figura 7 é demonstrado um modelo em 3d de um secador de grãos rotativo. Este é um modelo de secador elaborado pelo autor com o intuito meramente ilustrativo.

Figura 7- Secador de grãos rotativo com aquecimento resistivo



Fonte: Autor (2023).

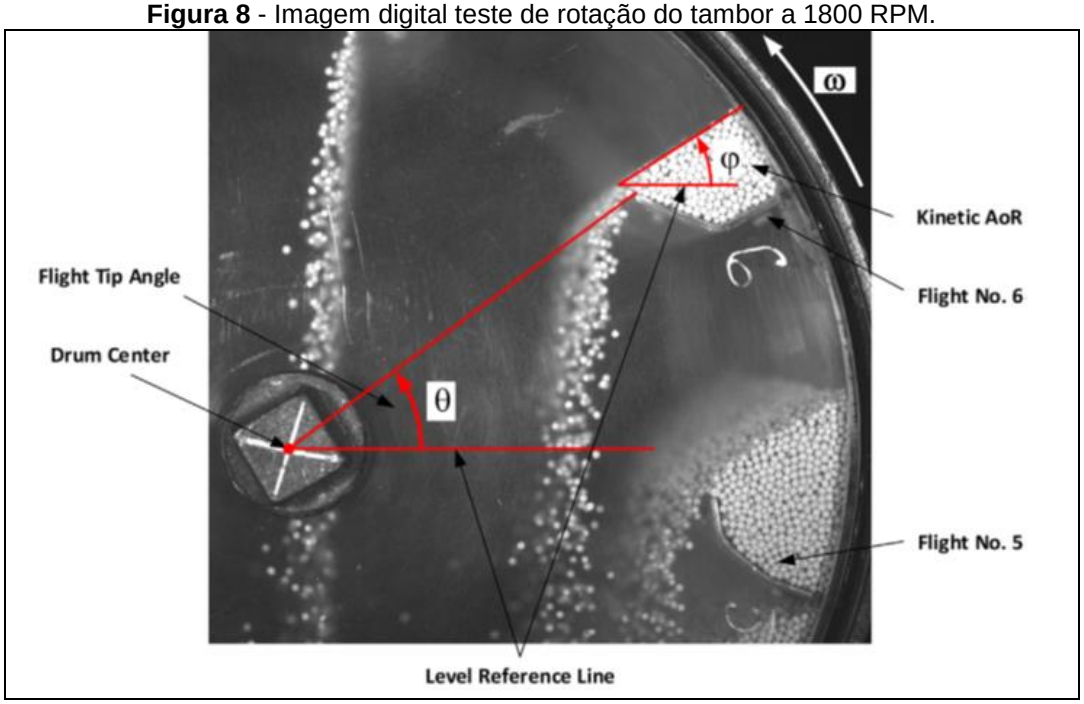
Esta tecnologia oferece várias vantagens, como por exemplo: o controle preciso da temperatura, a secagem de grãos em um ambiente fechado e controlado. No entanto, o uso de resistências elétricas como fonte de calor direta, resulta em um alto consumo de energia elétrica, para minimizar este consumo algumas ações ao longo do projeto devem ser tomadas, dentre elas: o aperfeiçoamento da câmara de secagem e a aplicação de fonte de energia renováveis.

Com relação às pesquisas para otimizar o processo de secagem destes equipamentos, elas tem como foco reformular os principais componentes, em um caso em particular, foi desenvolvido estudos experimentais e computacionais de um tambor rotativo. Um algoritmo computacional foi introduzido para prever o atraso de material no flight (pá armazenadora de partículas ou grãos) durante rotação e a validação usando dados experimentais da literatura que apresentou boa concordância [17].

De acordo com o referido experimento, constatou-se que, uma diminuição no tamanho de partícula resulta no aumento do ângulo cinético de repouso (AoR) por causa das forças de Van Der Waals, o que resulta no aumento do coeficiente de atrito. Com o aumento da velocidade de rotação do tambor acontece o aumento no AoR e também das forças inerciais [17]. Um método de cálculo foi introduzido para definir a energia de descarga do flight (Figura 8). Verificou-se que a energia de descarga pode ser utilizada como uma característica para fins de otimização do

sistema, estabelecendo as condições como número de flight e velocidade de rotação [17].

Figura 8 - Imagem digital teste de rotação do tambor a 1800 RPM.



Fonte: Adaptado de D. Portnikov, G. Ziskind and H. Kalman (2023)

Na escolha da tecnologia de secagem para este trabalho, optou-se por um secador rotativo de grãos com aquecimento resistivo, considerando vários fatores, como: o aspecto tecnológico, o volume de grãos a serem secados, o consumo de energia elétrica, o tipo de material, subproduto que se deseja obter e finalmente a relação custo-benefício.

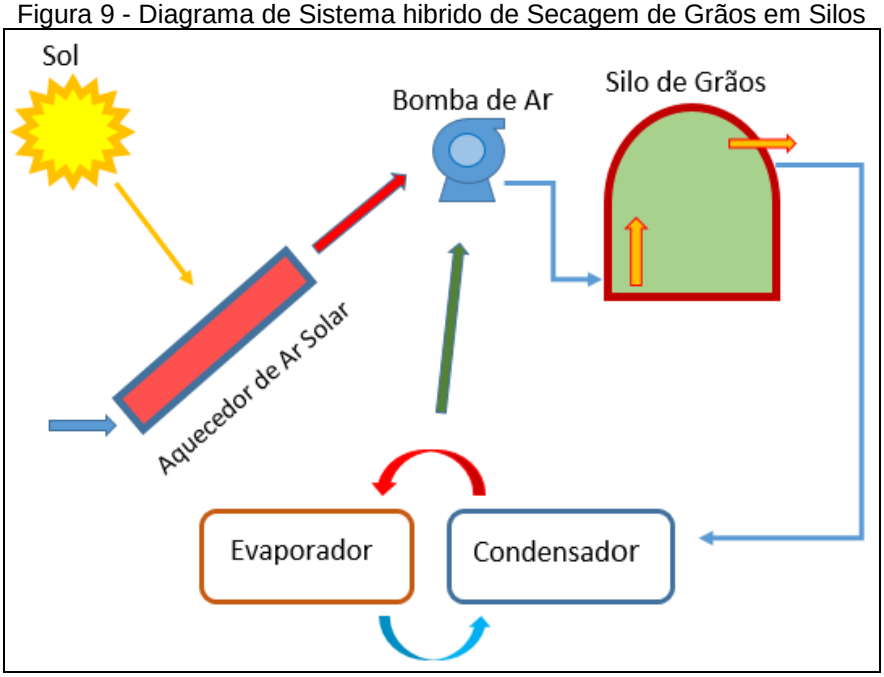
3.2.4 Secadores de grãos híbridos

Um sistema híbrido de secagem de grãos é a combinação de dois ou mais métodos de secagem de grãos, a fim de alcançar um resultado mais eficiente e de melhor qualidade no processo. Um arranjo híbrido é representado no diagrama 1 (Figura 9), onde os grãos são colocados em silos, que são locais de armazenamento de grandes volumes de grãos[18].

Em um sistema híbrido, o processo de secagem dos grãos pode acontecer da seguinte forma: durante dia o uso da energia solar e complementando, utiliza-se a secagem mecânica à noite ou em dias chuvosos. Esse sistema é amplamente utilizado na indústria agrícola de cereais, como por exemplo: o milho, trigo, arroz, entre outros.

Em uma configuração básica do seguinte sistema hibrido, para promover as condições de secagem adequada, estão presentes: uma bomba que através de um sistema de controle e monitoramento fazem a circulação do ar, o aquecimento do ar através coletor solar passa por dentro do evaporador, este último recebe o ar mais úmido proveniente do condensador, e a bomba de calor desloca o ar aquecido para o silo de grãos através de tubos de alimentação [18].

Figura 9 - Diagrama de Sistema hibrido de Secagem de Grãos em Silos



Fonte: Autor (2023).

O uso de secador de grãos hibrido, resolve as deficiências da secagem de grãos por ventilação mecânica, devido aos menores custos operacionais e menor investimento inicial, maior quantidade do grão secável e maior redução do teor de água, este é um método econômico e eficiente, que pode substituir gradualmente a secagem por ventilação mecânica e máquina de secagem de grãos em grandes industrias [18].

Outra configuração dos secadores híbridos é a combinação de um coletor solar fotovoltaico/térmico com uma unidade de secagem para melhora a taxa de extração de umidade específica e a eficiência energética [19]. Neste segundo estudo, constatou-se que a combinação de tecnologias painéis fotovoltaicos térmicos (PVT) apresentou uma melhoria significativa no desempenho do processo de secagem [19].

Após análise dos estudos das principais tecnologias de secagem de grãos, pode-se constatar, sob um aspecto geral, cada uma destas tecnologias possuem vantagens e desvantagens. Por isto, para que seja feita uma escolha mais adequada do uso de uma ou mais destas tecnologias, deve-se saber as necessidades específicas de cada usuário, considerando fatores como: tamanho da operação, disponibilidade de recursos (eletricidade e combustível), qualidade do produto final e os custos de implantação.

3.3 Geração de energia elétrica fotovoltaica e o meio ambiente

A energia é um dos principais pilares do padrão de vida da sociedade moderna, com o aumento populacional, ampliam-se os serviços para atender estas demandas, o que influencia no aumento da dependência energética. A mitigação das alterações climáticas é um dos maiores desafios enfrentados pela sociedade, e que está intimamente ligada à questão do futuro do sistema energético.

As emissões de carbono são causadas principalmente através do uso de combustíveis fosseis na produção de energia elétrica, essas emissões são responsável por diversos problemas ambientais [20].

O desenvolvimento sustentável é fundamental para o equilíbrio natural no processo de geração de energia elétrica, em vista disso, é vital fornecer energia a partir de recursos energéticos consistentes, seguros, baratos, limpos, de boa qualidade e utilizando-o eficientemente. A luz do contínuo interesse do público, para avançar na direção de economia de energia mais limpa, confiável e resiliente. Nisto há uma necessidade clara e urgente de compreender os desafios da integração dos recursos renováveis nos sistema de geração de energia elétrica [21].

Como opções de fontes de energia renováveis, existem: energia eólica, maremotriz, hidroelétricas, energia das ondas, geotérmicas, energia solar e os biocombustíveis. [22]

É perceptível que a produção de energia elétrica com uso de fontes de energias renováveis, está aumentando. Em contrapartida o uso de combustíveis fósseis estão lentamente perdendo espaço [23]. Pesquisas recentes realizadas por ambientalistas e decisores políticos apontaram para o uso de fontes de energia alternativas como uma forma de responder ao aumento das alterações climáticas. [24]

A respeito deste assunto, as nações europeias, devem aumentar o máximo possível a utilização de fontes de energia renováveis, para que as gerações futuras não sejam privadas dos recursos naturais do planeta [25].

Através da análise dos dados de um estudo das 10 principais nações europeias, entre 1975 e 2018, sobre o uso dos recursos renováveis ou não renováveis, observou-se que, as descontinuidades organizacionais são negligenciadas, resultando na incompreensão da política das fontes de energia não renovável e os recursos naturais [26].

Ao encontro de um equilíbrio entre a produção de energia elétrica, o uso dos recursos naturais e as de fontes de energias renováveis, são realizadas análises das matrizes energéticas de cada país, e assim, fazendo e projetos que resultam em uma produção de energia elétrica de forma harmoniosa. Isto pode ser notado, como por exemplo, na matriz energética elétrica brasileira, nela existe uma grande participação das usinas hidrelétricas e outras fintes de energia renováveis.

No Brasil a capacidade instalada de geração de eletricidade foi expandida em 3,9% no período entre 2020 e 2021, com a contribuição majoritária da geração por hidroelétricas [8]. Porém, a maior expansão proporcional ocorreu na geração de energia com sistemas fotovoltaicos, fechando o ano de 2021 com um aumento na potência instalada de 40,9% em relação ao ano anterior, resultado maior em 33% do que de 2019 para 2020. No que se diz respeito a eletricidade gerada, no ano de 2021 foram produzidos 656 TWh, correspondendo a um crescimento de 5,6% entre 2020 e 2021 [27].

A tecnologia de geração de energia elétrica fotovoltaica é um dos principais vetores para a descarbonização da geração de energia elétrica [28]. E além disso contribuem consideravelmente na produção energia elétrica no mercado mundial [29].

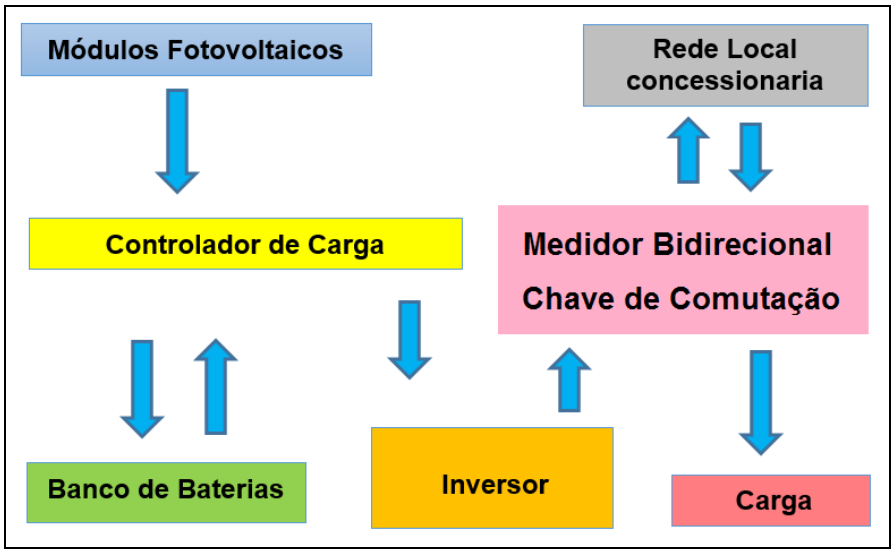
O setor de transmissão energia brasileiro vem passando por uma transformação, de um modelo de sistemas isolados, para o modelo de geração de armazenamento distribuído. Em vários países, já existem leis que permitem aos consumidores ligarem os seus sistemas fotovoltaicos a rede de distribuição, tais como a lei brasileira 14.300, 6 de Janeiro de 2022 [30]. Na prática quando os sistemas são interligados, eles se tornam sistemas híbridos.

Os sistemas híbridos alimentados por recursos de energia renovável são uma alternativa para a redução das emissões de dióxido de carbono. Por isso os

sistemas integrados que utilizam a energia solar estão se tornando mais difundidos no mundo em comparação com outras fontes de energias [31].

A integração entre os sistemas de geração de energia com uso de fontes de energia renováveis é um método muito bom para equacionar os desequilíbrios energéticos nos horários de pico ou quando o sol não é suficientemente, ou seja, em dias nublados, é nesta situação que a melhor opção para o usuário é um sistema de geração fotovoltaico (PV) on grid, de acordo com o diagrama da figura 10 este sistema é composto basicamente por: módulos fotovoltaicos (converte a energia solar em energia elétrica), controlador de carga (realizar o carregamento do banco de baterias e redistribuir para inversor), banco de baterias (armazena a energia produzida pelos módulos fotovoltaico através de processos químicos), inversor de onda pura DC/AC (converte a tensão elétrica em corrente continua de 12V ou 24V do banco de baterias para uma tensões elétricas de 127V ou 220V em corrente alternada), medidor de energia bidirecional (mede o consumo e a produção energia elétrica do cliente), chave de comutação (controla o recebimento da energia elétrica fornecida pela concessionária e o sistema fotovoltaico, ou seja; em baixa produção de energia elétrica nos módulos do cliente, a chave comutadora aciona o fornecimento da elétrica de baixa tensão da concessionária), carga (são todos os dispositivos eletroeletrônicos do cliente capaz de consumir energia elétrica) e o fornecimento da concessionária (é o ramal de entrada do domicilio do cliente onde são conectados os cabos da rede elétrica em tensão CA).

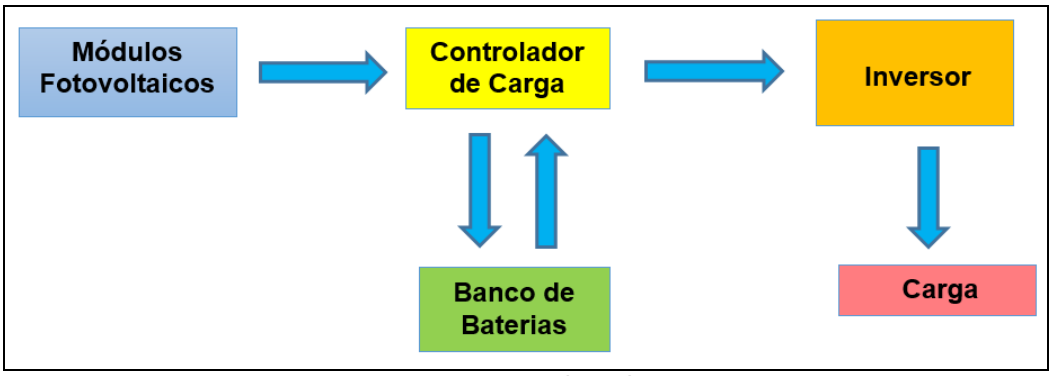
Figura 10 - Diagrama de sistema fotovoltaico on-grid



Fonte: Autor (2023).

A grande vantagem do sistema de geração PV on grid, é a capacidade de fornecer energia elétrica na baixa produção do usuário, e nas condição de produção elevada do seu sistema PV, o excedente é vendido, gerando um bônus que pode ser abatidos na tarifa mensal. Caso o usuário deseje ser autônomo energeticamente, a opção é mais vantajosa é montagem da configuração off grid (sem conexão com rede elétrica). Geralmente este tipo de sistema de geração PV é utilizado em locais isolados ou em equipamentos autônomos (ver Figura 11).

Figura 11 - Diagrama de sistema fotovoltaico off grid.



Fonte: Autor (2023).

De acordo com o diagrama da figura 11 o sistema *off grid* se diferencia em relação ao sistema *on grid* por não possuir; medidor de energia elétrica bidirecional, chave comutadora automática e ramal de alimentação da concessionária.

Em um estudo especifico de um equipamento de irrigação alimentado por um sistema geração de energia fotovoltaica *off grid*, observou-se que os custos são crescentes em função do aumento de potência. No entanto, ao longo de um período, o custo da energia é nivelado, de acordo com a análise de sensibilidade da geração da potência, este sistema fotovoltaico comprovou ser rentável mesmo diante das variação dos preços dos produtos [32].

Visando a independência energética, do projeto deste trabalho, optou-se por elaborar dois projetos de geração energia fotovoltaica com a configuração *off grid*.

Para verificar a viabilidade econômica do sistema de geração PV deste projeto será determinando o valor do seu *payback*. Na prática ele representa o tempo em que o cliente terá o retorno do valor investido no projeto.

Com relação escolha dos módulos PV ela é realizada de acordado com as tecnologias de maior rendimento no processo de conversão de energia solar em energia elétrica, custo de aquisição e montagem. Dentre as tecnologias de fabricação dos módulos fotovoltaicos, as duas mais difundidas são: as células de silício policristalina e monocristalina.

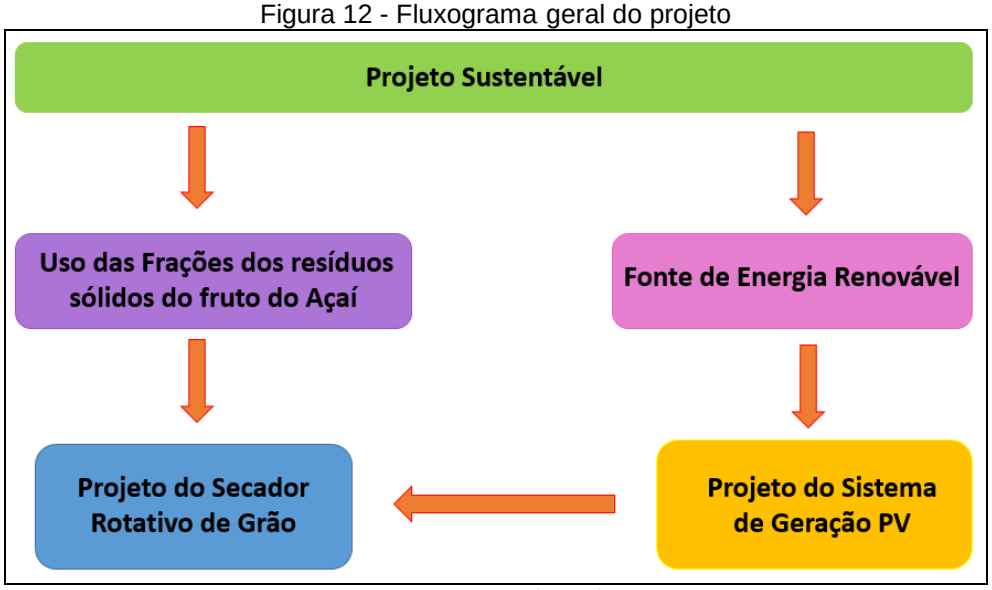
Até o ano de 2018 os módulos de silício policristalino tinham uma produção similar à produção dos módulos de silício monocristalino, porém em meados do ano de 2019, este cenário sofreu grandes mudanças, neste período os módulos monocristalinos passaram a ocupar o primeiro lugar em vendas no mercado mundial, isto se deve principalmente a redução do custo de aquisição, que foi originado pela redução valor de produção, através dos avanços das técnicas de fabricação dos módulos monocristalinos, neste caso especifico, as técnicas de produção de *wafers* mais finos por serragem e a produção de células passivas de alta eficiência, que são conhecidas como células de *PERC* (*passivated emitter and rear cell*) [33].

Os gráficos A, B e C presentes no Anexo A, demonstram as mudanças no cenário mundial do mercado de módulos fotovoltaicos, a partir do ano 2017. No ano de 2023 as previsões apontam que a produção de módulos monocristalinos acima de 84% do mercado mundial em 2023 [33].

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram elaborado e executados os projetos eletromecânicos e os sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaico de um secador de grãos rotativo compacto, com a função de extrair as frações dos caroços de açaí através do processo de aquecimento térmico controlado, funcionando de forma autônoma energeticamente, sem a produção de gases de efeito estufa e sem o lançamento partículas no ar. Com a finalidade de contribuir de forma sustentável nas pesquisas dos subproduto de biomateriais oriundos do fruto do açaí, isto pode ser observado no fluxograma abaixo (ver figura 12).

Figura 12 - Fluxograma geral do projeto



Fonte: Autor (2023).

4.1 Projeto eletromecânico do secador de grãos rotativo compacto

O projeto eletromecânico do protótipo, foi desenvolvido através dos conhecimentos adquiridos na literatura e na norma brasileira de instalações elétricas em baixa tensão (NBR 5410), dimensionando e especificando cada um dos componentes do protótipo:

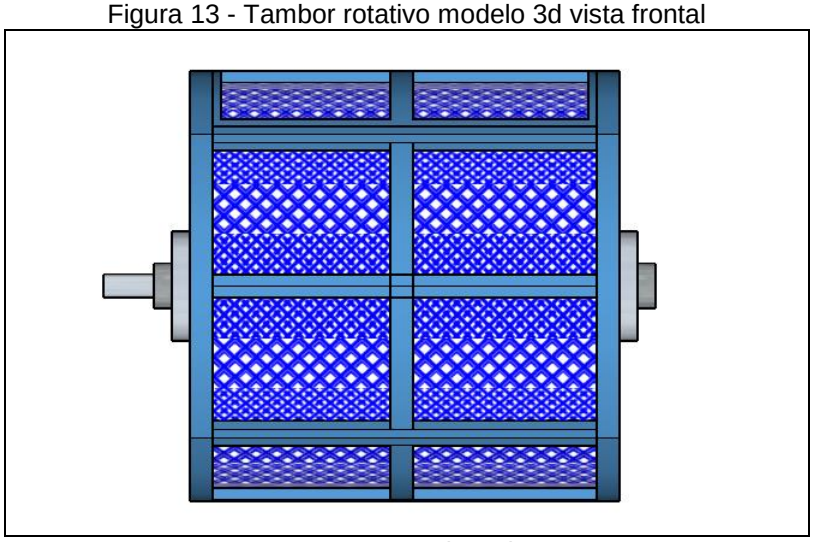
- Tambor rotativo;
- Sistema de transmissão;
- Dispositivos elétricos e eletrônicos;
- Câmara de aquecimento de ar,
- Módulo de aquecimento de ar;
- Condutores elétricos;
- Dispositivos de proteção.

Na metodologia estão descritos o embasamento teórico e o equacionamento para determinar e especificar os componentes deste projeto, porém os cálculos estão contidos no Apêndice A.

4.1.2 Tambor rotativo de secagem (m)

O tambor rotativo (Figura 13) é o compartimento responsável por secar e separar as frações do caroço de açaí, é onde ficam armazenados os resíduos orgânicos para o processo de secagem.

Figura 13 - Tambor rotativo modelo 3d vista frontal



Fonte: Autor (2023).

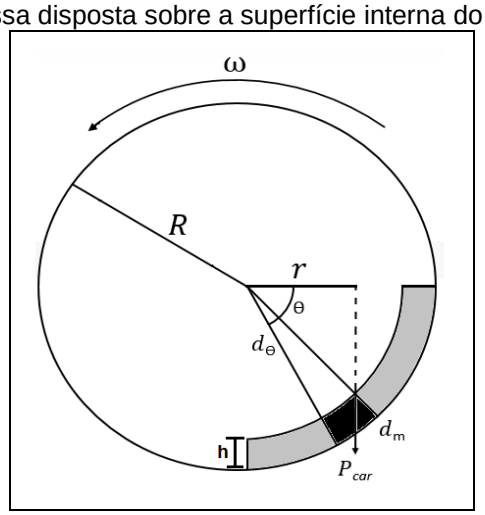
4.1.3 Cálculo da quantidade de massa no tambor de secagem (m)

A determinação da quantidade de massa no interior do tambor rotativo é especificada considerando as dimensões (comprimento e diâmetro) e ocupação de no máximo de 15% (quinze por cento) do volume interno do tambor. Para que quantidade do produto elevada não afete na circulação do ar quente, prejudicando assim a retirada da umidade dos caroços de açaí [34].

4.1.4 Cálculo do torque do tambor rotativo (T)

Para determinar o torque considera-se que a massa distribuída na superfície interna do tambor rotativo (figura 14), o torque é a somatória das variações do torque dT exercida por cada fração de massa d_m, como mostra a equação 1 onde o P_{car} é peso do caroço e o r é o braço de alavanca para cada variação do ângulo $d\theta$, desenvolvendo-a obtém-se a equação 2, que será utilizada para encontrar o valor do torque.

Figura 14 - Massa disposta sobre a superfície interna do tambor rotativo



Fonte: Autor (2023).

$$\therefore dT = P_{car} \times r$$
$$\therefore dT = g \times d_{apt} \times R^2 \times L \times h \times \cos\ \theta\ d\theta$$
$$\therefore dT = \frac{2 \times m}{\pi} g \times R \times \cos\ \theta\ d\theta \qquad (01)$$
$$\therefore dT = \int_{\theta=0}^{\theta=-2\pi} \frac{2 \times m}{\pi} g \times R \times \cos\ \theta\ d\theta$$
$$\therefore dT = \frac{2 \times m}{\pi} g \times R$$

$$\therefore T = -\frac{2 \times m}{\pi} g \times R \qquad (02)$$

Onde:

g: Aceleração da gravidade (m/s²);

D_{apt}: Densidade aparente;

m: Massa total do caroço;

h: Altura da camada de caroços;

R: Raio do cesto;

L: Comprimento do tambor.

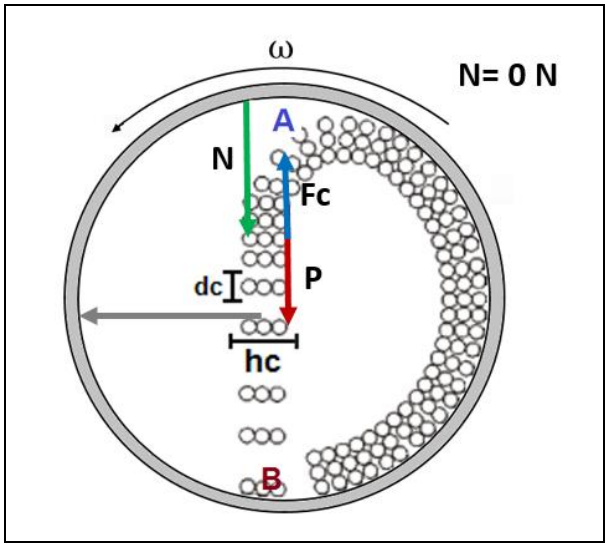
4.1.5 Determinação da velocidade angular de rotação do tambor rotativo (ω)

A separação das fibras de açaí do caroço é realizada regulando a velocidade de rotação do tambor rotativo. Isto é necessário para que caroços de

açaí no processo de cisalhamento ou atrito promova o desfibramento de forma uniforma. Os métodos adotados para fazê-lo, foram os seguintes:

Utilizando o estudo do movimento circular uniforme (MCU) é possível determinar a velocidade mínima para que aconteça a queda vertical dos caroços de açaí. De acordo com a figura 15 no ponto A, existem forças vetoriais que atuam da seguinte forma, a força peso no sentido para o baixo, já a reação Normal(N) é igual a zero Neuton, no sentido oposto a força peso, existe a atuação é a centrífuga, desta forma, tem-se a força peso igual a força centrífuga, esta relação pode ser observada pela equação 03.

Figura 15- Analise das forças atuante no ponto A no tambor rotativo



Fonte:(Ajustar a Bibliografia)

$$\therefore Fc = P + FN \qquad (03)$$

Onde:

Fc: Força centrifuga em N;

P: Força peso em N;

FN: Força normal em N.

Fazendo análise das forças vetoriais atuantes no Ponto A, e desenvolvendo a equação 03, obtém-se a velocidade mínima de rotação do tambor através da equação 04.

$$\therefore Fc = P + FN \Rightarrow Como\ FN = 0\,N,\ Tem - se:$$
$$\therefore Fc = P \Rightarrow Desencolvendo \Rightarrow \frac{m.V^2_{(minima)}}{r} = m.g \qquad (04)$$
$$\therefore Isolando\ o\ V_{(minima)} \Rightarrow Tem - se, V_{(minima)} = \sqrt{g\,.\,r}$$

Onde:

$V_{(mínima)}$: Velocidade mínima de rotação do tambor em metros por segundo (m/s);

g: Aceleração da gravidade em metros por segundo ao quadrado (m/s²);

r: O raio do tambor rotativo em metros (m).

Para converter a velocidade de metros por segundo (m/s) para radianos por segundo (rad/s), utiliza-se a equação 05.

$$\therefore \omega_{ang} = \frac{V}{r} \qquad (05)$$

Onde:

ω_{ang}: Velocidade angular em radiano por segundo (rad/s);

V: Velocidade linear em metros por segundo (m/s);

r: raio do tambor rotativo.

O valor da velocidade angular é determinado através da equação 6.

$$\therefore\ \omega_{ang} = 2 \times \pi \times f \qquad (06)$$

Onde:

ω_{ang}: Velocidade angular em rad/s;

f: Frequência em ciclos/s ou Hertz.

A outra forma para determinar a velocidade mínima de rotação do tambor rotativo, é regulando-a, com o auxílio de um tacômetro digital. Aumentando a energia potencial gradualmente, até elevar o material à máxima altura, e assim produzindo a queda livre deste material no formato de uma cortina.

4.1.6 Determinação da potência mecânica

Após ter sido obtido o valor do torque e a velocidade angular, utiliza-se a equação 7 para determinar a potência mecânica exigida do motor elétrico.

$$\therefore P_m = T \times \omega_{ang} \quad (07)$$

Onde:

P_m: Potência mecânica;

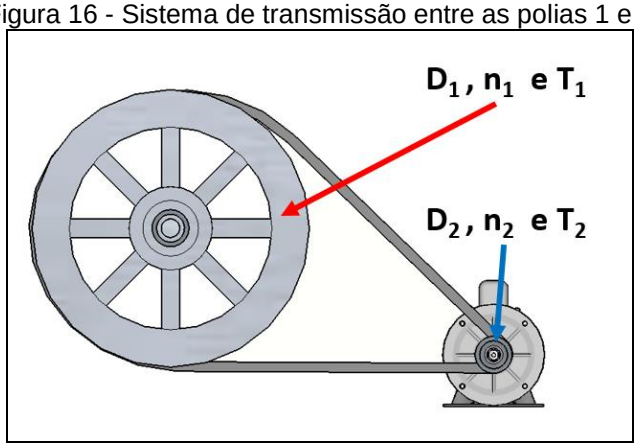
T: Torque em N.m;

ω_{ang}: Velocidade angular em rad/s

4.1.7 Sistema de transmissão

Devido o protótipo ser um tecnologia compacta, o sistema de transmissão foi montado com apenas duas polias e uma correia, cuja rotação é regulada por um controlador de velocidade (figura 16). A Identificação e especificação dos componentes do sistema de transmissão é demonstrada na tabela 1.

Figura 16 - Sistema de transmissão entre as polias 1 e 2



Fonte: Autor (2023).

Tabela 1-Identificação dos componentes do Sistema de transmissão.

Identificação	Descrição	Unidade
D1	Diâmetro da polia 1	m
D2	Diâmetro da polia 2	m
n1	Frequência da polia 1	rpm
n2	Frequência da polia 2	rpm
T1	Torque da polia 1	N.m
T2	Torque da polia 2	N.m

Fonte: Autor (2023).

Utilizando as equações 08 e 09 e os dados da tabela determina-se o torque e frequência necessário para a seleção do tipo motor elétrico.

Onde:

Cálculo do Torque na polia 2.

$$\therefore \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta_1 \times T_1 = \eta_2 \times T_2 \Rightarrow T_2 = \frac{\eta_1 \times T_1}{\eta_2} \qquad (08)$$

Calculando a frequência na polia 2.

$$\therefore \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta_1 \times T_1 = \eta_2 \times T_2 \Rightarrow \eta_2 = \frac{\eta_1 \times T_1}{T_2} \qquad (09)$$

4.1.8 Dimensionamento e seleção do motor elétrico.

Para a escolha do motor elétrico foram calculadas as variáveis do sistema de transmissão, como: torque, frequência de rotação e potência. Aplicando a equação 10 é determinada a potência elétrica do motor em Watts.

$$\therefore P_{(motor)} = \frac{P_M}{\eta_{\%}} \qquad (10)$$

Onde:

P_m: Potência mecânica em Watts(W);

$P_{(M)}$: Potência do motor elétrico em Watts(W);

$\eta_{(\%)}$: Rendimento do motor em porcentagem (%).

Além das variáveis mecânicas existem outras características técnicas que devem ser levadas em conta na escolha motor elétrico, sãos elas: funcionamento do motor em tensão alternada, ser bifásico, baixo consumo de energia elétrica.

4.1.9 Método de partida e acionamento elétrico

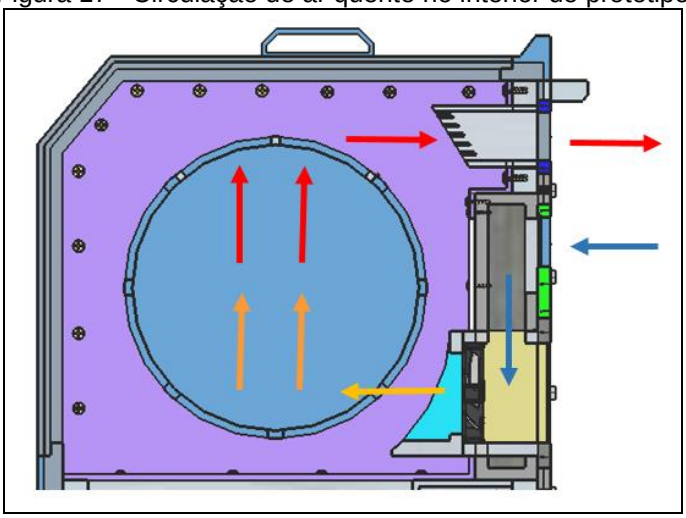
Um micro controlador foi o dispositivo selecionado para realizar o ajuste de velocidade de rotação e torque na saída do eixo do micro motor elétrico CA, pois ele é uma tecnologia de automação industrial que possui esta funcionalidade.

4.1.10 Sistema de aquecimento de ar

No projeto do sistema de aquecimento de ar deste protótipo, buscou-se desenvolver uma tecnologia que possa realizar a secagem de grãos de modo eficiente. Por isso todas as especificações dos componentes foram obtidas por cálculos de engenharia elétrica, mecânica, física e o estudo literário. Este sistema de secagem de grãos é composto por: câmara de confinamento, módulo de aquecimento de ar e um controlador de temperatura.

Objetivando secar os grãos de forma eficiente energeticamente, projetou-se a câmara de confinamento, cujo o fluxo de ar se deslocaria da seguinte forma: a entrada de ar através da parte posterior superior do equipamento, em seguida a injeção de ar quente da parte inferior para a parte superior interna no sentido ascendente, através da propulsão de ar por ventiladores metálicos, e finalmente o excesso de ar quente e humidade serão expurgados através do exaustor. Este processo pode ser observado na figura 17.

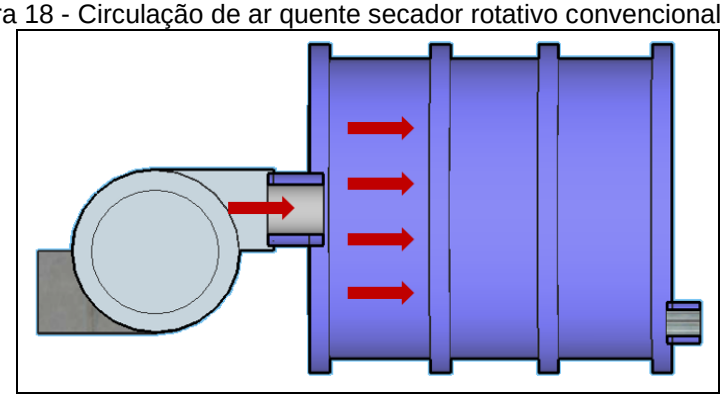
Figura 17 - Circulação de ar quente no interior do protótipo



Fonte: Autor (2023).

Em um breve comparativo no processo de secagem entre as duas tecnologias; o secador rotativo a gás e o secador rotativo resistivo, é observado na figura 18, que o deslocamento do fluxo de ar quente no secador rotativo a gás é na direção axial ou longitudinal.

Figura 18 - Circulação de ar quente secador rotativo convencional a gás



Fonte: Autor (2023).

Para que a atuação do modulo de aquecimento térmico fosse mais efetivo, ele foi constituído por 3(três) partes: o resistor ou resistência elétrica montado em aletas de alumínio, a estrutura em chapa de metal (para capitação e pré confinamento do ar) e ventiladores metálicos.

Para determinar a potência elétrica do resistor (resistência aletada), é necessário conhecer os seguintes parâmetros: a quantidade de massa, as dimensões da câmara de confinamento de ar, o coeficiente de calor específico do material, o coeficiente de condução térmica do ar, a variação de temperatura do protótipo, tempo de aquecimento (Tabela 2) e as perdas de energia ou potência na transferência térmica do ar.

Tabela 2 - Dados específicos do sistema de aquecimento

Informações Técnicas do Projeto	**Quantidade**	**Unidades**	**Fonte**
Massa de resíduo solido	1,07	Kg	Autor
Largura da câmara de secagem	30	Cm	Autor
Profundidade da câmara de secagem	30	Cm	Autor
Altura da câmara de secagem	35	Cm	Autor
Distância média do resistor até material	10	Cm	Autor
Calor especifico do caroço de açaí	1,82	kJ/kgºC	
Coeficiente de transferência térmica do ar	0,026	W.m-1.K-1	
Temperatura inicial do processo	25	ºC	
Temperatura final do processo	70	ºC	
Tempo do processo de secagem	2,5	Horas	Autor

Fonte: Autor (2023).

Através da equação 11 é obtida a quantidade de energia térmica em Joule(J) utilizada no processo de secagem.

$$\therefore Q = m \times C \times \Delta T \tag{11}$$

Onde:

Q: Quantidade de calor em cal ou joule(J);

m: Massa em Kg;

ΔT: Variação de temperatura em graus Celsius °C

Já as perdas de potência por transferência térmica no ar pode ser obtida utilizando a equação 12.

$$\therefore P_{(perdas-ar)} = \frac{K \times A \times 100 \times \Delta T}{d_m} \tag{12}$$

Onde:

$P_{(perdas\ ar)}$: Perdas de transferência de energia no ar em Joule(J);

K: Condutividade térmica do material em W/m.K;

ΔT: Variação de temperatura em graus Celsius °C;

d_m: Distância da fonte de aquecimento ao material a ser secado em metros (m).

Através de estudos literários, sabe-se que o valor da eficiência média de um resistor no processo de aquecimento é de 80%(oitenta porcento), devido as perdas na transferência térmica, aplicando a equação 13 determina-se a quantidade de energia térmica corrigida:

$$\therefore Qn_{\%} = \frac{Q}{T \times eficiência} \tag{13}$$

$Q_{n\%}$: Quantidade de calor ou energia corrigida em W;

Q: Quantidade de calor em W;

T: Tempo em horas.

Finalmente obtém-se o valor da potência elétrica do resistor, aplicando os resultados obtidos das equações 12 e 13 na equação 14:

$$\therefore\ P_r = Q_{\eta\%} + \left(P_{Perdas_{(\ ar)}}\right) \tag{14}$$

Após obter-se o valor da potência do resistor, foi elaborado um componente com as características especificas para sistema de aquecimento deste protótipo, utilizando os seguintes dados: as dimensões internas do secador, potência elétrica mínima e o fluxo ar uniforme da fonte calor. Ele foi montando em aletas de alumínio com duas unidades de resistores com potência de 250 W cada uma. Em seguida determinou-se a resistência elétrica de cada um dos resistores considerando a tensão elétrica monofásica de 127V (usar a equação 15), para posteriormente calcular o valor da potência elétrica de cada configuração.

$$\therefore\ R_1 = \frac{U^2}{P_{R1}} \Rightarrow R = R_1 = R_2 \tag{15}$$

Onde:

R_1: Resistencia elétrica do resistor 1 em ohms (Ω);

R_2: Resistencia elétrica do resistor 2 em ohms (Ω);

U: Tensão elétrica em Volts(V);

P_{R1}: Potência elétrica do resistor 1 em Watts(W)

De posse do valor da resistência de cada um dos resistores, o próximo passo é determinar os valore das resistências equivalentes das associações em série e em paralelo aplicando as equações 16 e 17.

Determinando o valor da resistência equivalente em série.

$$\therefore\ R_{eq1} = R_1 + R_2 \tag{16}$$

Onde:

R_{eq1}: Resistencia equivalente 1 em ohms (Ω);

R_1: Resistencia elétrica do resistor 1 em ohms (Ω);

R_2: Resistencia elétrica do resistor 2 em ohms (Ω);

Determinando o valor da resistência equivalente em paralelo.

$$\therefore\ R_{eq2} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \tag{17}$$

Onde:

R_{eq2}: Resistencia equivalente 2 em ohms (Ω);

R_1: Resistencia elétrica do resistor 1 em ohms (Ω);

R_2: Resistencia elétrica do resistor 2 em ohms (Ω);

Por último define-se as potências elétricas em Watts de cada uma das associações, a fim de selecionar a configuração que apresente a maior potência elétrica de dissipação térmica. Calculando a potência elétrica para a associação de resistores em série. Tem-se equação 18.

$$\therefore\ P_{Req1} = \frac{U^2}{R_{eq1}} \tag{18}$$

Onde:

P_{req1}: Potência elétrica da associação de resistores 1 em Watts (W);

R_{eq1}: Resistencia equivalente 1 em ohms (Ω);

U: Tensão elétrica em Volts(V).

Calculando o valor da potência elétrica para a associação de resistores em paralelo (equação 19).

$$\therefore\ P_{Req2} = \frac{U^2}{R_{eq2}} \tag{19}$$

Onde:

P_{req2}: Potência elétrica da associação de resistores 2 em Watts (W);

R_{eq2}: Resistencia equivalente 2 em ohms (Ω);

U: Tensão elétrica em Volts(V).

O segundo componente a ser dimensionado é sistema de ventilação forçado de ar, neste caso, os ventiladores. Que foram especificados considerando as seguintes variáveis: a densidade do ar, o calor específico do ar, a potência elétrica do resistor. Inicialmente através da equação 20 é calcula-se a vazão mássica do ar.

$$\therefore\ Q = m \times C_p \times \Delta T \qquad 20$$

Calculando a variação de temperatura do ar através da equação 21, onde de entrada (Ti) é a temperatura inicial ou ambiente, e temperatura final (Tf) é a temperatura final ou máxima para que o processo de secagem ocorra sem descaracterizar o material o tipo de produto obtido.

$$\therefore \Delta T = T_f - T_i \qquad (21)$$

A vazão mássica ou massa de ar a ser aquecida é determinada na equação 22 isolando a variável da equação 20.

$$\begin{aligned} &\therefore\ Q\ ou\ P_r = m_{araq} \times C \times \Delta T \\ &\therefore m_{araq} = P_r /(\ C_{ar} \times \Delta T\ ) \end{aligned} \qquad (22)$$

Onde:

P_r: Potência do resistor em joule(J) por segundo ou Watts(W);

m_{araq}: Massa de ar a ser aquecida em Kg;

ΔT: Variação de temperatura do processo de secagem em graus Celsius °C;

C_{ar}: Calor especifico do ar

Depois de determinar a vazão mássica, o próximo passo é calcular a vazão volumétrica (V_{arq}) do ar quente (ver a equação 23).

$$V_{araq} = m_{araq} / \rho_{araq} \quad em\ \ m^3/s \qquad (23)$$

Onde:

V_{araq}: Vazão volumétrica do ar a ser aquecido m³/s;

ρ_{ar}: Densidade do ar em kg/m³;

m_{araq}: Massa de ar a ser aquecida em Kg.

Finalmente pode-se determinada a velocidade do ar do ventilador (Vvent), aplicando o resultado do valor da vazão volumétrica obtido através da equação 23 na equação 24, utilizando-se as dimensões da área de vazão do ar dos ventiladores metálicos.

$$\begin{aligned} \therefore V_{vent} &= V_{araq} / A_R \\ \therefore V_{vent} &= V_{araq} / (b \times h) \ em \ m/s \end{aligned} \qquad (24)$$

Onde:

V_{araq}: Vazão volumétrica do ar a ser aquecido em m³/s;

V_{Vent}: Velocidade do fluxo de ar de ventilação em m/s;

b: Base da área ocupada pelos ventiladores em metros (m);

h: Altura da área ocupada pelos ventiladores em metros (m).

Após a determinação da velocidade de vazão do ar, é selecionado o modelo de ventilador metálico com uma vazão compatível com o projeto.

É importante salientar no processo de extração das frações dos caroços de açaí seja eficaz, é necessário manter a temperatura média no interior da câmara de confinamento em torno de 70ºC. Por isso foi o uso de um controlador de temperatura programável, cuja função, é monitorar controlar esta variável.

4.1.11 Dimensionamento do circuito elétrico do secador rotativo

Os dispositivos e componentes do circuito elétrico do protótipo foram dimensionados de acordo com o estudo literário, cálculos das correntes nominais, cálculos das correntes de projeto, informações dos catálogos de fabricantes e as recomendações de instalações elétricas em baixa tensão da NBR 5410.

4.1.12 Dispositivos de proteção do circuito elétrico

Com a finalidade de proteger o circuito elétrico do protótipo, optou-se por elaborar um sistema de proteção simplificado e seguro, composto por: disjuntores do tipo DIN, DPS e a conexão com o aterramento do próprio sistema fotovoltaico.

Os disjuntores DIN, são dispositivos eletroeletrônicos que tem a função primordial de proteger os circuitos elétricos, de diversas anomalias que podem danificar ou causar a perda total dos componentes de um circuito elétrico, dentre às anomalias, mais comuns, destacam-se: sobrecargas, picos de tensão elétrica e curtos circuitos.

Apesar dos disjuntores terem a capacidade de proteger os componentes de circuitos elétricos contra várias anomalias, eles não são capazes de atuar contra surtos elétricos causados por descargas atmosféricas. Por este motivo, foi necessário a inserção de três dispositivo de proteção contra surtos (DPS) ligados em estrela, esta configuração é recomendado por especialistas da área de sistemas fotovoltaicos *off grid*. É importante saber que, o DPS a atua da seguinte forma: os surtos de tensão em uma rede elétrica sãos desviados diretamente para o cabo de aterramento que é conectado um aterramento.

4.1.13 Aterramento do circuito elétrico do protótipo

O circuito elétrico do secador rotativo foi aterrado para protege-lo de descargas atmosféricas, pois é através do aterramento que o DPS desloca a corrente originada por uma descarga atmosférica. Neste projeto optou-se por utilizar o aterramento do sistema de geração PV, através da conexão do cabo terra com um conector de cobre específico localizado no painel 2.

4.1.14 Condutores do circuito elétrico do secador rotativo

Os condutores elétricos foram dimensionamento e a selecionados consideram a capacidade de condução e a temperatura máxima de trabalho.

4.1.15 Conectores para o circuito de elétrico do protótipo

Os conectores deste circuito elétrico foram selecionados para que haja um fluxo seguro de corrente elétrica, pois através do uso de boas conexões pode-se evitar as pontos quentes, que geram superaquecimento por efeito Joule e degradação da integridade física das partes terminais dos condutores e consequente diminuição na condutividade elétrica no circuito.

4.1.16 Esquema de ligação do circuito elétrico do protótipo

O esquema de ligação de ligação do circuito elétrico do protótipo, é a representação fiel das conexões dos componentes deste circuito elétrico. O objetivo principal da elaboração deste esquema é servir como um manual de orientação técnica para a montagem deste circuito.

4.1.17 Fixação dos componentes do circuito protótipo

Os componentes elétricos do protótipo serão fixados da seguinte forma: o micro motor CA será fixado na parte inferior da estrutura do equipamento, o resistor será fixado na câmara de aquecimento junto aos ventiladores metálicos, os sensores de temperatura ficarão introduzidos na câmara de aquecimento e isolados por um isolante térmico de amianto (suporta até 180ºC, segundo informação do fabricante).

Os outros componentes como: disjuntores, conectores paralelos e o inversor de tensão de 1000W projeto fotovoltaico), serão fixados em um painel feito de Aluminium Composite Material (ACM), este painel é denominado como PAINEL Nº1.

4.2 Projeto do sistema de geração fotovoltaico

O projeto do sistema fotovoltaico ou geração fotovoltaica (PV) é a parte do projeto responsável em gerar energia elétrica para o funcionamento autônomo do secador rotativo de grãos rotativo compacto.

A elaboração do projeto de geração PV foi desenvolvido de acordo com: o estudo literatura especifica, a norma NBR 5410, NBR 16690 (estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos) e os critérios técnicos.

Este projeto em particular, foi desenvolvido sob 2(dois) pilares: autonomia de energia elétrica e custo reduzido, através do dimensionamento otimizado dos componentes, observando a demanda da carga e a capacidade de geração do sistema.

4.2.1 Dimensionamento do banco de baterias

O primeiro componente do projeto de geração fotovoltaica que deve ser dimensionado é o banco de baterias, pois ele é coração do projeto, é através da

reserva da energia elétrica armazenada no banco de baterias que é garantida a estabilidade de tensão para a carga, uma vez que, a tensão elétrica produzida através do módulo fotovoltaico possui variação na magnitude.

No dimensionamento do banco de baterias deste projeto, foi levado em consideração o uso de tecnologias de baixo custo, optando por baterias estacionárias de chumbo, que são bastante utilizadas para atenderem energeticamente diversos sistemas de geração PV. A seguir serão demonstradas as etapas do dimensionamento do banco de baterias.

1ª Etapa - Cálculo da energia elétrica consumida (W.h): A quantidade de energia elétrica consumida pela carga no processo de secagem é especificada através da equação 25, aplicando os dados da tabela 3 de potência e tempo de acionamento dos componentes do circuito elétrico do secador do rotativo. É importante saber que, estes tempos poderão ser alterados após a fase experimentos em laboratório, onde será analisado o desempenho do protótipo.

Tabela 3 - Potência e Demanda dos Componentes Elétricos do Secador de Grãos

Componente	**Potência**	**Tempo**
Potência do motor	40 W	1 hora
Potência do ôhmico	500 W	1 hora
Potência do sistema de ventilação	30 W	1 hora

Fonte: Autor (2023).

$$E_{C.S} = (P_R \times T_R) + (P_{Motor} \times T_{Motor}) + (P_{Vent.} \times T_{Vent.}) \quad (25)$$

Onde:

$E_{C.S}$: Energia elétrica consumida pelo secador de grãos rotativos compacto;

P_R: Potência elétrica do resistor de aquecimento;

T_R: Tempo de acionamento do resistor de aquecimento;

P_{Motor}: Potência elétrica do motor;

T_{Motor}: Tempo de acionamento elétrica do motor;

P_{Vent}: Potência elétrica do sistema de ventilação;

T_{Vent}: Tempo de acionamento do sistema de ventilação;

2ª Etapa - Calcular o fator de correção: O fator de correção é a relação entre a potência de saída do Inversor e potência de entrada, logo, ele expressa o quão eficiente é o inversor. Vale destacar que o Inversor apresenta os valores dos rendimentos em porcentagem torno de 90% e banco de baterias 90%. O fator de correção pode ser obtido através da equação 26.

$$FC(\%) = n\%(b.bat) \times n\%(inver.) \tag{26}$$

Onde:

$\eta_{\%}(b.bat)$: Rendimento do banco de baterias em porcentagem (%);

$\eta_{\%}(inver.)$: Rendimento do Inversor em porcentagem (%).

3ª Etapa - Consumo corrigido: É o consumo de energia elétrica ajustado, utilizando o fator de correção de rendimento, é obtido aplicando o resultado da 26, na equação 27:

$$E_{C.S.(ajustada)} = \frac{E_{C.S.}}{FC_{(\%)}} \tag{27}$$

Onde:

$E_{C.S}$: Energia elétrica consumida pelo secador rotativo compacto;

$E_{C.S\ (ajustada)}$: Energia elétrica ajustada consumida pelo secador rotativos compacto;

FC (%): Fator de correção em porcentagem (%).

4ª Etapa - Autonomia do sistema: É o tempo em que o sistema ficará funcionando utilizando a carga do banco de baterias. Desta forma, quanto maior for a autonomia, consequentemente será maior o banco de baterias. A autonomia pode ser em horas ou em dias. No projeto em particular foi estabelecida a autonomia de 1(um) dia de autonomia (equação 28).

$$\therefore E_{Aut.}(Wh/dia) = E_{C.S.} \times T(dias) \tag{28}$$

Onde:

$E_{Aut.}$(Wh/dia): A autonomia é tempo que sistema fica acionado sem carreamento;

$E_{C.S}$: Energia elétrica consumida pelo secador de grãos rotativos compacto;

T(dias): É quantidade de dias da autonomia do sistema.

5ª Etapa - Energia armazenada no banco de baterias: Para determinar a capacidade de armazenamento de armazenamento do banco de baterias, deve-se levar em consideração a profundidades de descarga da bateria, que é o quanto da carga da bateria deve ser utilizada até seu próximo carregamento, analisando a curva de descarga em função do tempo, que é se encontra no catálogo do fabricante de baterias.

É importante saber que, quanto maior for a profundidade de descarga de uma bateria, menor será a vida útil. Por isto, os fabricantes de baterias estacionárias, orientam para uma profundidade de descarga de no máximo 30%(trinta por cento) da carga total. Através da equação 29, obtém-se o valor da energia armazenada na bateria:

$$\therefore E.A.(\ B.Bat.) = \frac{E.Aut.}{profun.\ de\ descar(\%)} \tag{29}$$

6ª Etapa - Determinando a vida útil do banco de baterias. Realizando a análise da curva de profundidade de descarga e o número de ciclos (gráfico D, Anexo A), é possível saber quantos carregamentos podem ser feitos, prevendo o tempo de vida útil das baterias.

7ª Etapa - Tensão de carga máxima e tensão mínima de descarga: O valor das tensão de carreamento máximo e a tensão de descarga máxima de uma bateria, podem ser obtidos através da análise do gráfico E (Anexo A), fazendo a correlação dos valores do eixo das porcentagens com o eixo das tenções elétricas.

8ª Etapa - Capacidade de carga do banco de baterias: O dimensionamento da capacidade do banco de baterias, é crucial para autonomia do sistema fotovoltaico, pois quanto maior for capacidade de armazenamento, maior também será a

autonomia. A unidade que de medição da capacidade de armazenamento de uma bateria, é o Ampère hora (A.h). Outra informação importante, é tensão elétrica nos terminais do banco de baterias, que podem ser na ordem de 12V ou 24V. Utilizando a equação 30 é possível especificar a valor da capacidade do banco de baterias.

$$\therefore C_{(B.Bat)} = \frac{EA_{(B.Bat)}}{V_{(B.Bat)}} \tag{30}$$

Onde:

$C_{(B.Bat)}$: Capacidade do banco de baterias em Ampere.hora (A.h);

$EA_{(B.bat)}$: Energia Armazenada no banco de baterias Watts.hora (W.h);

$V_{(B.bat)}$: Tensão elétrica no banco de baterias em Volts (V).

9ª - Etapa- Determinando o arranjo e número de baterias do banco:

O arranjo e o número de baterias é especificados de acordo com as características técnicas do modelo selecionado e tensão nos terminais. No caso deste projeto, as informações do modelo da bateria estão disponíveis na tabela A1 do anexo A (extraídas do manual técnico de baterias) onde são expressos a corrente e o tempo de descarregamento.

a) Cálculo do número de baterias em paralelo: Este cálculo é feito da seguinte forma, aplica-se o resultado da equação 30 utilizando os dados do manual técnico do fabricante de baterias na equação 31.

$$\therefore N_{(Bat.Par.)} = \frac{C_{(B.Bat)}}{C_{(bat)}} \tag{31}$$

Onde:

$N_{(Bat.Par.)}$: Número de baterias em paralelo;

$C_{(B.Bat.)}$: Capacidade do banco de baterias em A.h;

$C_{(bat.)}$: Capacidade de uma bateria em A.h.

b) Cálculo do número de baterias em série: Este cálculo é determinado através do uso da equação 32, que relaciona a tensão do banco de baterias com a tensão elétrica de cada unidade que faz parte do banco, procedendo da seguinte forma.

$$\therefore N_{(bat.Ser.)} = \frac{V_{(Banc.Bat.)}}{V_{(Bat.)}} \tag{32}$$

Onde:

$N_{(Bat.Ser.)}$: Número de baterias em série;

$V_{(B.Bat.)}$: Tensão elétrica do banco de baterias em Volts(V);

$V_{(bat.)}$: Tensão de uma bateria em Volts(V).

c) Cálculo do número total de baterias do banco: Para determinar a quantidade total do banco de baterias, basta realizar o produto de número de baterias em paralelo com número de baterias em série, de acordo com a equação 33, tem-se.

$$\therefore N_{(Total\ bat.\ banc)} = N_{(bat.Par.)} \times N_{(bat.Ser.)} \tag{33}$$

Onde:

$N_{(Total\ bat.\ banc.)}$: Número total de baterias do banco;

$N_{(Bat.Par.)}$: Número de baterias em paralelo;

$N_{(Bat.Ser.)}$: Número de baterias em série.

d) Arranjo do banco das baterias: O arranjo do banco de baterias é elaborado tomando como base, os cálculos de número de baterias em série e número de baterias em paralelo e a tensão elétrica resultante do banco.

4.2.2 Determinação da quantidade módulos fotovoltaicos no arranjo

A especificação do arranjo e número de módulos do sistema geração de energia elétrica PV, foram determinados através dos seguintes critérios: tecnologias das células silício dos módulos, rendimento, relação custo benefício, localização de montagem do arranjo, local de fixação, dimensões e peso dos módulos.

1. Determinar o valor do HSP (horas de sol a pico): O conceito de horas de sol a pico (HSP), baseia na de irradiação do sol recebida por uma determinada superfície em metros quadrados, levando-se em consideração aspectos, como a localização geográfica, ângulo de inclinação dos módulos, está irradiação pode ser representa no gráfico F do Anexo A, onde a parte demarcada representa a geração fotovoltaica útil em um determinado período de radiação solar. No Apêndice A é demonstrado o cálculo do HSP da cidade de Belém, o local onde o sistema fotovoltaico será instalado.

2. Rendimento Global: É a soma dos diversos tipos de perdas de energia que estão diretamente relacionado aos fatores técnico do projeto fotovoltaico. Na tabela 4 são demonstradas estas perdas expressas em porcentagem.

Tabela 4 - Fatores de Perda de Energia no Sistema Fotovoltaico

Tipo de Perdas	Taxa de Variação da Perda
Perda por Temperatura	[7,0% a 18,0%]
Incompatibilidade Elétrica	[1,0% a 2,0%]
Acumulo de Sujeira	[1,0% a 8,0%]
Cabeamento CC	[0,5% a 1,0%]
Cabeamento CA	[0,5% a 1,0%]
Inversor	[2,5% a 5,0%]

Fonte: Elaborado de acordo com o Manual de Engenharia (Autor 2023)

O cálculo do rendimento global foi realizado através da equação 34.

$$\therefore \eta G_{(\%)} = \left[100\% - \left(Perdas_{(\%)} \right)\right] / 100 \tag{34}$$

Onde:

$\eta G_{(\%)}$: Rendimento Global;

$Perda_{(\%)}$: Soma das perdas por critérios técnicos.

3. Escolha da tecnologia dos módulos: Na escolha do módulo fotovoltaico devem serem observadas as principais informações técnicas desta tecnologia, que estão presentes nos datasheet, etiqueta do produto e no catálogo do vendedor. Atualmente existem duas tecnologias que dominam o mercado mundial de módulos fotovoltaicos, são elas: células de silício policristalina e as células de silício

monocristalino. Para este projeto foram selecionados módulos com tecnologia de células de silício monocristalino, devido o custo acessível e o rendimentos superior em relação ao seu principal concorrente.

4. Determinação da energia produzida por um módulo: A energia elétrica produzida por um único módulo que faz parte do arranjo é determinada através da equação 35, utilizando os seguintes dados: informações do catálogo do fabricante e o HSP da localidade e rendimento global.

$$\therefore E_{md} = HSP \times A_M \times \eta_{m\%} \times \eta_{G\%} \qquad (35)$$

Onde:

E_{md}: Energia produzida por um módulo em kW.h;

HSP: Irradiação solar da Região (horas de sol a pico), média anual Wh/m².dia;

A_M: Área do Modulo - C (Comprimento) X L (Largura) em m²;

$\eta_{(m\%)}$:Rendimento do módulo em porcentagem;

$\eta_{(G\%)}$:Rendimento do Global em porcentagem.

Observação: A determinação da energia média produzida diariamente no arranjo, foi obtida utilizando a equação 36, considerando uma perda de 30%(trinta porcento) no processo geração de energia elétrica, devido a seleção de um controlador de carga do tipo Pulse Width Modulation (PWM), pois esta perda é uma característica deste tipo de dispositivo. Ao contrário do regulador de carga do tipo Maximum Power Point Tracking (MPPT), cujas as perdas são bem inferiores.

$$\therefore E_{md} = HSP \times A_M \times \eta_{m\%} \times \eta_{G\%} \times 0{,}7 \qquad (36)$$

5. O cálculo do número de módulos do arranjo fotovoltaico: Depende de quatro variáveis: a potência total dos módulos, a potência individual por módulo, a tensão de entrada e a corrente máxima do regulador de carga. Através da equação 37 obtém-se o número de módulos:

$$\therefore N_{módulos} = \frac{E_{CS}}{E_{md}} \qquad (37)$$

Onde:

$N_{módulos}$: Número de módulos do arranjo

E_{CS}: Energia corrigida do secador rotativo em W.h/dia

E_{md}: Energia produzida por um módulo em grãos em W.h/dia

Após ter sido determinado o número de módulos, deve-se selecionar o tipo do arranjo para que atinja o valor mínimo de tensão de entrada requerida no regulador de carga, de acordo as seguintes características tecnológicas.

No primeiro caso, se a escolha for por um controlador de carga do tipo tecnologia maximum power point tracking ou rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT), a tensão elétrica do arranjo fotovoltaico deve ser maior do que 25% (vinte e cinco por cento) do que a tensão elétrica do arranjo de baterias.

Já no segundo caso, se o controlador de carga for do tipo pulse with modulation ou modulação por largura de pulso (PWM), a tensão elétrica do arranjo fotovoltaico, deve ser 50%(cinquenta por cento) maior do que a tensão elétrica do banco de baterias. O valor da tensão de entrada do regulador de carga, através da equação 38.

$$\therefore V_{ER} = V_{BB} \times F_{CVA} \tag{38}$$

Onde:

V_{ER}: Determinando de tensão de entrada do regulador

V_{BB}: Tensão do banco de baterias em Vcc

V_{MP}: Tensão por módulo em Vcc

F_{CVA}: Fator de correção da tensão elétrica do arranjo em PWM ou MPPT

4.2.3 Seleção do inversor

No dimensionamento e seleção do inversor foram consideradas as seguintes especificações: tipo de tecnologia, nível de tensão de alimentação, a potência do inversor, e a tecnologia do regulador de carga que alimenta o arranjo de baterias. Neste caso, foi selecionado um inversor tipo DC/CA de onda pura, com tensão de entrada de $12V_{CC}$ e tensão de saída $120V_{CA}$. Utilizando-se a equação 39 é

possível determinar a potência elétrica do inversor conectado a um controlador de carga com a tecnologia MPPT.

$$\therefore PI_{MPPT} = P_{\text{Carga}} \times 1{,}43 \quad (39)$$

Onde:

PI(MPPT): Potência elétrica em Watts(W) de um Inversor conectado a um regulador de carga com tecnologia MPPT;

P(carga): Potência em Watts(W) da carga

Caso a escolha da tecnologia do controlador seja do tipo PWM, a potência elétrica do inversor é determinada través do uso da equação 40.

$$\therefore PI_{PWM} = P_{\text{Carga}} \times 2 \quad (40)$$

Onde:

PI(PWM): Potência elétrica em Watts(W) de um Inversor conectado a um regulador de carga com tecnologia PWM;

P(carga): Potência em Watts(W) da carga

4.2.4 Características construtivas dos módulos fotovoltaicos

As características construtivas e materiais dos módulos selecionados, são fundamentais para dimensionar o espaço que o arranjo deve ocupar, a forma de transporte e a manutenção, as informações mais importantes deste critério podem obtidas de forma prática através das leituras nas etiquetas dos módulos.

4.2.5 Fixação e montagem do módulo fotovoltaico

Os módulos do arranjo fotovoltaico serão fixados em um local de fácil acesso para a manutenção e com boa radiação solar.

4.2.6 Otmização da geração de energia elétrica dos módulos PV

Para maximizar a produção de energia elétrica do arranjo fotovoltaico, deve-se obter a capitação dos raios solares da melhor forma possível, por isto, optou-se por utilizar a técnica de posicionamento Norte-Sul, devido ser bastante

difundida entre os técnicos, e apresentar excelente eficiência. A orientação dos módulos serão executadas com uso de uma bússola digital, para garantir um melhor alinhamento na recepção dos raios solares.

4.2.7 Dispositivos de proteção do sistema de seração PV

Os dispositivos de proteção de sistemas fotovoltaicos foram especificados e selecionados, com a finalidade de garantir o funcionamento de forma segura dos circuitos elétricos do sistema de geração PV. Garantindo a proteção contra as principais anomalias que que ocorrem em circuitos elétricos, como: surtos elétricos, sobrecargas e proteção contra curto-circuito. A seleção destes dispositivos segue a mesma metodologia dos demais sistemas de proteção, sendo utilizado: a corrente de projeto (Apêndice A).

O sistema fotovoltaico está sujeito a descargas atmosféricas e picos de tensão, por isso foi elaborada a configuração em estrela com 3(três) dispositivos de proteção contra surtos (DPS’s) para protege-lo desta anomalia. Devido esta configuração possuir impedância infinita quando operando na tensão nominal, a fim de evitar qualquer vazamento de corrente para a terra e não interferir no funcionamento do sistema. No entanto, no mundo real, a impedância não é infinita, embora seja alta. Isso significa que sempre haverá um fluxo de corrente, da ordem de µA, através do DPS em direção a terra. Em corrente contínua, o vazamento no óxido metálico do varistor é maior. Ao conectar dois DPS em topologia Y, a impedância do sistema é aumentada e proporciona maior resistência contra possíveis falhas de isolamento em um dos polos do arranjo fotovoltaico.

4.2.8 Aterramento do sistema de geração fotovoltaico

O aterramento é uma tecnologia fundamental para a proteção dos módulos fotovoltaicos e os demais circuitos elétricos do projeto contra descargas atmosféricas.

4.2.9 Seleção dos condutores do sistema de geração PV

Os condutores elétricos deste sistemas fotovoltaicos foram dimensionados e selecionados, de acordo com as seguintes especificações: capacidade de fluxo de corrente elétrica, isolamento térmico e elétricos. Cujo o objetivo é manter a integridade física do circuito elétrico. Priorizando as seguintes

características: a segurança contra riscos de incêndio, perdas de energia por efeito Joule e fuga de corrente elétrica.

4.2.10 Seleção dos conectores ou conexões do sistema de geração PV

A seleção dos conectores do circuito elétrico do sistema fotovoltaico, serão realizadas através do critério do fluxo de corrente do projeto, com objetivo de evitar perdas de energia por efeito Joule nos pontos quentes, além manter o circuito funcionando de forma segura.

4.2.11 Esquema de ligação do circuito do sistema de geração PV

A elaboração do esquema de ligação do circuito do circuito do sistema de geração, é a forma de representação fiel das conexões dos componentes deste circuito elétrico. O objetivando servir como um manual de orientação técnico para a etapa de montagem.

4.2.12 Fixação dos componentes do sistema de geração PV

Com a finalidade de fixar alguns componentes dos circuitos elétricos do sistema de geração PV, foi elaborado um painel de ACM (número 2).

4.2.13 Elaboração do esquema geral de ligação dos circuitos elétricos

Um esquema geral de ligação entre os componentes dos circuitos elétricos do protótipo e do Sistema de geração PV foi elaborado para demonstrar as conexões de todos os dispositivos e condutores que fazem parte destes dois circuitos.

4.4 Analise de custo geral

A análise de custo geral foi realizada para especificar os valores em reais dos projetos de geração PV e do secador de grãos rotativo compacto, através discriminação das seguintes somas dos custos: dos componentes eletroeletrônicos, dos materiais, da mão de obra e dos gastos com transporte. Para fomentar a economia local buscou-se adquirir produtos de empresas da região metropolitana de da cidade de Belém, obedecendo a relação de custo benefício.

4.5 Determinação do payback do sistema de geração PV

O Payback deste projeto está presente no Apêndice A, ele é conhecido como tempo de retorno do valor investido. Diante do resultado desta variável é possível saber se um determinado sistema de geração de energia fotovoltaico é viável economicamente para o cliente.

4.6 Desenvolvimento dos experimentos

Nos experimentos em laboratório, serão analisadas as variáveis do processo de secagem (temperatura de aquecimento, velocidade de rotação do tambor, potência elétrica e tempo) e os tipos de frações extraídas do biomaterial.

4.7 Projeto 3d do protótipo.

O desenhos do projeto do secador de grãos rotativo compacto foram elaborados através da ferramenta gráfica SKETCHUP (versão 2015), obedecendo a proporção de 1:100 em metros. Para facilitar a abertura dos arquivos nos diversos tipos de dispositivos eletrônicos (computadores, celulares, tablets e Smart Tvs), os desenhos 3D no formato SKT foram convertido em imagens 2D no formato png, e posteriormente foram inseridos em uma pasta digital.

4.8 - Projeto do secador de grãos rotativo comercial

O secador de grãos rotativo comercial, trata-se do primeiro projeto elaborado neste trabalho, cuja a finalidade é atender o mercado de biomateriais baseado nos subprodutos dos caroços de açaí. A elaboração deste projeto está contida no Apêndice B.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão explanados e discutidos: o projeto Eletromecânico do equipamento, o projeto do Sistema de geração fotovoltaico e os experimentos e os detalhes construtivos do projeto do secador de grãos rotativo compacto (concepção e montagem).

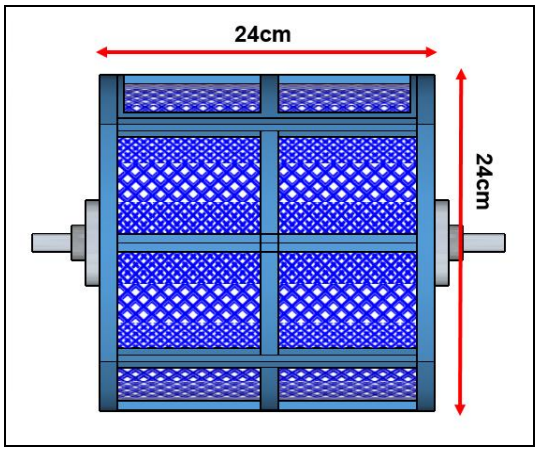
5.1 Projeto eletromecânico do secador de grãos rotativo compacto.

Com relação ao projeto eletromecânico do secador rotativo compacto, neste tópico, será mostrada; os valores das variáveis do processo, a especificação de cada um dos seus componentes, a sequência de fabricação e tipos de materiais utilizados.

5.1.1 Tambor de rotativo

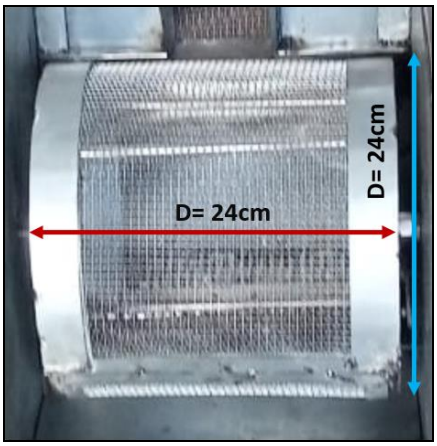
No processo de extração das frações dos caroços de açaí, a secagem deve ser eficaz, por isso deve-se seguir as orientações de um estudo já realizado sobre este assunto, nele foi constatado que o volume máximo de caroços de açaí no interior do tambor rotativo (ver figuras 19a e 19b), deve ser de máximo 15% (quinze porcento) [34].

Figura 19a - Tambor rotativo 3d com medidas



Fonte: Autor (2023)

Figura 19b - Tambor rotativo fabricado



Fonte: Autor (2023)

Através valor da massa do fruto do açaí é possível determinar a quantidade de unidades por cada quilograma. Utilizando os dados específicos sobre a característica física do fruto do açaí: o peso médio do fruto 10,1g, deste total o caroço corresponde a 85%(oitenta e cinco porcento), e os outros 15%(quinze porcento) restante, é a polpa do fruto, conclui-se então que, o peso médio de cada caroço corresponde a uma massa de 8,5g [1]. Utilizando estes parâmetros, obtém-

se a quantidade de aproximadamente 117 caroços por cada quilogramas. Porém esta quantia pode variar, pra mais ou pra menos, caso o estudo seja com frutos de outras regiões produtoras.

Através das dimensões do tambor e da densidade do carroço de açaí foi especificado quantidade de massa que pode ser armazenada no interior do tambor rotativo (ver tabela 5).

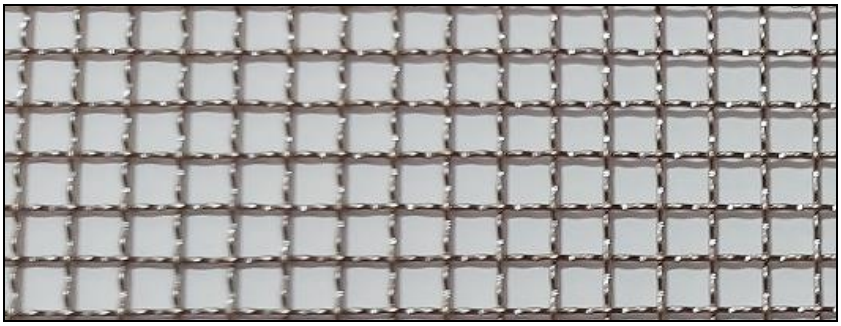
Tabela 5 - Volume e da capacidade de massa tambor rotativo

Modelo	Raio (cm)	Comprimento (cm)	Cálculo do Volume (m³)	Ocupação (%)	Densidade (kg/m³)	Cálculo da Massa (kg)
Secador rotativo compacto	12	24	**0,011**	15	660	**1,074**

Fonte: Autor (2023)

Outro fator importante para a fabricação do tambor rotativo, é a granulometria dos caroços de açaí, por isso selecionou-se uma tela de aço reforçado para compor as paredes deste tambor, com espaçamento entre cada trama menor do que o diâmetro médio dos caroços de açaí. Utilizando dados das medições por amostragem de 100 (cem) no caroços no Laboratório de compósitos, chegou-se ao valor do diâmetro médio dos caroços igual a 0,72mm. Através desta informação, foi selecionada uma tela de aço reforçada (ver figura 20) com o espaçamento de 5mm.

Figura 20 - Tela de aço inox reforçada



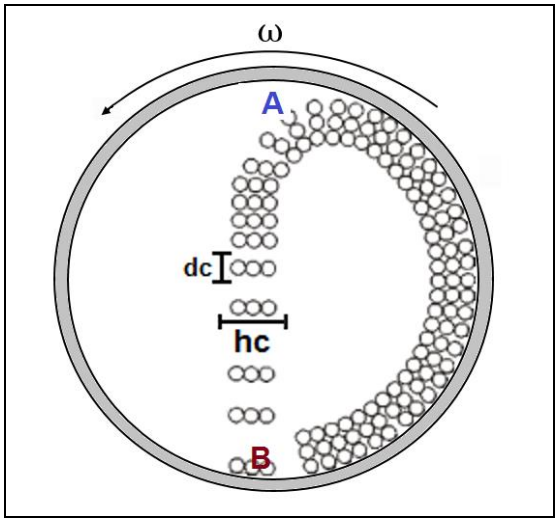
Fonte: Autor (2023)

Outro critério importante no processo de secagem é a dinâmica do deslocamento dos materiais ou partículas no interior do tambor, em comparação secadores rotativos a gás (secadores rotativos com distribuição radial do fluxo de ar,

projetados para a secagem do café), onde os grãos são movimentados por pás[16], o protótipo em questão utiliza o movimento circular do tambor para deslocar o biomaterial até que atinja uma velocidade mínima para capaz de produzir uma quedas livre do material [34].

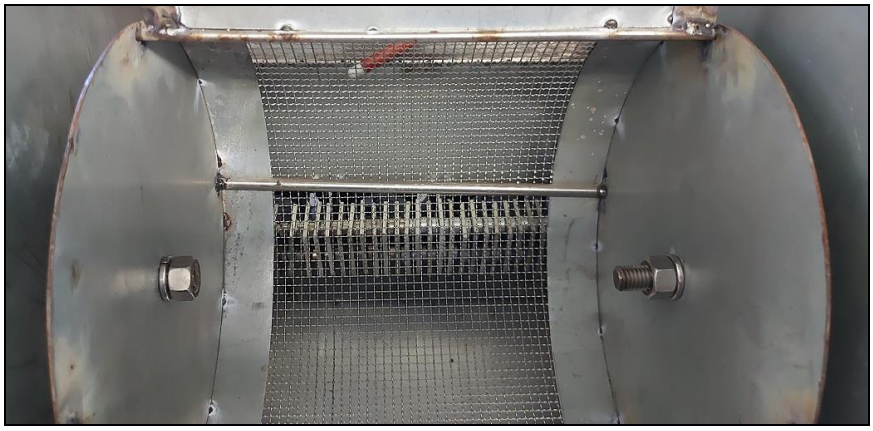
Para que a queda livre seja uniforme na vertical no sentido descendente, não deve haver obstáculos no centro do tambor. A solução para esta configuração foi confeccionar um tambor com sustentação nas laterais (ver figuras 21 e 22), montado em duas chapas metálicas no formato circular, nas quais foram fixados dois eixos rosqueados de aço inox com bitola de ½'' (meia polegada).

Figura 21 - Deslocamento dos Resíduos Sólidos no Interior do Tambor Rotativo



Fonte: Autor (2023)

Figura 22 - Tambor aberto rotativo sustentado em dois eixos de aço de ½" polegadas

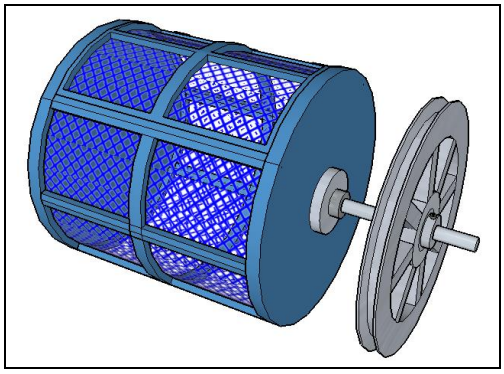


Fonte: Autor (2023)

As paredes do tambor foram construídas em telas de aço (figuras 23 e 24), que foram presas por dois anéis circulares de chapa de metal reforçado com a

medida de 4cm largura cada uma delas. Para colocação do biomaterial montou-se uma porta na lateral na tambor com dobradiças metálicas fixadas em uma das hastes cilíndricas de metal e um trinco para a selagem, garantindo a segurança do material armazenado.

Figura 23 - Projeto 3d do tambor rotativo



Fonte: Autor (2023)

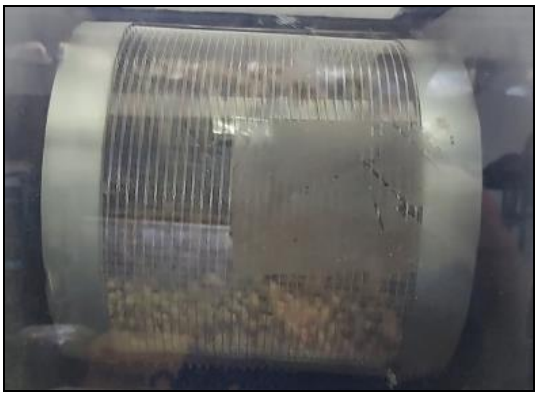
Figura 24 - Tambor rotativo

Fonte: Autor (2023)

A velocidade mínima de rotação do tambor rotativo foi especificada por medições com uso de tacômetro digital modelo DT 6234B (ver figura 26) e observando a queda dos resíduos sólidos até formar uma cortina uniforme de material. Esta metodologia é fundamentada em outro secador rotativo com um tambor de raio igual 30cm. Resultando em uma velocidade mínima igual a 5,72 rad/s ou 54,62rpm [34].

Ao ser observada a queda dos caroços de açaí no tambor do protótipo (Ver figuras 25), obteve-se a velocidade mínima de aproximadamente 57,6rpm ou 6,031rad/s para a formação da cortina de biomaterial.

Figura 25 - Tambor rotativo com resíduo orgânico



Fonte: Autor (2023)

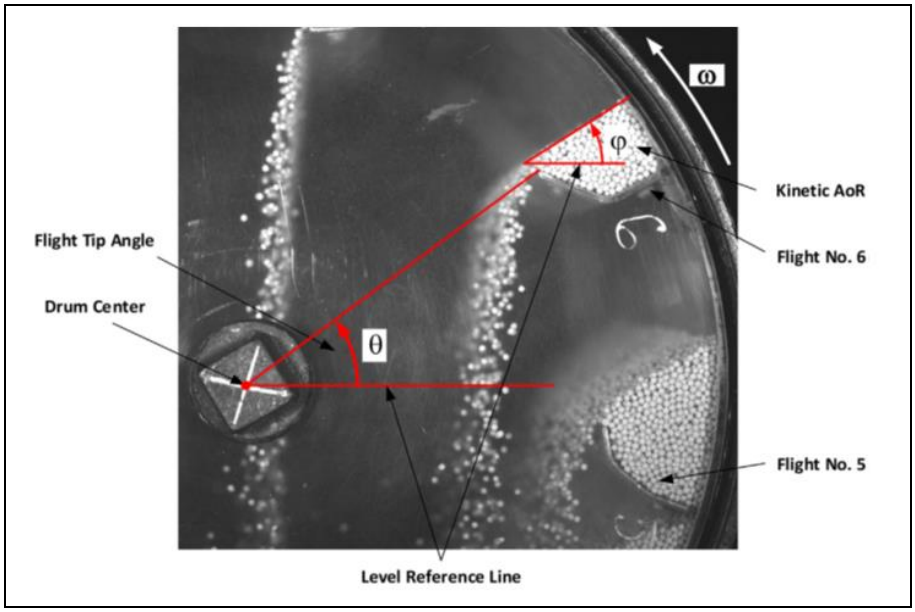
Figura 26 - Leitura com tacômetro digital

Fonte: Autor (2023)

Comparados os resultados entre os dois modelos de sacadores de grãos rotativo, foi constatado que, apesar do raio menor do tambor do protótipo em relação ao projeto de referência, obteve-se uma velocidade mínima de rotação ligeiramente superior, concluindo-se que, o comprimento do raio do tambor não influenciou na redução da velocidade de rotação. Porém durante o primeiro experimento, após 1 hora e 40 minutos do início processo, utilizando uma velocidade menor cerca de 44rpm, o material atingiu a queda livre uniforme (cortina de material). Logo, quanto menor a granulometria, maior será a aderência nas paredes do tambor, proporcionando a redução da velocidade de rotação.

A outra forma de movimentar os grãos ou sementes no interior do tambor, é a montagem de flight (ver figura 27, pá armazenadora de particulas ou grãos) no interior do tambor. Com uso desta configuração, e a diminuição no tamanho de partícula, resulta no aumento do ângulo cinético de repouso (AoR) por causa das forças de van derWaals, originando-se o aumento do coeficiente de atrito, proporcionando o aumento de velocidade de rotação do tambor [17].

Figura 27 - Imagem digital típica obtida do teste de rotação do tambor a 1800 RPM.



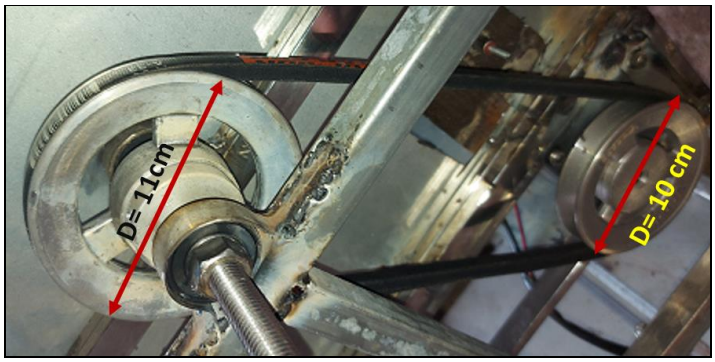
Fonte: Adapitado de D. Portnikov, G. Ziskind and H. Kalman

5.1.2 Especificação do sistema de transmissão de potência

Neste protótipo elaborou-se um sistema de transmissão de potência bem simplificado, com duas polias (Ver figura 28), a polia 1 está conectada no tambor do

secador rotativo, e a polia 2 fica conectada no eixo do motor elétrico, e um regulador de velocidade.

Figura 28 - Polia do tambor de diâmetro de 11cm do motor diâmetro de 10cm



Fonte: Sistema de transmissão do secador rotativo compacto(2023)

As grandezas mecânicas do sistema de transmissão, foram especificadas por cálculos presentes no Anexo A e os resultados dispostos na Tabela 6

Tabela 6 - Variáveis do sistema de transmissão

Modelo	**Polia 1 (do Tambor)**			**Polia 2 (do Motor)**			**Dados do Motor**		
Secador rotativo compacto	D1 (m)	N1 (rpm)	T1(N.m)	D2 (m)	N2 (rpm)	T2 (N.m)	Potência do Motor (W)	Rendimento (n%)	Potência Elétrica (W)
	0,110	57,60	4,412	0,100	63,360	4,011	26,599	0,850	31,293

Fonte: Autor (2023)

A escolha do motor elétrico, seguiu as orientações dos cálculos das variáveis do sistema de transmissão da polia 2 da Tabela 6, em seguida elaborou-se uma nova tabela (ver a Tabela 7) com os dados obtidos.

Tabela - 7 Variáveis do sistema de transmissão do motor elétrico

Variável do sistema	**Unidade de medição**
Potência elétrica	31,293 W
Frequência de rotação polia do motor	57,6 rpm
Torque na polia do motor	4,011 N.m

Fonte: Autor(2023)

É importante salientar que outras características técnicas foram levadas em consideração para escolha do motor elétrico, são elas: o tipo de tensão alimentação, o nível de tensão, Torque, faixa de variação de velocidade e consumo de energia elétrica. Observando os dados da tabela 7, e fazendo a comparação com

as informações do catálogo do fabricante de Micro Motor CA (ver figura 29), selecionou-se seguinte motor elétrico (ver figura 30).

Figura 29 - Especificação do micro motor elétrico monofásico C.A.

MODELO		Máxima Potência de Saída (W)	Tensão	Frequência	Corrente	Max. Velocidade RPM	Max. Torque mN-m	Torque Nominal (mN-m) 1200 RPM	Torque Nominal (mN-m) 90 RPM	Capacitor
Eixo Pinhão	90YS40GV11	40	110Vca, 1f	50HZ	0,79	90 - 1300	235	300	65	12µf/250V
	90YR40GV11									
	90YT40GV11									
	90YB40GV11									
Eixo Chaveta	90YS40DV11			60Hz	0,71	90 - 1600	120	260	70	
	90YR40DV11									
	90YT40DV11									
	90YB40DV11									

Fonte: Adaptado do aatálogo de micro motores CA (2023)

Figura 30 - Micro motor elétrico CA 127/220 V

Fonte: Adaptado do Catalogo do Fabricante

Na Tabela 8 estão presentes as especificações deste motor de acordo com os dados do catálogo do fabricante.

Tabela-8 Caraterísticas técnicas do motor elétrico selecionado

Atributos do motor	Especificações do motor	Especificações calculadas
Tipo de Motor	Micro Motor Monofásico CA	Motor CA
Regulação de Velocidade	Controlador de Velocidade	Não se aplica
Tipo de Tensão Elétrica	Alternada	Alternada
Potência Elétrica	40 W	31,293 W
Torque máximo	70 N.m	4,11 N.m
Níveis de Tensão Elétrica	127V e 220V	127 V e 220 V
Frequência de trabalho	50 e 60 HZ	60 HZ
Velocidade de Rotação	1 até 94 rpm	57,6 rpm

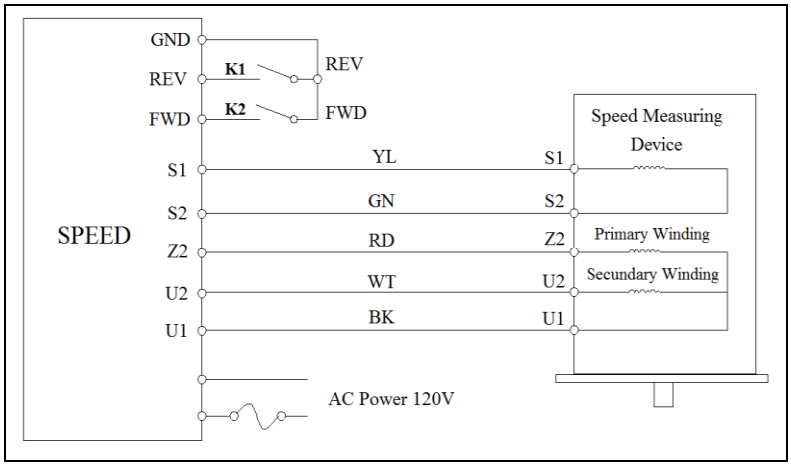
Fonte: Autor(2022)

Com o objetivo de ajustar a velocidade de rotação e torque no eixo do motor dentro da faixa de frequência estabelecida no projeto, foi adicionado ao sistema de controle do Micro Motor Ca, um regulador de velocidade (figura 31), pois este é um dispositivo de automação industrial que possui uma faixa ajustável de velocidade de rotação que vai de 1 rpm até 94 rpm (no eixo de saída da caixa de transmissão do motor). 32 Um diagrama de ligação mostradas as conexões elétricas entre o micro motor elétrico ca e o controlador de velocidade, seguindo o código de cores do fabricante (ver figura 32)

Figura 31 - Controlador de velocidade

Fonte: Autor(2023)

Figura 32 - Diagrama do controlador de velocidade de micromotores CA



Fonte: Adaptado do manual do fabricante de micro motores CA

Reiterando a informação anterior, nas medições das velocidades de rotação no ajustes necessários do processo de secagem, utilizou-se o modelo de tacômetro digital modelo DT 6234B (ver figura 33).

Figura 33 - Tacômetro digital

Fonte: Autor (2023)

Em uma análise técnica comparativa entre o projeto de referência e o protótipo deste trabalho, é constatado a melhor versatilidade tecnológica do secador compacto, destacando as seguintes vantagens: ajuste da velocidade de rotação do tambor, motor elétrico com baixa potência (40W), regulação do torque, e um sistema transmissão mais simplificado. Enquanto no projeto de referência o sistema de transmissão é composto por 4 polias com velocidade de rotação fixa, dois eixos e um motor elétrico de ¼ CV [34], consumindo 4,5 vezes mais potência elétrica do que o protótipo deste trabalho.

5.1.3 Descrição do sistema de aquecimento de ar

As tecnlogias de secagem de grãos possuem caracteristicas bem diferenciadas na forma construtiva, pois dependendo do tipo de grãos ou sementes e quais os tipos de produtos que devem serem obtidos no processo de secagem, devesse empregar uma quantidade de energia diferente para cada processo, por exemplo, no caso do uso da tecnica para conservação dos grãos ou sementes, remoção da umidade para preservar a aparência, as qualidades nutritivas e a viabilidade deles como semente [13].

No estudo inicial deste trabalho, o secador rotativo a gás seria uma boa opção ser aplicadas como projeto, pois as temperaturas de secagem estão dentro faixas compativeis com o processo de extração das frações dos caroços de açaí, que pode é ser regulada em 70°C [16], porém a desvantagem desta tecnologia é a queima de combustiveis fosseis, o que tornou inviavel ecologicamente.

Outra tecnologia bastante difundida são os sistemas híbridos, devido a economia de energia porem necessitam de grandes áreas para a implementação, neste caso são mais utilizados em plantas de grande escala [18].

A outra configuração dos secadores hibridos é combinação de um coletor solar fotovoltaico/térmico (PVT) que podem melhorar a taxa de extração de umidade específica, melhorando a eficiência de energia elétrica dos secadores hibridos [19].

O uso da decnologia hibrida seria uma solução inteligente para este projeto, porém esta hipotese foi descartada, pois o equipamento teria de ser compacto.

Observando outros estudos na literaturas foi constatado que o sistema de ventilação pode gerar melhor eficiência do processo de secagem. Por exemplo, em um estudo de secador solar com a introdução de um sistema de circulação de ar,

houve um aumento da eficiência energética de 34%(trinta e quatro porcento), e após o aprimoramneto deste sistema, ele atingir até 80%(oitenta porcento) de eficiencia[14].

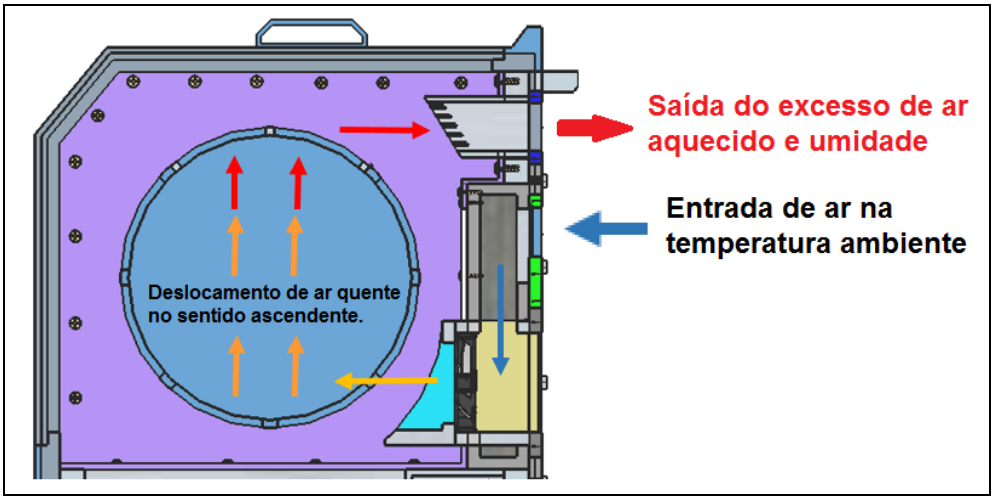
Os secadores de grões solares podem atingir niveis de eficiencia bem satisfatóirios quando em seus projetos sãos inseridos tecnlogias que acelerem o processo de secagem [15].

Atraves destas experiencias e observando as caracterisica do secador de grãos rotativo compacto foi projetado e montado o sistema de aquecimento de ar deste protótipo, constituído por: câmara de confinamento de ar, módulo de aquecimento (resistor de aquecimento com aletas de alumínio, sistema de ventilação) e controlador de temperatura.

a) Câmara de confinamento de ar

Este modelo de camará foi desenvolvido para reduzir as perdas energéticas, nela o processo de secagem, acontece em da seguinte forma; o fluxo de ar quente é injetado em uma temperatura máxima de 70ºC da parte inferior até o superior da câmara, o excesso de ar quente e umidade são expelidos por um exaustor sem a emissão de partículas e de gases de efeito estufa (ver figura 34).

Figura 34 - Câmara de aquecimento, deslocamento do fluxo de ar.

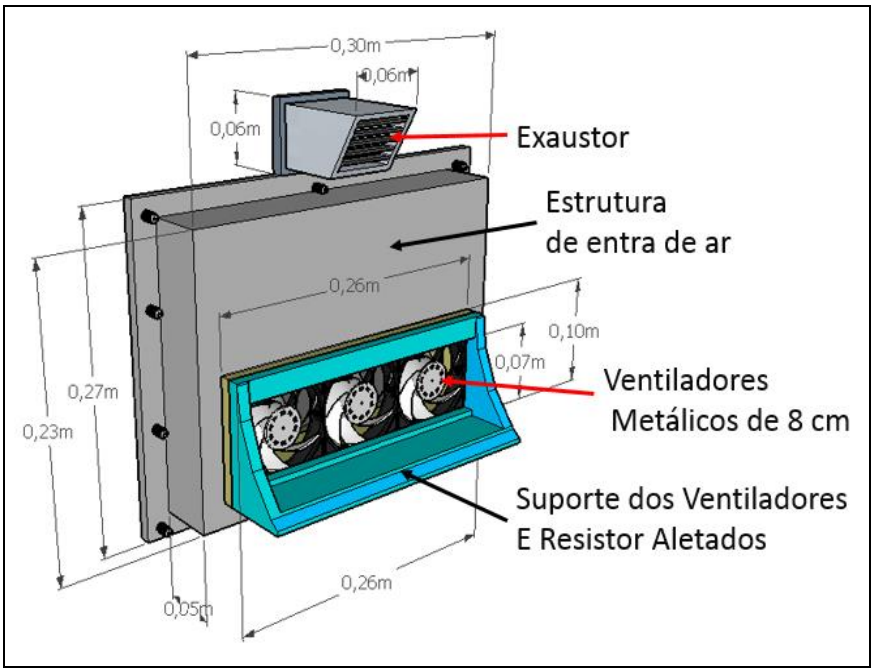


Fonte: Autor (2022)

b) Módulo de aquecimento de ar.

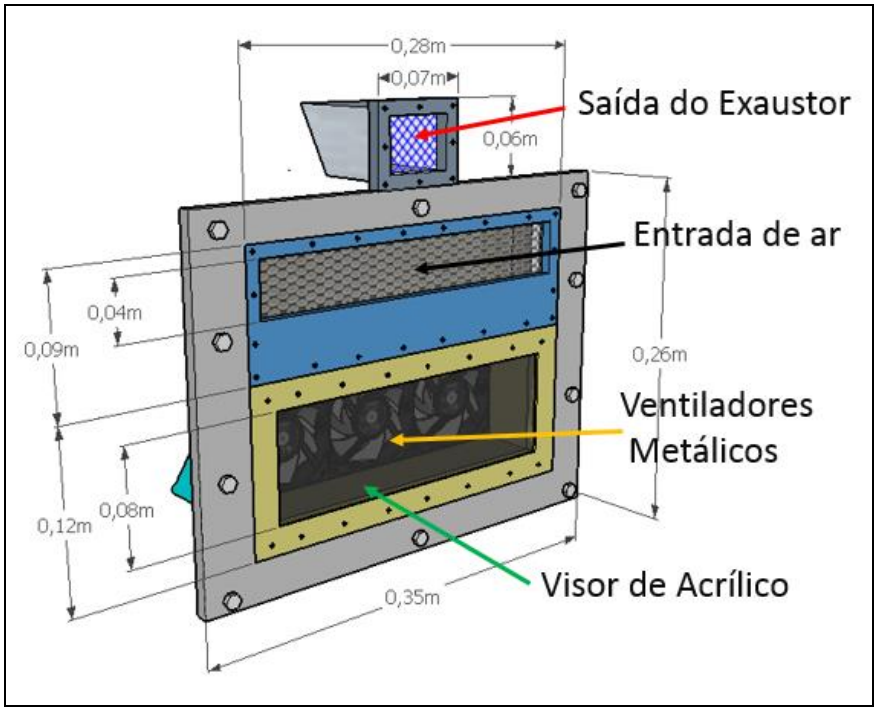
O módulo de aquecimento de ar, foi confeccionado para funcionar da seguinte forma: ele extrai o ar em temperatura ambiente, em seguida o faz fluir aquecido entre o material orgânico por ventilação forçada (ver figuras 35 e 36).

Figura 35 - Projeto 3d do módulo aquecimento de ar vista frontal



Fonte: Autor (2023)

Figura 36 - Projeto 3d do módulo de aquecimento de ar. vista posterior



Fonte: Autor (2023)

Na confecção do módulo de aquecimento de ar, utilizou-se uma chapa de metal e acrílico, para isolar e proteger os ventiladores metálicos do sistema de circulação de ar forçado (ver figura 37 e 38).

Figura 37– Módulo de aquecimento de ar. Visão frontal

Fonte: Autor (2023)

Figura 38 - Módulo de aquecimento de ar. Visão posterior

Fonte: Autor (2023)

A especificação do resistor da potência elétrica do resistor em Watts(W), e as variáveis do processo de aquecimento, estão presente nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Parte 01- Potência do resistor

Dados do sistema de aquecimento para o resistor							
Projeto	Massa (Kg)	Calor especifico (KJ/Kg°C)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Tempo (h)	Constante de transferência térmica do ar W.m-1.K-1	Rendimento do resistor (%)
Secador rotativo compacto	1	1,82	25	70	2,5	0,026	0,8

Fonte: Autor (2023)

Tabela 10 - Parte 02- Potência do resistor

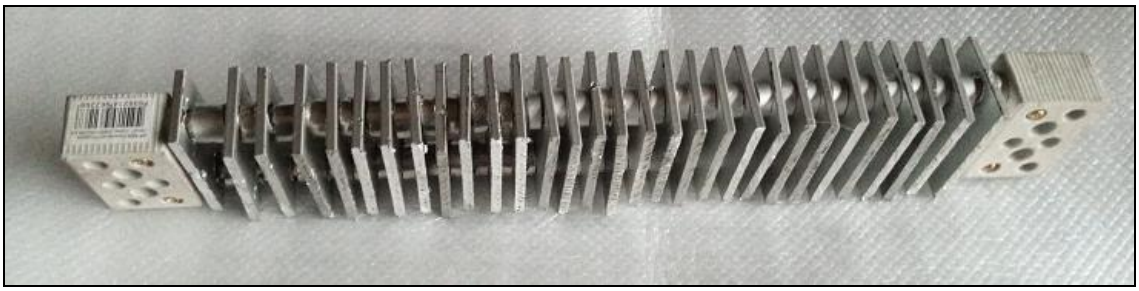
Dimensões da Câmara de secagem			**Resultados das variáveis do processo de secagem**			
Largura (cm)	Altura (cm)	Distância média do resistor até o resíduo orgânico (cm)	Q: Energia térmica (J)	Q: Energia térmica corrigida (J/s) ou (W)	Perdas térmica no ar (W)	Potência elétrica do resistor (W)
30,0	34,0	4,0	81900	11,375	298,350	309,725

Fonte: Autor (2023)

A partir da obtenção do valor da potência elétrica do resistor (ver Apêndice A), foi elaborado um dispositivo para atender as características físicas do secador rotativo compacto. No processo confecção deste dispositivo, foram fixados dois resistores 250W de potência (formato cilíndrico com 30cm de comprimento) em aletas de alumínio, para otimizar o fluxo de ar. Em seguida ambos foram conectados paralelamente por dois isolantes de porcelana (ver figura 39).

Este tipo de formatação possibilita ao resistor ou resistência aletada 3 (três) formas de configurações: conectando as duas unidades em paralelo (500W de potência), conectando as duas unidades em série (125W de potência) e conectando apenas uma unidade em paralelo (250W).

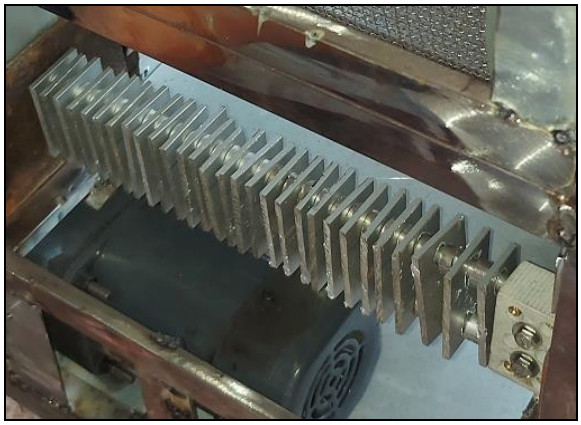
Figura 39 - Resistor fabricado em aletas de alumínio



Fonte: Autor (2023)

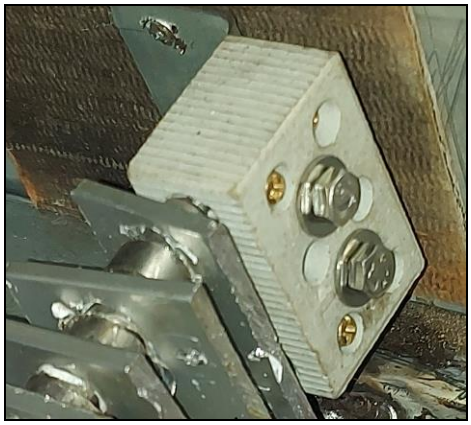
Após a montagem do resistor, ele foi fixado nas paredes da câmara de confinamento de ar (ver figura 40 e 41).

Figura 40 - Resistor Aletado fixado na parede da câmara de confinamento de ar quente



Fonte: Autor (2023)

Figura 41 - Resistor Aletado preso ao conector de porcelana

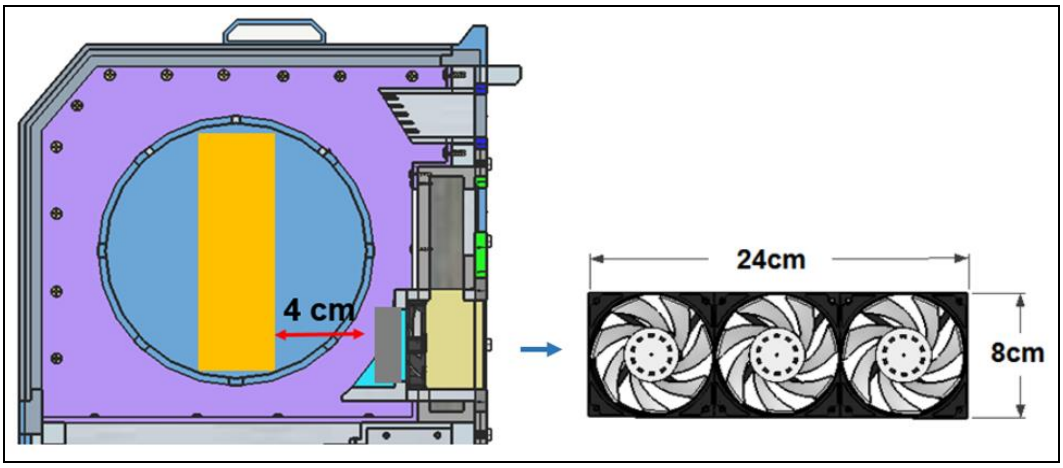


Fonte: Autor (2023)

A partir das informações das características físicas da câmara de confinamento, foram realizados os cálculos que determinaram a velocidade do

mínima do fluxo de ar (Apêndice A) para o processo de secagem. Nas tabelas 11 e 12 estão dispostos os resultados dos cálculos e as variáveis do sistema de ventilação forçado que é composto por 3(três) ventiladores metálicos (ver figura 42).

Figura 42 - Câmara de aquecimento de ar e a área útil dos ventiladores



Fonte: Autor (2023)

Tabela 11- Parte 01- Dados dos ventiladores do sistema de aquecimento de ar

Dados do sistema de ventilação e aquecimento de ar					
Modelo	Temperatura Inicial (ºC)	Temperatura Final (ºC)	Calor Especifico do ar (J/kg.K)	Energia Q ou Potência Elétrica do Resistor (W)	Densidade do ar 25ºC (kg.m^{-3})
Secador Rotativo Compacto	25	70	1007	500	1,1

Fonte: Autor (2023)

Tabela 12- Parte 02- Dados dos ventiladores do sistema de aquecimento de ar

Dimensionamento dos ventiladores do sistema de aquecimento de ar				
Are de vazão de ar dos ventiladores (m²)		**Resultado das variáveis calculadas**		
0,24	0,08	0,011	0,010	0,522

Fonte: Autor (2023)

Na figura 43 é demostrado o modelo de ventilador metálico utilizado no sistema de aquecimento de ar do protótipo.

Figura 43 - Ventilador metálico de 8X8X3,4 Cm

Fonte: Autor (2023)

Na montagem do módulo de aquecimento de ar, foram feitas alterações na parte posterior do secador, devido o estreitamento do duto de passagem de ar (Ver figura 44), pois os ventiladores metálicos são maior do que especificado no projeto, por isso foi realizada uma abertura de 5cm acima do sistema de ventilação (ver figura 45).

Figura 44 - Abertura de entrada de ar estreitada através dos ventiladores

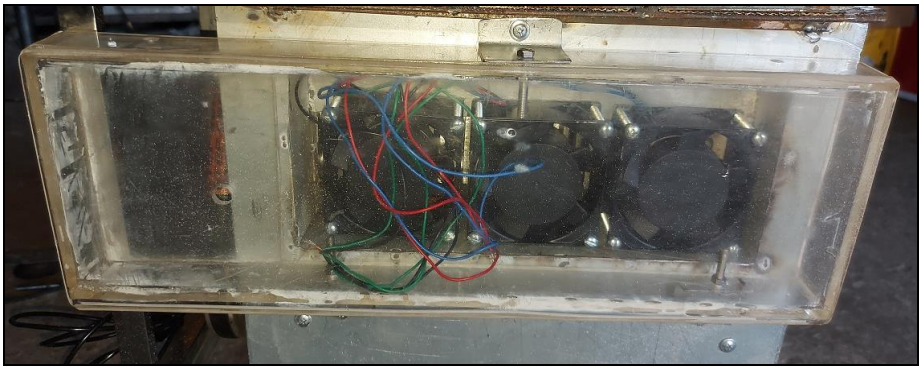
Fonte: Autor (2023)

Figura 45 - Aumento da Abertura de Entrada de Ar

Fonte: Autor (2023)

Com finalidade de cobrir a abertura acima do sistema de ventilação e proteger os ventiladores, foi confeccionada uma caixa de acrílico (ver figura 46) que se estende por toda largura do secador rotativo, com espaço para a passagem dos cabos elétricos.

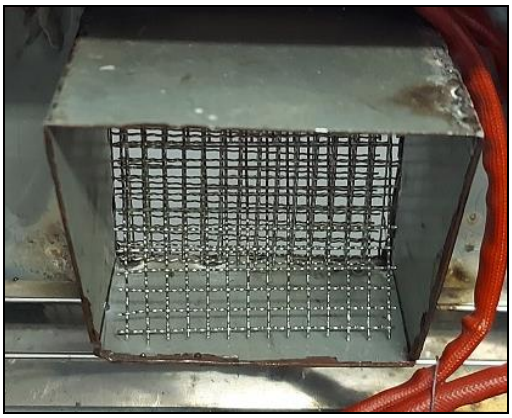
Figura 46 - Caixa de acrílico de proteção dos ventiladores metálicos



Fonte: Autor (2023)

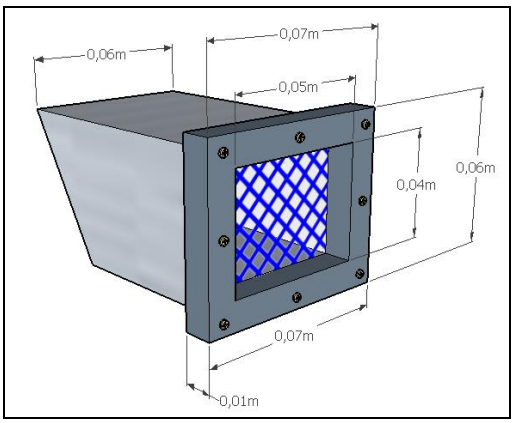
O exaustor foi confeccionado de chapa de metal resistente, optou-se por colocar uma tela protetora de aço, para reduzir a saída de fluxo de ar, evitando perdas térmicas e a entrada de insetos ou roedores no interior do equipamento (ver figuras 47 e 48).

Figura 47 - Exaustor ou fuga de ar quente



Fonte: Autor (2023)

Figura 48 - Exaustor modelo 3d



Fonte: Autor (2023)

De acordo com mencionado anteriormente o processo de secagem do protótipo ocorre na temperatura de 70°C. O maior empecilho de trabalhar nesta temperatura é a capacidade de corromper a integridade dos isolantes dos condutores elétricos que se localizam no interior da camará, por este motivo utilizou-se um isolante térmico de amianto com capacidade de suportar até 180ºC (dados do fabricante (ver figura 49) para revestir os cabos e condutores.

Figura 49 – Isolante térmico com capacidade de Isolamento de até 180°C

Fonte: Autor (2023)

Para regular e monitorar a temperatura optou-se em utilizar um controlador de temperatura (ver figura 50) com dois sensores (ver figura 51), que é capaz de trabalhar em até 105°C (informações do manual do fabricante).

Figura 50 - Controlador de temperatura

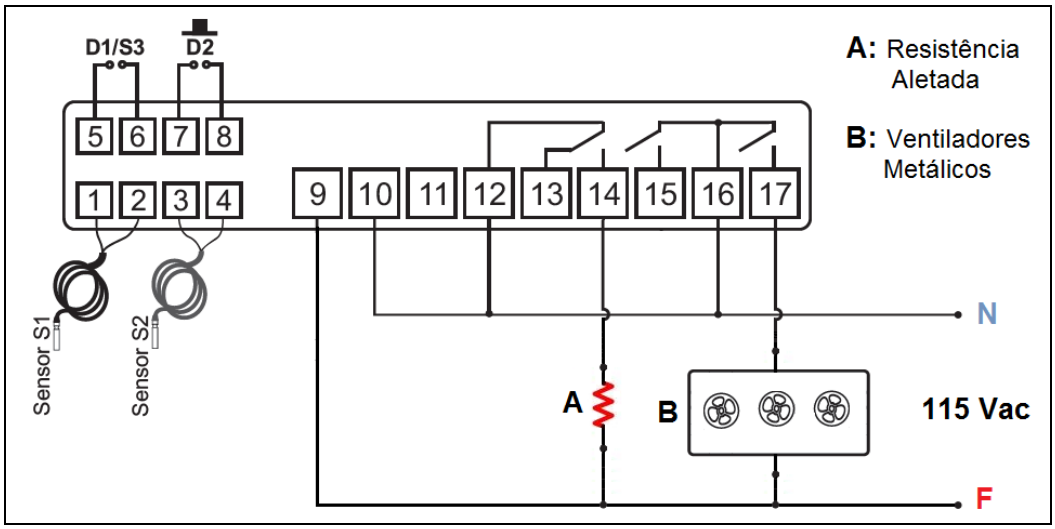
Fonte: Autor 2023

Figura 51 - Sensor de temperatura

Fonte: Autor 2023

O esquema de ligação do controlador de temperatura foi adaptado para este projeto, nele pode ser observado as conexões entre o controlador de temperatura e os demais dispositivos do sistema de aquecimento de ar (ver a figura 52).

Figura 52 - Esquema de ligação do controlador de temperatura em 127 VAC



Fonte: Adaptado do Manual Fabricante (Autor 2023)

Na tabela 13 estão descritas as potencias elétricas de cada um dos componentes do sistema de aquecimento de ar, para posteriormente determinar as características dos dispositivos e componentes do circuito elétrico do protótipo.

Tabela 13 - Potência elétrica dos componentes do sistema de aquecimento de ar

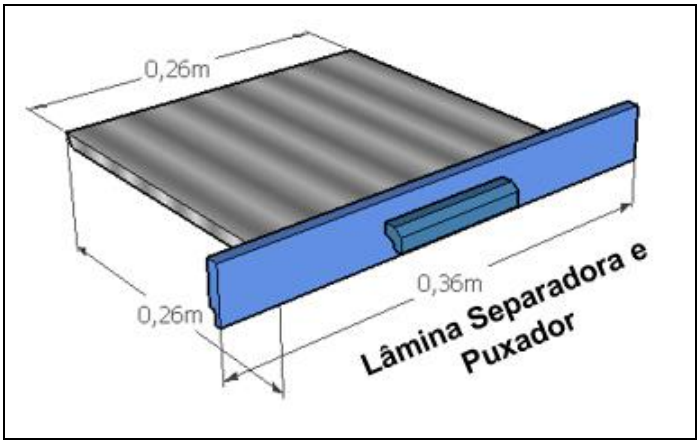
Componentes	**Potência Calculada (W)**	**Potência Determinada (W) Por Cálculos**	**Quantidade**
Resistor	309,725 W	500 W	1
Ventilador de aço	Não há no mercado	10 W (escolha compatível)	3
		Potência Total:	530 W

Fonte: Autor (2023)

5.1.4 Lamina isoladora térmica

A lamina isoladora ou sepadora térmica, é componentes que tem a função de isolar a câmara de aquecimento de ar do meio exterior. Ela foi confeccionada, utilizando em chapa de metal reforçada, capaz de suportar temperaturas acima de 180°C (ver figuras 53 e 54).

Figura 53 - Projeto 3d da lamina isoladora térmica



Fonte: Autor (2023)

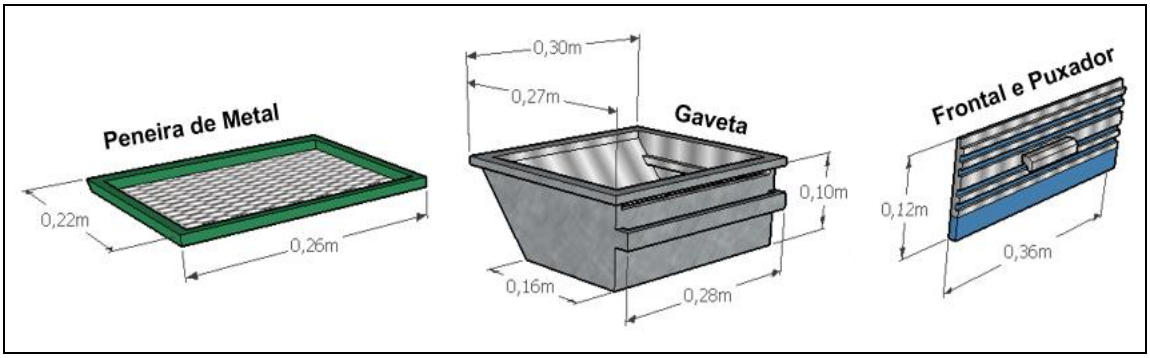
Figura 54 - Lamina isoladora térmica fabricada em chapa de metal

Fonte: Autor (2023)

5.1.5 Gaveta seletora

A gaveta seletora é o componente, que realiza a pré-seleção das frações do caroço de açaí após o processo se secagem (ver desenho 3D na figura 55)

Figura 55 - Projeto 3d da gaveta seletora e a peneira de pré-seleção



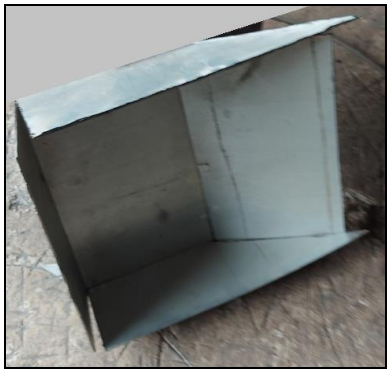
Fonte: Autor (2023)

O processo de fabricação da gaveta seletora é demonstrado nas figuras 56 e 57, onde observa-se que: o corte da chapa e a dobragem da chapa de metal, antes da soldagem, esta técnica é importante para reduz perda de material e diminuir as emendas feitas por solda.

Figura 56 - Montagem da gaveta seletora, cortando a chapa de metal

Fonte: Autor (2023)

Figura 57 - Montagem gaveta seletora, chapa de metal cortada



Fonte: Autor (2023)

Junto a gaveta seletora foi elaborada uma peneira de tela de aço resistente cuja a função é realizar a pré-seleção das frações dos caroços de açaí (ver figura 58).

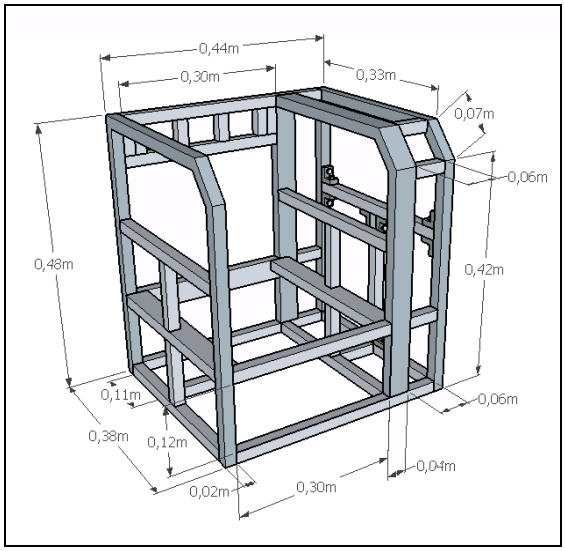
Figura 58 - Peneira pré-seletora feita de chapa de metal e tela de aço reforçada

Fonte: Autor (2023)

5.1.6 Especificação da estrutura de sustentação

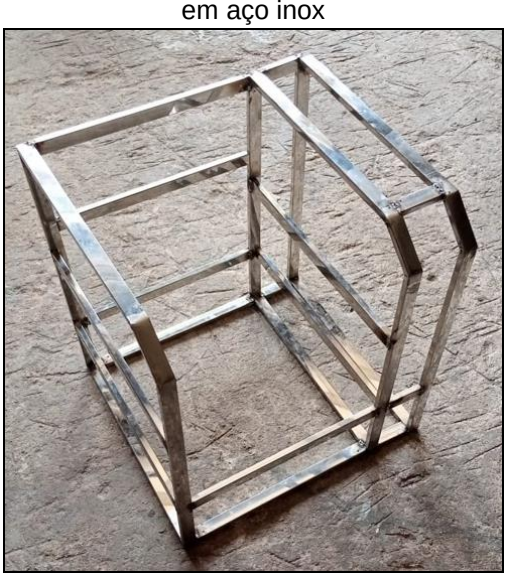
A estrutura de sustentação (ver imagem 59 e 60) do secador rotativo compacto foi construída em um perfil de aço inox com a finalidade de ser resistente as vibrações, a temperaturas em elevadas e ser capaz de sustentar com segurança todos os componentes do equipamento.

Figura 59 - Estrutura de sustentação concepção designer 3d.



Fonte: Autor(2023)

Figura 60 - Estrutura de sustentação montagem em aço inox

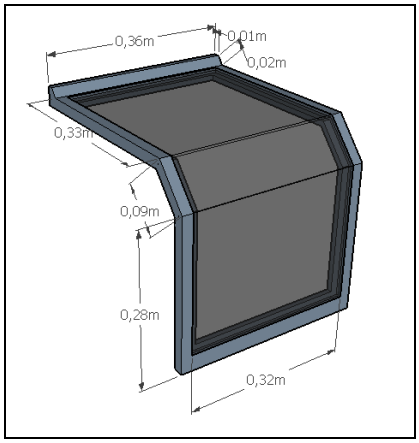


Fonte: Autor(2023)

5.1.7 Especificação da porta de acesso do prótipo

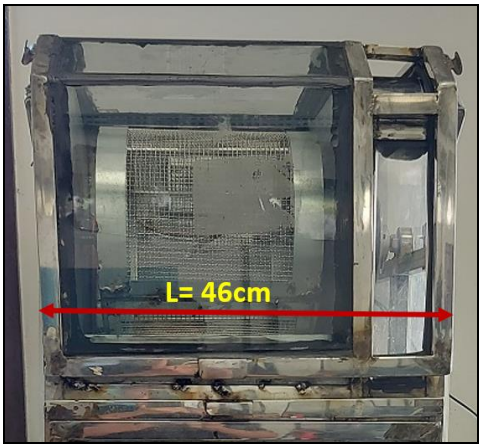
A porta de acesso deste equipamento, foi confeccionada para evitar vibrações e perdas térmicas. Montada com: 3(três) peças de vidro (espessura de 8mm) e borracha automotiva. Tanto os vidro quanto a borracha das portas foram fixados por uma cola especial de alta temperatura. Na figuras 61 e 62 é observável algumas mudanças entre o desenho 3D e o produto final, na nova formatação deste componente houve um prolongamento por toda parte frontal do protótipo com o objetivo de facilitar a montagem e a manutenção.

Figura 61 - Porta de acesso do secador rotativo compacto designer 3d.



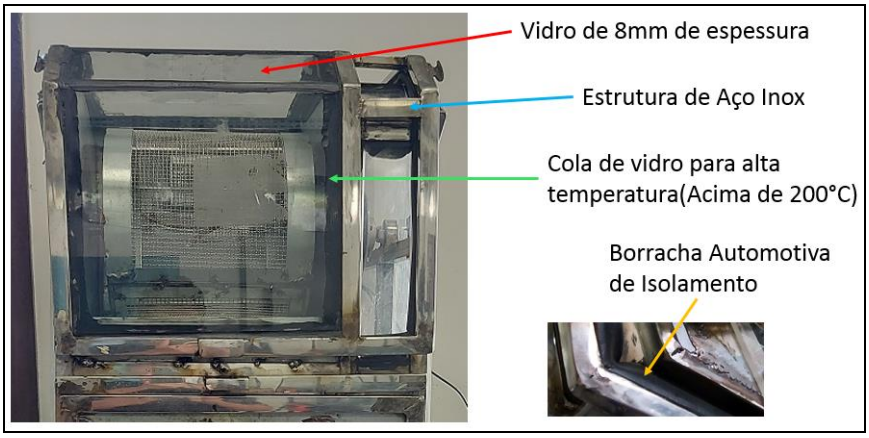
Fonte: Autor(2023)

Figura 62 - Porta de acesso do secador rotativo compacto em aço inox



Fonte: Autor(2023)

Figura 63 - Materiais utilizados na fabricação da porta de acesso do secador rotativo



Fonte: Autor (2023)

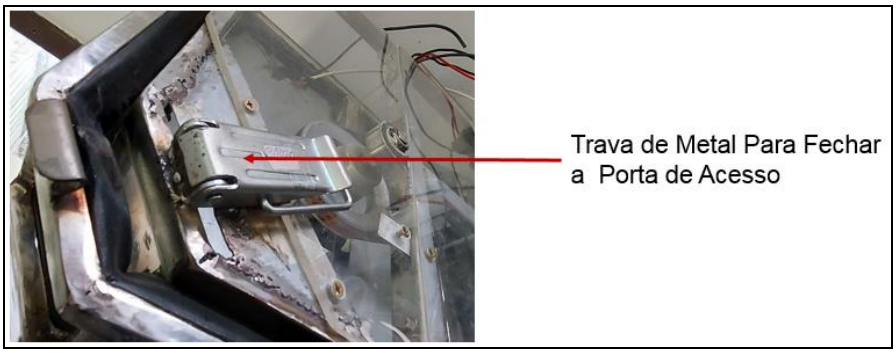
Para facilitar a colocação de resíduo orgânico no equipamento, foram soldados dois apoios de metal sobre as dobradiças (ver figura 64), o que mantem a porta aberta no ângulo de 90º.

Figura 64 - Apoios de metal para sustentação da porta de acesso

Fonte: Autor (2023)

Duas travas de metal foram soldadas em um ângulo de inclinação de 45º nas laterais superiores do secador rotativo (ver figura 65) para selar forma segura o acesso da câmara de secagem.

Figura 65 - Trava de metal para bloqueio da porta de acesso

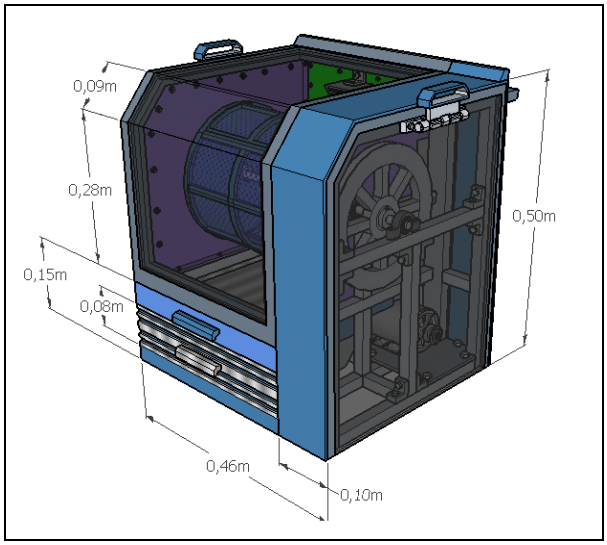


Fonte: Autor (2023)

5.1.8 Secador de grãos rotativo compacto montado

Na confecção das paredes do protótipo (modelo 3d, ver figura 66), foram utilizados dois tipos de materiais; no revestimento do interno do equipamento chapas de metal reforçada para suportar temperaturas elevadas e no revestimento externo placas de acrílico de 8mm de espessura para facilitar a visualização dos componentes do sistema de transmissão (ver figura 67).

Figura 66 - Concepção designer 3d do secador rotativo compacto.



Fonte: Autor(2023)

Figura 67 - Secador rotativo compacto montado em aço inox, metal e acrílico.

Fonte: Autor(2023)

Na parte inferior do protótipo foi montado o compartimento de colocação do banco de baterias, priorizando a ventilação e o fácil acesso para a manutenção (ver a figura 68).

Figura 68 - Compartimento do banco de baterias do sistema fotovoltaico

Fonte: Autor(2023)

5.1.9 Especificação dos dispositivos de proteção do circuito do secador

Estas especificações podem ser observadas na tabela 14. O primeiro disjuntor protege do circuito de alimentação do motor elétrico (DA); o segundo disjuntor (DB) secciona o circuito do sistema de aquecimento de ar e o disjuntor geral (DG) tem a função de proteger ambos os circuitos (ver figuras 69 e 70).

Tabela 14 - Disjuntores de proteção dos circuitos do secador rotativo

Circuito	**Disjuntor**	**Corrente calculada (A)**	**Corrente do disjuntor selecionado**
Micro Motor CA	DA	5,112	10A (monopolar)
Sistema de ar aquecido	DB	4,79	10A (monopolar)
Ambos os circuitos	DG	5,123	20 A (bipolar)

Fonte: Autor (2023)

Figura 69 - Disjuntor monopolar din 10 A curva C

Fonte: Autor (2023)

Figura 70 - Disjuntor bipolar din 20A curva C

Fonte: Autor (2023)

Obetivando proteger o circuito elétrico de picos de tensãos foi seleciano um DPS modelo com 275V e 45KA (Ver figura 71).

Figura 71 - DPS- Dispositivo de proteção contra surtos. Slim classe II 275v e 45kA

Fonte: Autor (2023)

5.1.10 Aterramento do circuito elétrico do secador rotativo

O circuito elétrico do protótipo foi aterrado para protege-lo das descargas atmosféricas, pois é através do aterramento é que o DPS direciona as correntes elétricas originadas por um descarga atmosférica. Neste caso optou-se por utilizar o aterramento do sistema de geração PV.

5.1.10 Especificação dos condutores do circuito elétrico do secador rotativo

As especificações das bitolas e os tipos cabos do circuito elétrico do secador estão presentes na tabela 15, priorizando as correntes de projeto e o isolamento térmico.

Tabela 15 - Descrição das bitolas tipos de condutores do circuitos do secador

Identificação do Ramal	**Bitola Calculada (mm²)**	**Bitola Selecionada (mm²)**	**Especificação**
Da Bateria para o disjuntor D3 e de D3 para o inversor de 1000W	10 mm²	10mm²	Cabo com isolamento EPR e XLP
Do inversor até a chave comutadora	1,5 mm²	2,5mm²	Cabo com isolamento EPR e XLP
Da chave comutadora até o circuito elétrico do secador rotativo	1,5 mm²	2,5mm²	Cabo com isolamento EPR e XLP

Fonte: Autor - (2023)

5.1.11 Especificação dos conectores do circuito elétrico

Foram selecionados conectores do tipo paralelo (para cabos de até 4mm² de bitola), através do critério da capacidade de fluxo de corrente elétrica, para evitar

pontos quentes e consequentemente, melhorar a segurança e a montagem do circuito elétrico do protótipo (figura 72).

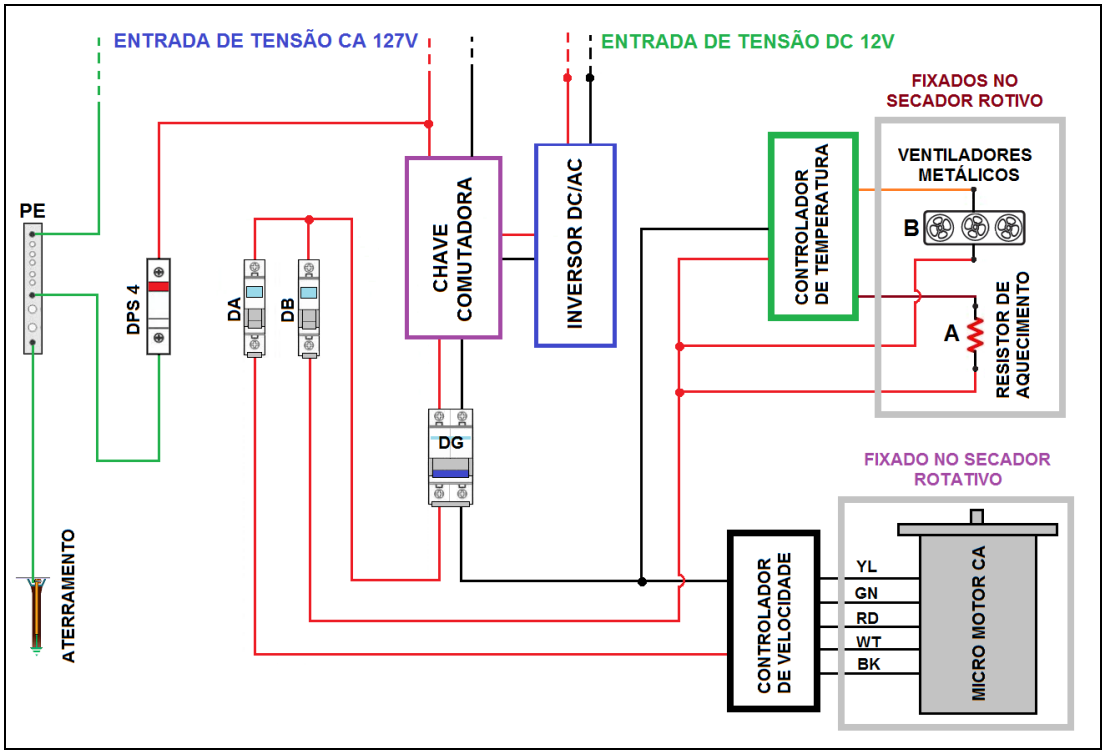
Figura 72 - Conector paralelo para cabos de 4mm²

Fonte: Autor (2023)

5.1.12 Esquema de ligação do circuito elétrico do protótipo

Um esquema de ligação dos componentes foi elaborado para orientação técnica na montagem do circuito elétrico do equipamento (ver figura 73).

Figura 73 - Esquema ligação do circuito elétrico do secador rotativo



Fonte: Autor (2023)

5.1.13 Fixação dos componentes do circuito elétrico do protótipo

Foi confeccionado um painel de ACM (ver figura 74), identificado como Painel 1(1) para comportar os seguintes componentes: controlador de frequência(2), controlador de temperatura(3), disjuntores (DA, DB e DG), inversor de 1000W (04)

que é alimentado por cabo 10mm²(5), conector paralelo(6), cabos terra de 4mm²(7), cabos de alimentação de 2,5mm²(8), plug de alimentação do inversor(9).

Figura 74 - Painel 1 Componentes de proteção, comando, monitoramento e controle

Fonte: Autor (2023)

Os demais dispositivos foram fixados nos seguintes locais: na parte inferior da estrutura do secador rotativo; o micro motor CA e na câmara de confinamento de ar; o resistor, os ventiladores metálicos e os sensores de medição de temperatura.

5.2 Projeto do sistema de geração fotovoltaico

A seguir serão especificados os componentes do projeto do sistema fotovoltaico de acordo com os estudos literários, as orientações da metodologia do trabalho, normas regulamentadoras e os catálogos de fabricantes.

5.2.1 Dimensionamento e Configuração do Banco de Baterias

Nas Tabelas 16 é demonstrado o levantamento do consumo de energia do equipamento, que é primeiro passo para especificar o banco de baterias. Optou-se por um modelo de uma bateria estacionária com a capacidade carga de 60 Ah e tensão nos terminais de 12V.

Tabela 16- Energia elétrica corrigida em KW.h/dia ou KW.h/dias

Motor elétrico monofásico	1	40W	1	1	40W
Ventiladores de circulação de ar	3	10W	1	1	30W
Resistor de aquecimento	1	500W	1	1	500W
			Carga do secador rotativo (Ps)		570,00W
			Energia consumida do secador rotativo		855,00W.h
			Energia corrigida do secador		1055,56W.h
			Energia de autonomia (KW.h/dia)		1055,56W.h/d

Fonte: Autor (2023)

Nas tabelas 17 e 18 estão presentes os dados referentes ao banco de baterias e o rendimento do inversor.

Tabela 17- Informações relacionadas aos dados do banco de baterias

Característica Técnica	Dados	Orientações e informações
Eficiência da Bateria [%]:	90%	Eficiência da bateria (Consultar o catálogo do fabricante)
Eficiência do Inversor [%]:	90%	Eficiência do inversor (consultar o datasheet)
Profundidade de Descarga [%]:	70%	Descarga profunda da bateria (Consultar o catálogo do fabricante)
Capacidade da Bateria [Ah]:	60	Capacidade da bateria (Consultar o catálogo do fabricante)
Tensão de Cada Bateria [V]:	12	Tensão nominal de uma bateria (datasheet da bateria)
Tensão do Banco de Baterias [V]:	12	Tensão do banco de baterias (ou tensão de entrada do Inversor)

Fonte: Autor (2023)

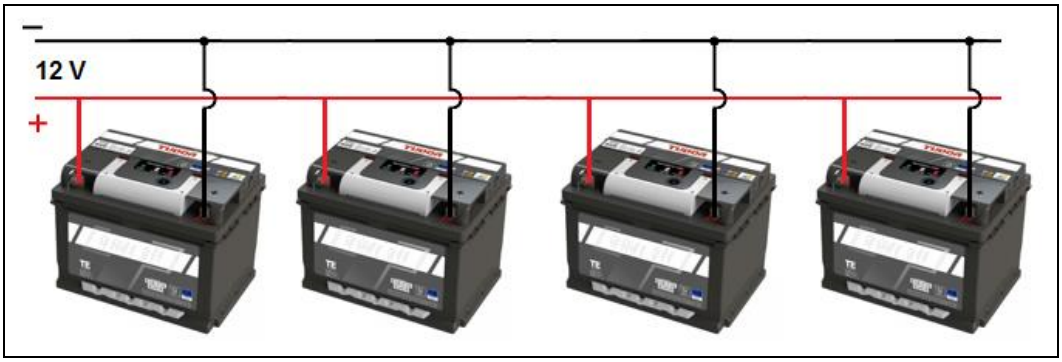
Tabela 18- Especificação do banco de baterias

Número total de Baterias	4
Número de Baterias em Série	0
Número de Baterias em Paralelo	4
Capacidade de Carga do Banco de baterias	$195{,}41\,A.h$
Energia armazenada no banco de baterias	$2.345{,}67$ Wh/dia

Fonte: Autor (2023)

Após ter sido determinado o número de baterias (ver Apêndice A), foi elaborado um esquema de montagem do arranjo destas baterias (ver figura 75).

Figura 75 - Arranjo do banco de baterias de 60 A.h



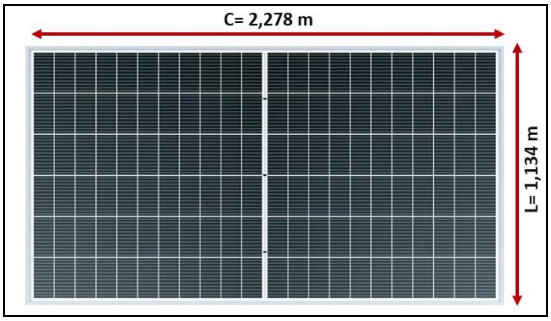
Fonte: Autor (2023)

5.2.2 Especificação dos módulos fotovoltaicos, inversores e conversores

Com objetivo de atingir o melhor desempenho na geração de energia elétrica fotovoltaica, fez-se a seleção por módulos de silício monocristalino (ver figura 76), devido apresentar um custo equivalente aos módulos policristalinos (ver figura 77) e um rendimento superior. É valido enfatizar que até o ano de 2018 os módulos policristalinos tinham a maior fatia do mercado mundial, porém com o avanço das novas técnicas de fabricação, os módulos monocristalinos tiveram uma redução significativa no valor, proporcionando um custo reduzido de fabricação e venda, alterando assim o cenário do atual do mercado mundial de tecnologias fotovoltaicas [34].

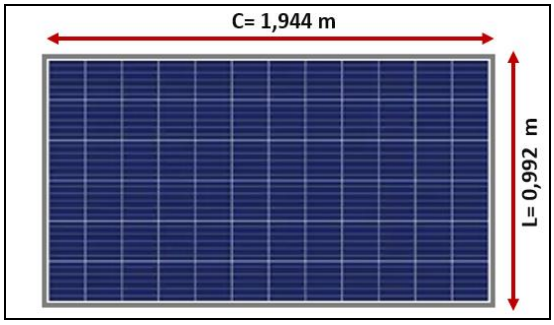
1ª Etapa - Tipos de tecnologia de módulos fotovoltaicos

Figura 76 - Módulo de silício monocristalino



Fonte: Autor (2023)

Figura 77 - Módulo de silício policristalino



Fonte: Autor (2023)

2ª Etapa - Especificações das características técnicas do sistema fotovoltaico e dos módulos fotovoltaicos (ver tabela 19)

Tabela 19 - Especificação técnica das tecnologias dos módulo

Característica Técnica	Módulo policristalino	Módulo monocristalino	Informações técnicas
HSP (horas de sol a pico):	4,69	4,69	Irradiação solar média por região. É obtido no Site da CRESESB Sundata
Rendimento Global [%]:	88,00	88,00	Corresponde aos diversos tipos de perdas de energia (entre 87 e 91 %)
Potência Máxima Módulo [Wp]:	330	540	A Wp é máxima potência gerada no módulo
Comprimento do Módulo [m]	1,944	2,278	Corresponde ao comprimento do módulo (Consultar datasheet do módulo)
Largura do Módulo [m]:	0,992	1,134	Corresponde a largura do módulo (Consultar datasheet do módulo)
Eficiência do Painel [%]:	16,97	20,90	Consultar a eficiência do módulo no datasheet
Tensão Módulo Vmp [V]:	37,26	43	Tensão Máxima Fornecida
Corrente Op. Módulo Imp [A]:	8,86	12,84	Consultar no datasheet do módulo

Fonte: Autor (2023)

3ª Etapa - Os arranjos dos módulos e os demais componentes de um sistema fotovoltaico são elaborados considerando o tipo de tecnologias de reguladores de carga. Um estudo especifico apontou que, através da análises das relações de sintonia de ganho k para os controladores de carga MPPT e PWM, o controlador com tecnologia MPPT conseguiu atingir pontos de potência máxima mesmo sob condições de baixa irradiância [35]. Para efeito comparativo, neste projeto foi feito o dimensionamento do arranjo fotovoltaico utilizando as duas tecnologias de regulação de carga (ver tabela 20).

Tabela 20 - Arranjos de módulos fotovoltaicos com controlador de carga PWM

Informações dos módulos	Módulo monocristalino
Energia Gerada Por um Módulo [W.h/dia]	2228,274
Corrente fornecida através do Arranjo de Baterias [A]	53
Tensão Vmp do arranjo Volts [V]	43
Número de Módulos em Paralelo	1
Número de Módulos em Série	0
Número Total de Módulos	1

Fonte: Autor (2023)

4ª Etapa - Arranjos de Módulos Fotovoltaicos com Controlador de Carga MPPT (ver tabela 21)

Tabela 21 - Arranjos de módulos fotovoltaicos com controlador de carga MPPT

Informações dos módulos	Módulo monocristalino
Energia Gerada Por um Módulo [W.h/dia]	2228,274
Corrente fornecida através do Arranjo de Baterias [A]	48
Tensão Vmp do arranjo Volts [V]	43
Número de Módulos em Paralelo	1
Número de Módulos em Série	0
Número Total de Módulos	1

Fonte: Autor (2023)

5ª Etapa - Potência Elétrica do Inversores com controlador de Carga PWM e MPPT (ver tabela 22).

Tabela 22 - Potência elétrica dos inversor com controlador de carga PWM e MPPT

Tecnologia do dispositivo	Módulo monocristalino
Potência Elétrica do Inversor PWM (W)	1140 W
Potência Elétrica do Inversor MPPT (W)	815,1 W

Fonte: Autor (2023)

7ª Etapa - Tensão elétrica de entrada dos reguladores de carga PWM e MPPT (ver tabela 23).

Tabela 23 - Tensão elétrica de entrada dos reguladores de carga PWM e MPPT

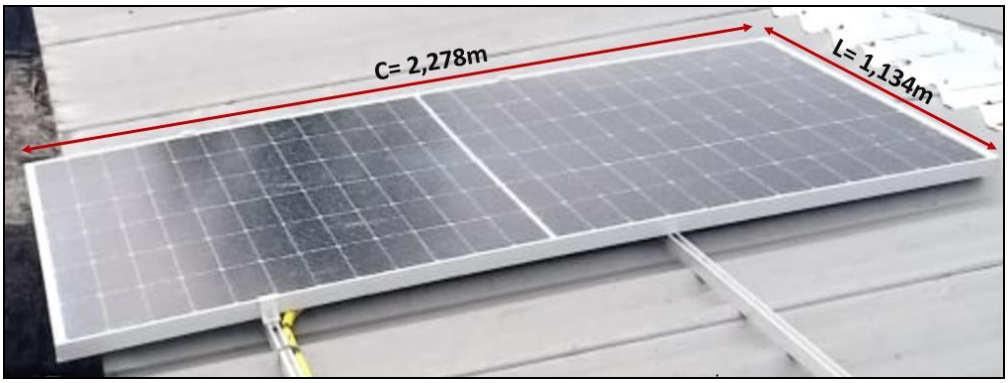
Tecnologia dos dispositivos	Módulo monocristalino
Tensão elétrica de entrada do regulador de carga PWM (V)	18 V
Tensão elétrica de entrada do regulador de carga MPPT (V)	15 V

Fonte: Autor (2023)

5.2.3 Localização, fixação e otimização de geração dos módulos PV

O módulo fotovoltaico de silício monocristalino foi fixado em uma estrutura de alumínio na cobertura do Labotório Compósitos da UFPa (ver figura 78) devido ser o local de maior incidência de radiação solar, o que garante um melhor desempenho na geração de energia elétrica.

Figura 78 - Fixação do módulo fotovoltaico no telhado do prédio do laboratório



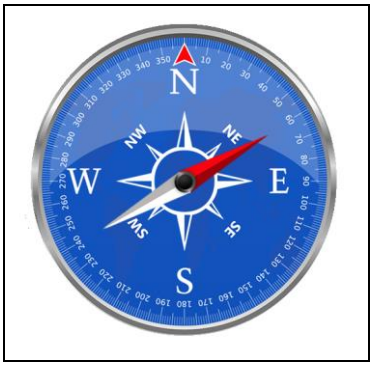
Fonte: Autor(2023)

Para maximizar a produção de energia elétrica do módulo fotovoltaico, utilizou-se a técnica de posicionamento Norte-Sul, e através de uma bússola digital direcionou-se o módulo (ver figura 79). Esta é uma técnica utilizada quando é necessária a injeção de alta potência [36]. A potência de um gerador FV depende diretamente do ângulo de inclinação e orientação. A escolha do local em que o arranjo fotovoltaico deverá ser instalado é um dos fatores determinantes para o melhor desempenho do sistema fotovoltaico [37].

Para analisar o desempenho do módulo monocristalino, foram realizadas diversas leituras da tensão elétrica de saída (ver figura 80) ao longo do dia. Onde obtendo-se valores de leituras variando em uma faixa entre 42,1V e 43V,

comprovando o excelente funcionamento deste módulo de geração PV, pois este valores são ligeiramente superiores ao informado na etiqueta do produto e no catalogo do fabricante, que é na ordem de 42VP.

Figura 79 - Utilização de uma bússola digital na técnica norte sul de fixação de módulos



Fonte: Adaptado pelo Autor (2023)

Figura 80 - Medição da tensão de saída do módulo PV monocristalino

Fonte: Autor(2023)

5.2.4 Dispositivos de proteção do sistema fotovoltaicos

Na tabela 24 são demonstrados as especificação dos dispositivos de proteção do circuito elétrico do sistema de geração PV, cujo os cálculos estão presentes no Apêndice A.

Tabela 24 - Disjuntores de proteção para sistema de geração PV

Identificação do Disjuntor e Descrição	**Corrente do projeto (A)**	**Disjuntor Selecionados (A)**
1- Disjuntor DC para sistemas fotovoltaicos	15 A	20A
D2- Disjuntor DC para sistemas fotovoltaicos	20 A	20A
D3- Disjuntor DC para sistemas fotovoltaicos	50ª	63A
Dispositivo de Proteção contra Surtos. Modelo-VCL 275V	3	45KA

Fonte: Autor (2023)

5.2.5 Sistema de aterramento do protótipo

A descrição dos componentes do sistema do aterramento do protótipo (ver figuras 81, 82 e 83) estão presentes na tabela 25. Estas especificações foram

determinadas seguindo as orientações da norma NBR 16690 de 2013 (Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos).

Tabela 25 - Componentes do sistema de aterramento

Componentes	Quantidade
Haste de ½'' de Cobreada para Aterramento de 1,5 m de comprimento	1
Conector para haste de aterramento	1
Cabo Verde de 6mm² Antchama para aterramento	18 metros

Fonte: Autor (2023)

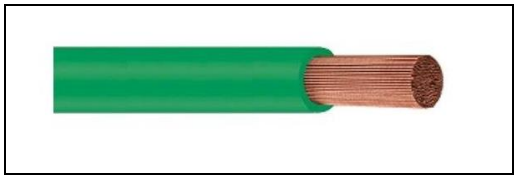
Figura 81 - Haste de ½'' de cobreada de aterramento 1,5 m

Fonte: Autor (2023)

Figura 82 - Conector para haste de aterramento

Fonte: Autor (2023)

Figura 83 - Cabo verde de 6mm² para aterramento



Fonte: Autor (2023)

5.2.6 Especificação dos condutores do sistema fotovoltaico

Na tabela 26 abaixo são especificados as bitola dos condutores por ramal do circuito elétrico do Sistema de Geração PV, que foram obtidas de acordo com as recomendações descritas na metodologia.

Tabela 26 - Descrição das bitolas do condutores do sistema de geração PV

Identificação do ramal	Bitola calculada (mm²)	Bitola selecionada (mm²)	Especificação
Do modulo fotovoltaico até o aterramento	6 mm²	6 mm²	Cabo blindado especial para Geração PV
Do DA até controlador de carga	2,5 mm²	6mm²	Cabo blindado especial para Geração PV
Do controlador de carga até DB para a bateria	2,5 mm²	6mm²	Cabo com isolamento EPR e XLP
Da Bateria para o disjuntor DC até o DG para o inversor de 1000W	10 mm²	10mm²	Cabo com isolamento EPR e XLP,
Do módulo fotovoltaico até aterramento	4 mm²	6mm²	Cabo com isolamento EPR e XLP
Do inversor até a chave comutadora	2,5 mm²	2,5mm²	Cabo com isolamento EPR e XLP
Da chave comutadora até o circuito elétrico do secador rotativo	2,5 mm²	2,5mm²	Cabo com isolamento EPR e XLP

Fonte: Autor (2023)

5.2.7 Conetores dos cabos elétricos para o sistema fotovoltaico

Os conectores de cabos sãos elementos fundamentais para evitar perdas causadas por má condução elétrica entre um dispositivo ou cabos, a seleção destes conectores foram efetuadas seguindo o critério recomendados na metodologia. Na tabela 27, estão listados os tipos de conectores e nas figuras 84, 85 e 86 sãos mostrados os modelos reais de cada deles.

Tabela 27 - Modelos de conectores e suas aplicações

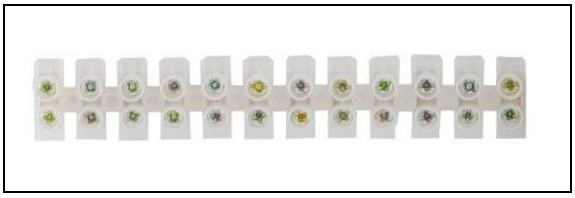
Tipo de Conectores	Aplicação
Conector paralelo	Utilizado para conectar cabos de diferentes bitolas de circuitos elétricos. Cada conector possui uma bitola limite.
Barra de cobre	Este tipo de conector serve para interligar cargas com potência elevada e também pode concentrar diversos cabos de um sistema a aterramento ou cabos neutros
Conector MC4	É o conector padrão de módulos fotovoltaicos, ser para conectar módulos fotovoltaicos

Fonte: Autor (2023)

Figura 84 - Conector MC4

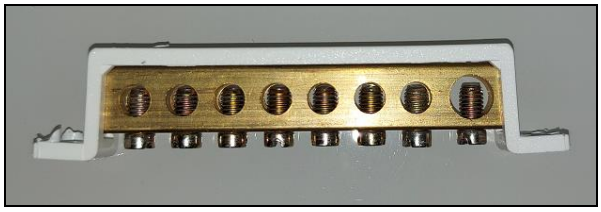
Fonte: Autor (2023)

Figura 85 - Conector paralelo



Fonte: Autor (2023)

Figura 86 - Barra de cobre

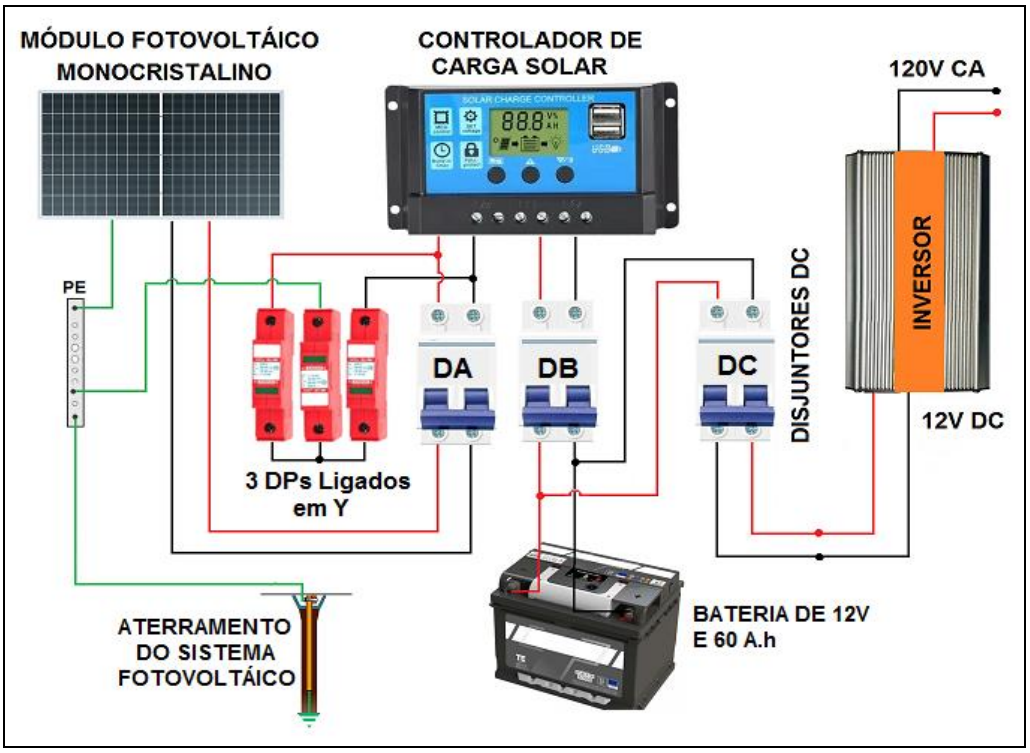


Fonte: Autor (2023)

4.2 8 Esquema de ligação do circuito elétrico do sistema de geração PV

O esquema de ligação de ligação do circuito do circuito do sistema de geração PV, foi elaborado para facilitar a montagem e manutenção do mesmo (ver figura 87).

Figura 87 - Esquema de ligação do circuito elétrico do sistema de geração PV



Fonte: Autor(2023)

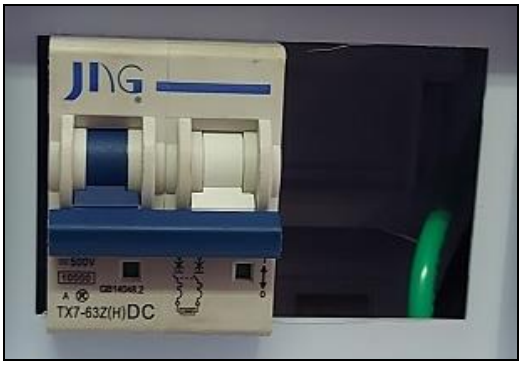
5.2.9 Fixação dos componentes do sistema de geração PV

O painel 2, foi projetado para a fixação os principais componentes que fazem parte do sistema de geração PV, exceto o inversor DC/AC de 1000W (que por motivo de praticidade foi fixado no Painel 1) e o disjuntor D1 de 20A, que foi instalado em uma caixa embutida individual (ver figuras 88 e 89) que tem a função proteger e conectar alimentação de energia em VCC do módulo fotovoltaico.

Figura 88 - Caixa embutida individual fechada.

Fonte: Autor(2023)

Figura 89 - Caixa embutida individual aberta.

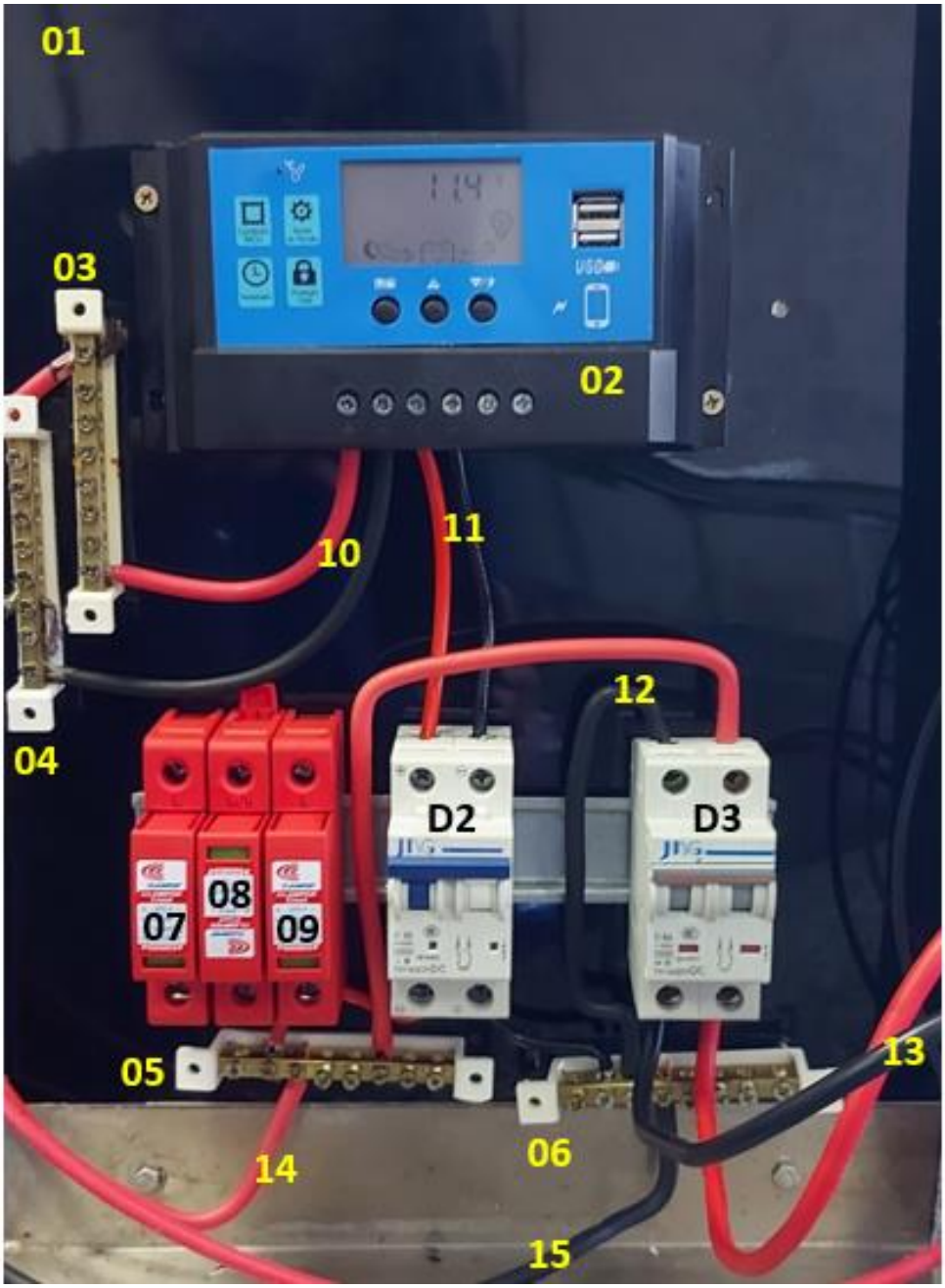


Fonte: Autor(2023)

Na figura 90 estão identificados numericamente os componentes que foram fixados no Painel 2 (1): o controlador de carga PWM(2), disjuntor D2, disjuntor D3, conectores de barra de cobre (3,4,5 e 6), DPS1(7), DPS2(8), DPS3(9), ramal de alimentação dos módulos fotovoltaicos cabos de 6mm² blindado(10), ramal alimentação do regulador de carga para a bateria de cabo 6mm²(11), ramal de

alimentação do inversor com cabo 10mm²(12), ramal de alimentação do inversor com cabo 10mm²(13) e o ramal de conexão da bateria de 10mm² (14 e 15).

Figura 90 - Painel 2- Sistema de geração PV

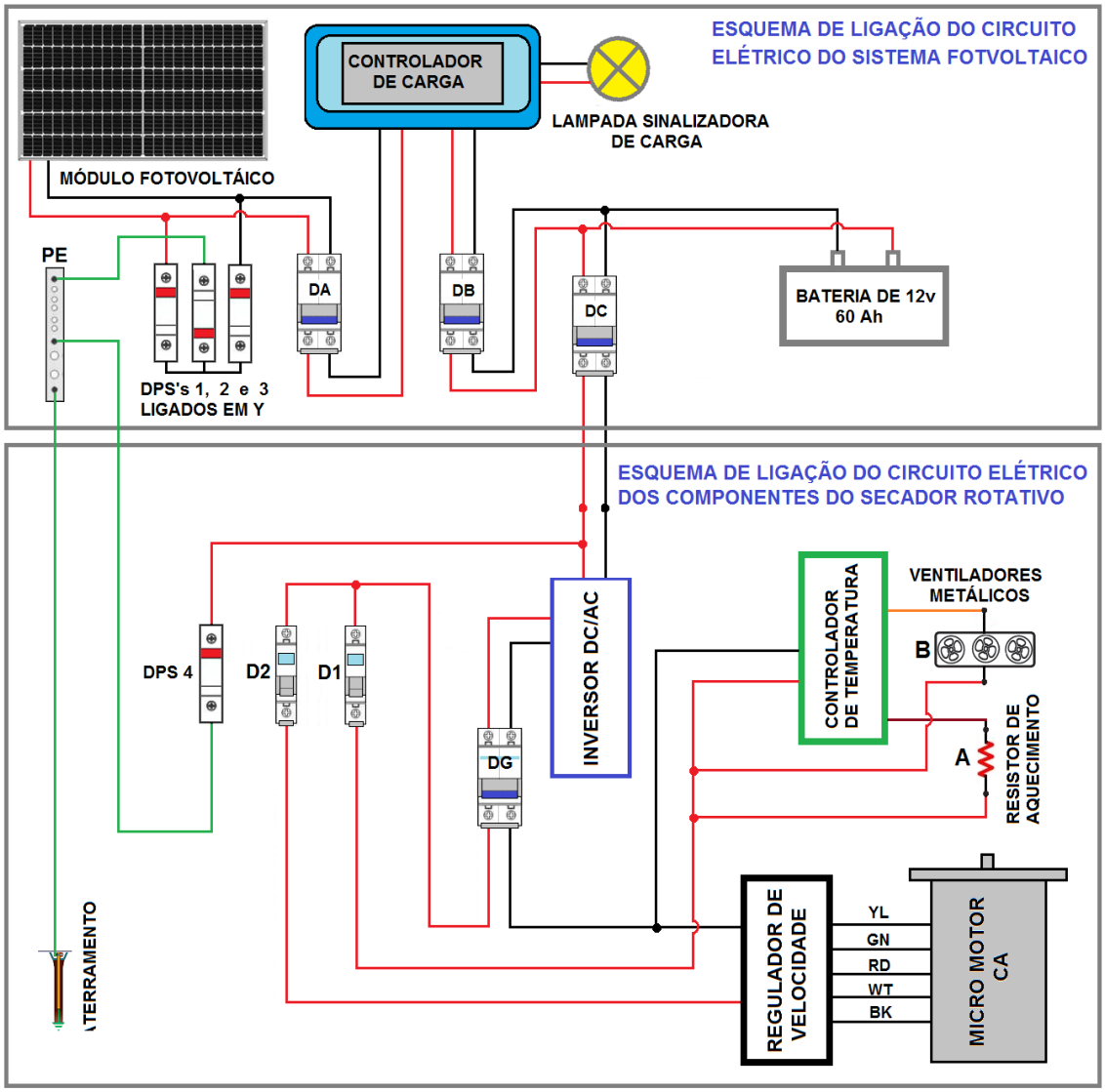


Fonte: Autor(2023)

5.3 - Especificação esquema geral de ligação dos circuitos elétricos

O esquema geral de ligação (ver figura 91) foi elaborado para simplificar a integração e montagem dos respectivos circuitos elétricos, sistema fotovoltaico e do secador de grãos rotativo.

Figura 91 - Esquema de ligação geral dos circuitos elétricos



Fonte: Autor(2023)

5.4 Analise de custo do geral do projeto

A análise de custos, é excêncial para verificar a viabilidade econômica do projeto. Neste caso em particular, os custos são os seguintes: gastos com materiais mecânicos, componentes eletrônicos/elétricos, dispositivos do sistema fotovoltaico, transporte e mão de obra.

5.4.1 Custo dos componentes eletroeletrônicos do secador comercial

Na Tabela 28 estão presentes os custos dos componentes eletroeletrônicos do secador de grãos rotativo compacto.

Tabela 28 - Custo dos componentes eletroeletrônicos do secador rotativo compacto.

Especificação	Loja	Valor
Micro Motor CA de 40W	Ailton Braga Automação.	R$ 800,00
Regulador de Velocidade	Ailton Braga-Automação	R$ 300,00
Taxa de Transporte SEDEX do Motor e do Regulador	Correios	R$ 200,00
Controlador de Temperatura Bivolt (127V e 220V)	Macatron	R$ 240,00
Resistência Reta de 30cm. 250 W-127V (2-uni.)	Casa das Resistencias	R$ 188,00
Aluminio para Monatgem de Aletas	Aluminio Ciadade Nova	R$ 110,00
Isolador Porcelana Resistores Cilíndricos	Mercado Livre	R$ 40,00
Micro Ventilador Aço-80x80x38mm (110-R$ 54-3uni.)	TIP Eletronica	R$ 162,00
Potenciômetro Para Regulação de Velocidade	TIP Eletronica	R$ 40,00
Potenciômetro de 600W Para Regulação da Temperatuta	TIP Eletronica	R$ 79,90
Disjuntor Bipolar de 20 A Curva C 3ka	TIP Eletronica	R$ 54,90
Disjuntor Monopolar 10 A Curva C (uni. R$ 54,90--3uni.)	TIP Eletronica	R$ 162,00
DPS Slim Modelo-VCL 275V 45ka	Amazon.com	R$ 58,26
Interruptor Diferencial 4p 25A 30ma branco gelo	Amazon.com	R$ 169,00
Chave de Transferência Manual 63A-3P (uni. R$ 196,85)	Mercado livre	R$ 196,85
Cabos elétricos de 2,5 mm²-Preto (1m R$ 2,16-12 m)	TIP Eletronica	R$ 26,00
Cabo elétrico de 2,5 mm²-Vermelho (1m R$ 2,16--12 metros)	TIP Eletronica	R$ 26,00
Cabo flexivel 6mm²- Verde-Aterramento (o metro R$ 9,86-4m)	Mercado livre	R$ 39,44
Fita Isolante Slim, 18mm X 20m, Preta (Uni. R$ 7,00)	Amazon.com	R$ 7,00
Fita Isolante Auto Fusão 10m Preta (Uni. R$ 49,90)	Mercado Livre	R$ 49,90
Isolante Térmico (uni. R$ 20,0--6 uni)	Marelli	R$ 120,00
Conector Barra 16mm² com 12 Polos Incolor	TIP Eletronica	R$ 38,00
Barramento Terra 10 Terminais Trilho Din (uni. R$ 37,48--1 uni.)	Amazon.com	R$ 37,48
Chapa Acm Preto Brilho-(99,5cmx51cmx3mm-uni. R$ 268,75)	Mercado Livre	R$ 268,75
Trilho de Fixação Montagem Elétrica (35 X 2cmX1,2m)	Tip Eletronica	R$ 110,00
	Valor Resultante	R$ 3.523,48

Fonte: Autor (2023)

Na Tabela 29 está a Listagem 2, dos custos relacionados a mecânica, estrutura e funilaria do secador rotativo compacto.

Tabela 29 - Custo da mecânica, estrutura e funilaria secador rotativo compacto.

Especificação	Loja	Valor
Tela de Aço Malha fio 304	Ferreira Comercial	R$ 189,00
Polia de 10 cm de diâmetro	Casa do Parafuso	R$ 35,00
Polia de 11 cm de diâmetro	Casa do Parafuso	R$ 38,00
Correia Borracha (30 cm)	Casa do Parafuso	R$ 40,00
Barra de Rosca, Aço-1/2"=16mm² x1m (uni. R$ 13,29)	superproatacado.com.br	R$ 13,29
Serviço de Tornearia	Tornearia Cabanagem	R$ 80,00
Parafuso Allen 6mm² (Pacote 10 uni. R$ 29,75)	projetteparafusos.com	R$ 29,75
Metalon Retangular-200X1X1 cm (uni. R$84,00-3 uni.)	Aço Paraense	R$ 252,00
Metalon 20x30mmX150cm Chapa 18 (3uni. R$ 115,00)	Mercado Livre	R$ 115,00
Vidros da Porta de Abertura (3uni. R$ 84,00)	Fábrica de vidros Guanabara	R$ 84,00
Cortador de Vidros Caneta Diamante (Uni. R$ 69,90)	Casa do Parfuso	R$ 100,00
Borracha de Vedação Automotiva (2m= R$ 40,00)	Autos do Icui Guajará	R$ 40,00
Cola Silicone Black Alta Temp. (tub. R$ 35,00-4tub)	Mercado Livre	R$ 140,00
Dobradiça Zamac Industrial (Uni. R$ 24-2 uni.)	Mercado Livre	R$ 48,00
Fecho Engate de Pressão-Aço Inox (Uni. R$ 41,90-2uni)	Mercado Livre	R$ 83,80
Placa de Acrílico de 6mmx1mX0,5m (uni.180,83)	acriloja.com	R$ 80,83
Fita Dupla-Face, VHB (19 mm x 20m)	Amazon.com	R$ 46,71
Pé de Borracha Nivelador (Kit C/ 4 uni. R$ 29,00)	shopee.com.br	R$ 29,00
Eletrodo Inox E-308L (0,5Kg)	Aço Paraense	R$ 74,00
Disco de Flap 4.1/2" G120 (uni.)	Aço Paraense	R$ 12,45
Pescoço Abaulado 1.1/2" x 5/8" AISI 304 (2 uni.)	Aço Paraense	R$ 11,00
Pescoço 1/2" p/ tubo de 1.1/2" 304	Aço Paraense	R$ 29,44
Chapa de Galvanizada 18 (2x1,2m)	Costa e Carvalho Comercio Varejista	R$ 26,22
Mão de Obra		R$ 265,00
	Valor Resultante	R$ 4.562,49

Fonte: Autor (2023)

5.4.2 Custo do sistema de geração PV

O custo especifico dos materiais, componentes e mão de obra do sistema de geração fotovoltaico é demonstrados na Tabela 30.

Tabela 30 - Custo do projeto do sistema fotovoltaico do secador rotativo compacto.

Especificação	Loja	Valor
Módulo Fotovoltaico Monocristalino (540W BYD)	Mercado Livre	R$ 1.567,00
Bateria 12 volts 60 A.h	Tip Eletronica	R$ 1.440,00
Inversor de onda senoidal pura de 1000W	Tip Eletronica	R$ 788,00
Controlador de carga PWM 40A	Tip Eletronica	R$ 254,00
DPS Slim Classe II - 275V 45ka (uni. R$ 58,26--3ni.)	Amazon.com	R$ 174,00
Disjuntor Bipolar 20A Dc-1000v (uni. R$ 57,00--2uni)	Tip Eletronica	R$ 114,00
Disjuntor Dc 63A - Bipolar P/ Sistema Off Grid	Mercado Livre	R$ 79,11
Cabo blindado 6mm² - Vermelho 1,8 kV (R$ 7,29 p/ m-16m)	Neosolar.com	R$116,5
Cabo blindado 6mm² - Preto 1,8 kV (R$ 7,29 p/ m-16m)	Neosolar.com	R$116,5
Cabo flexivel 10mm²- Vermelho (1m=R$ 7,87-4m)	Santil.com.br	R$ 31,48
Cabo flexivel 10mm²-Preto (1m=R$ 7,87-4m)	Santil.com.br	R$ 31,48
Barramento Terra 10 Terminais Trilho Din	Amazon.com	R$ 187,40
Montador (Instalador)		R$ 300,00
	Valor Resultante	R$ 5199,47

Fonte: Autor (2023)

5.4.3 Custo resultante do secador rotativo e o sistema de geração PV

O custo do resultante do projeto do secador de grãos rotativo compacto é a soma de todos valores dos gastos com a implementação tanto do projeto do secador rotativo quanto a implementação do sistema de geração fotovoltaica off grid, e a conexão do seu circuito elétrico com o circuito de controle e comando, ele é demonstrado na Tabela 31.

Tabela 31 - Custo total dos projetos do secador rotativo e o sistema de geração PV.

Especificação	Valor
Custo do circuito elétrico do secador rotativo compacto	R$ 3.523,48
Custo da parte mecânica do secador rotativo compacto	R$ 4.562,49
Custo total de fabricação do secador rotativo compacto	R$ 8.085,97
Custo do sistema fotovoltaico	R$ 5.199,47
Custo total do projeto do secador rotativo compacto	R$ 13.285,44

Fonte: Autor (2023)

5.5 Determinação do payback do sistema de geração PV do protótipo

O Payback obtido deste projeto é de 3(três) anos e 7(sete) meses, este tempo de retorno é calculado no Apêndice A, e levou-se em consideração as seguintes variáveis: o valor KW.h cobrado pela concessionária, o funcionamento do secador rotativo por 8 horas diárias (3 secagens no tempo de 2,5 horas) e o custo do projeto do sistema fotovoltaico.

Analisando o valor do Payback obtido, conclui-se que ele é um pouco menor do que com a média nacional, que é um período de 4 anos. Tornando viável este projeto de geração PV.

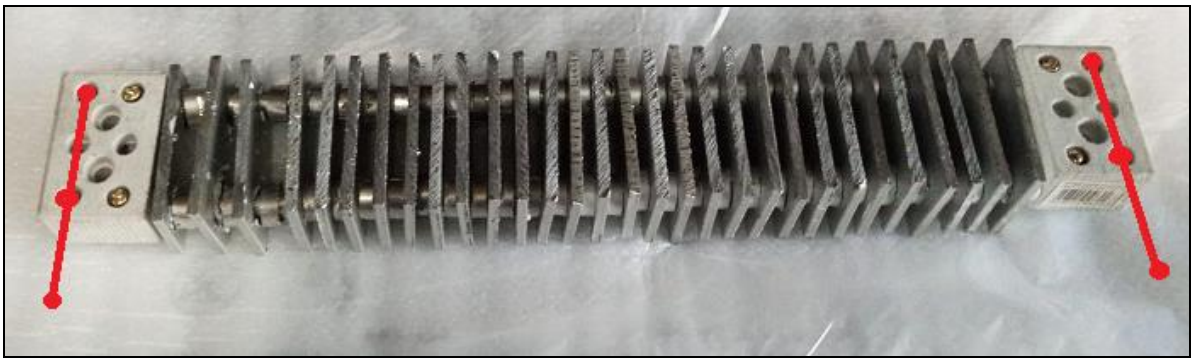
5.6 Experimentos

Os experimentos em laboratório foram desenvolvidos sob 3(três) pilares, o uso eficiente da energia elétrica, a análise das variáveis envolvidas no processo e o ajustes de forma manual dos dispositivos. As variáveis que foram analisadas são: tempo do processo, velocidade de rotação do tambor, tempo que o secador de grãos rotativo compacto leva para atingir a temperatura padrão de 70°C, tipo das frações e a potência elétrica das configurações dos resistores da câmara de confinamento de ar.

4.6.1- 1° Experimento

No primeiro experimento os dois resistores que constituem a resistência aletada do sistema de aquecimento foram conectados em paralelo (ver figura 92), o que proporcionou uma dissipação de potência elétrica máxima de 500W com um fluxo quente de forma distribuída entre as aletas de alumínio.

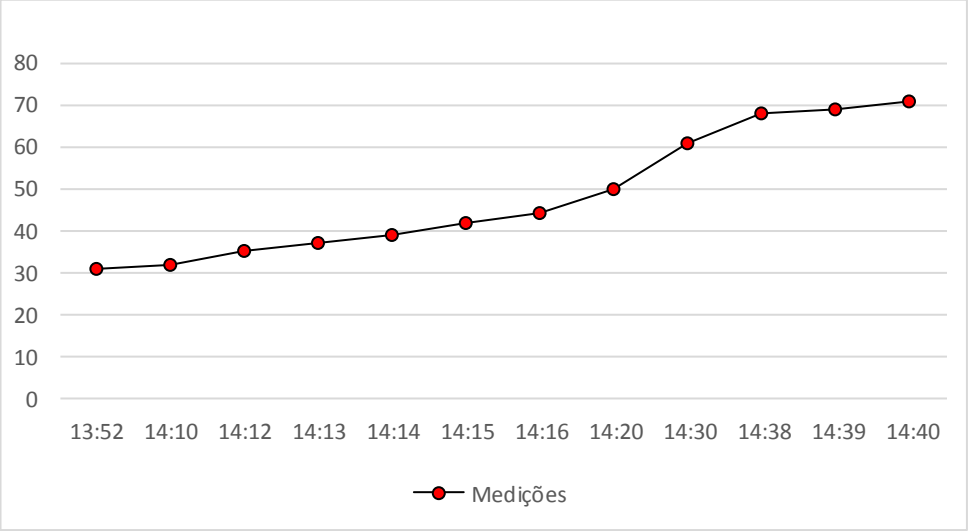
Figura 92 - Resistores ligados em paralelo. Potência de 500W



Fonte: Autor (2023)

No processo de secagem dos caroços de açaí, foram realizadas leituras das temperaturas no período de 2:43 (duas horas e quarenta e três minutos), que variaram entre 66ºC e 71°C, utilizou-se o set point do controlador de temperatura para o monitoramento. A outra variável que foi lida e regulada é velocidade de rotação do tambor. Na primeira parte do experimento, com o tambor rotacionando a 42,85rpm, o secador rotativo demorou um período de 48 minutos para atingir a temperatura de 70°C (ver gráfico 1).

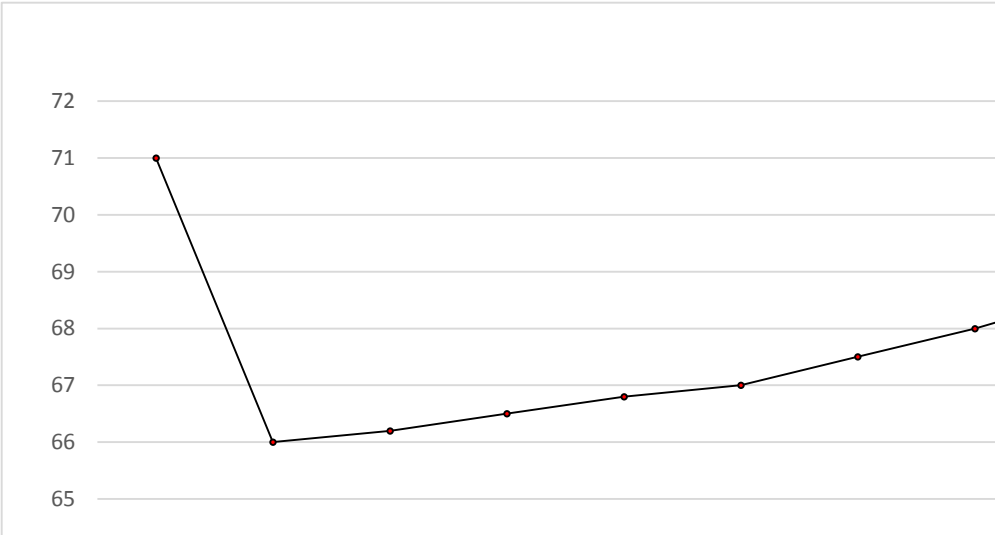
Gráfico 1- 1º Experimento, fase 1. Processo de aquecimento. Tempo (min.) e Temperatura(°C)



Fonte: Autor 2023

Para manter a temperatura do processo dentro da margem ideal, desligou-se o resistor por 5 minutos e mantendo a mesma velocidade de rotação do (ver gráfico 2)

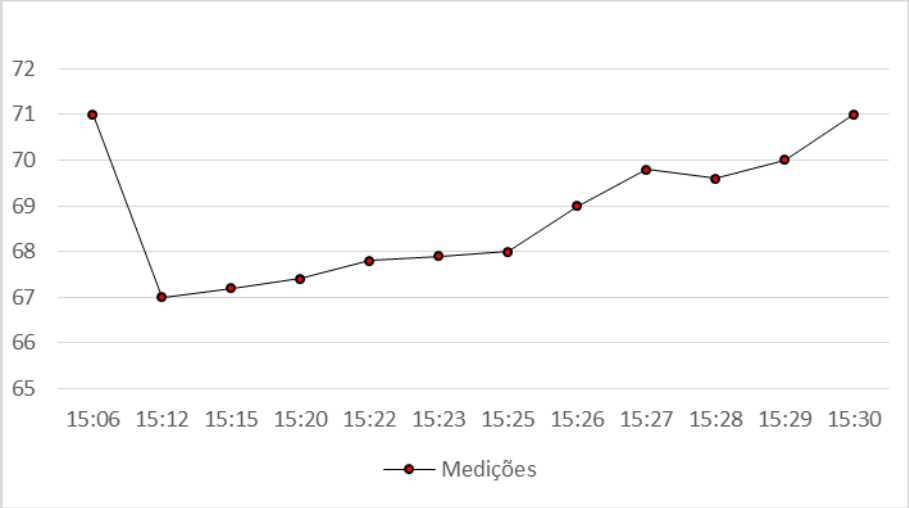
Gráfico 2 – 1º Experimento, Fase 2. Desligamento de 5 minutos. Processo de aquecimento. Tempo (min.) e Temperatura(°C)



Fonte: Autor 2023

Com desligamento do resistor por 5 minutos houve uma queda na temperatura interna da câmara em 5°C, saindo de 71°C para 66°C. Depois o resistor foi acionado novamente, levanto o tempo de 20 minutos para atingir 71°C. Em seguida realizou-se um segundo desligamento, durante de 5 minutos, a temperatura decaiu de 71° para 67°C. Logo após isso, aumentou-se a frequência de rotação do tambor para 57,64 rpm e novamente o resistor foi acionado (ver o gráfico 3).

Gráfico 3 - 1º Experimento, Fase 3. Processo de aquecimento. Tempo (min.) e Temperatura(°C)



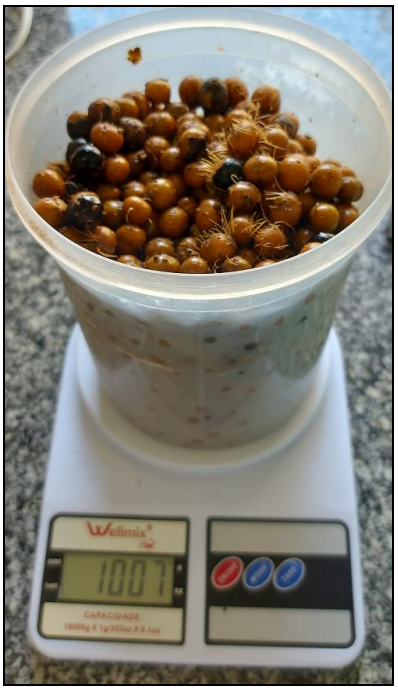
Fonte: Autor 2023

Através da análise do gráfico 3, é perceptível que, o aumento de velocidade de rotação do tambor proporciona o aumento de tempo de aquecimento

câmara. No caso da velocidade mais baixa de 42,85rpm demorou o tempo 10 minutos para atingir 71°C, já com o aumento da velocidade para 57,6 rpm o processo levou 18 minutos para atingir a temperatura padrão de secagem de 70°C.

No processo da extração das frações dos caroços de açaí, procedeu-se da seguinte forma: em uma balança digital foi medido a massa de aproximadamente 1,07Kg de caroços de açaí (ver figuras 93). Após a pesagem dos caroços de açaí, eles foram colocados no interior do tambor rotativo (ver figura 94)

Figura 93 - Pesagem dos caroços de açaí



Fonte: Autor (2023)

Figura 94 - Caroços de açaí no Interior do tambor rotativo

Fonte: Autor (2023)

Ao termino da secagem dos caroços de açaí, foram extraídas as seguintes frações: fibras, é a fração que apresenta o aspecto de esponja ou estopa (ver imagem 95).

Figura 95 - Frações de fibras retiradas do secador rotativo compacto

Fonte: Autor (2023)

Fibrilas (ver imagem 96), ou micro fibras de micro fibras.

Figura 96 - Ajuntamento de fibrilas originadas dos caroços de açaí.

Fonte: Autor (2023)

Particulado insolúvel do mesocarpo (ver imagem 97), que é conhecido vulgarmente como a borra do açaí.

Figura 97 - Particulado insolúvel do mesocarpo do açaí (borra do açaí)

Fonte: Autor (2023)

Endocarpo (caroço do açaí). Na figura 98, é possível observar os níveis de desidratação e desfibramento que os caroço de açaí podem ficar ao longo do processo de secagem.

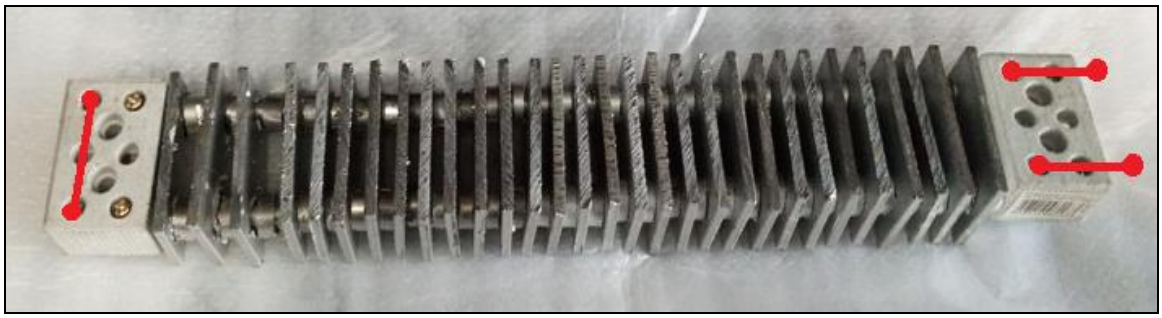
Figura 98 – Níveis de secagem dos caroços de açaí

Fonte: Autor (2023)

5.6.2 - 2° Experimento

No segundo experimento os dois resistores da resistência aletada, foram conectados na configuração em série (ver figura 99), produzindo uma dissipação de potência de 125W com o fluxo de ar quente uniforme distribuído nas aletas de alumínio. Olhando do ponto de energético, a configuração em serie dos resistores apresentam uma magnitude 3(três) vezes menor do que a configuração em paralelo de 500W.

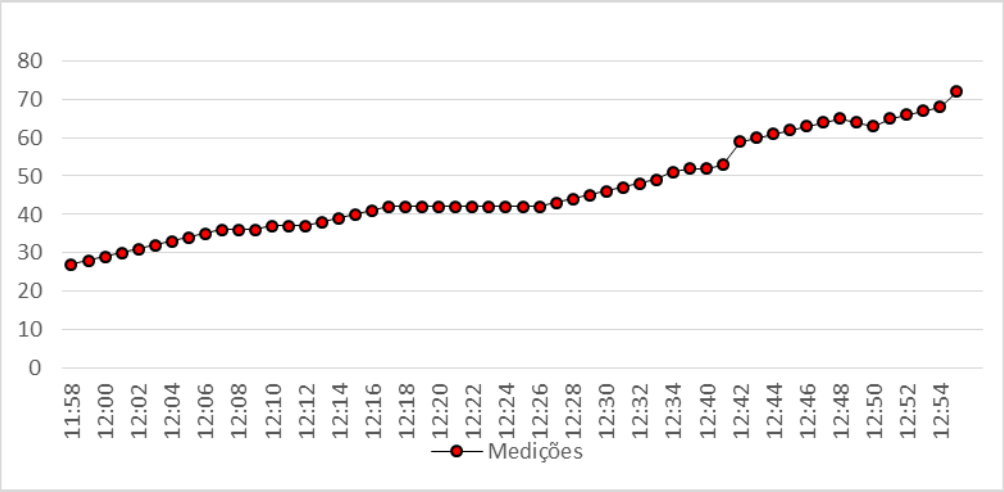
Figura 99 - Resistores ligados em série. Potência de 125W



Fonte: Autor (2023)

Em operação monitorada por um controlador de temperatura, constatou-se que, o secador rotativo atingiu a temperatura 71°C em 58 minutos de funcionamento (ver gráfico 4).

Gráfico 4 – 2º Experimento. Processo de aquecimento. Tempo (min.) e Temperatura (°C)



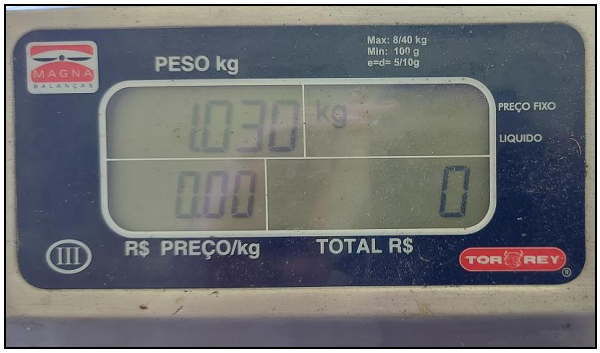
Fonte: Autor 2023

Para executar a extração das frações dos caroços do açaí, procedeu-se da seguinte forma: foi medido a massa de aproximadamente 1,03Kg de caroços de açaí (ver figuras 100 e 101), em seguida eles foram colocados no interior do tambor rotativo (ver figura 102) para serem secados em uma velocidade 57,6rpm.

Figura 100 - Pesagem dos caroços de açaí

Fonte: Autor (2023)

Figura 101 - Leitura da pesagem dos caroços



Fonte: Autor (2023)

Figura 102 - Caroços de açaí no interior do tambor rotativo (experimento 2)

Fonte: Autor (2023)

Após o processo de secagem em temperatura de 70ºC no período de 54 minutos foram extraídas fibras de boa qualidade (ver figura 103), demonstrando o bom funcionamento do equipamento.

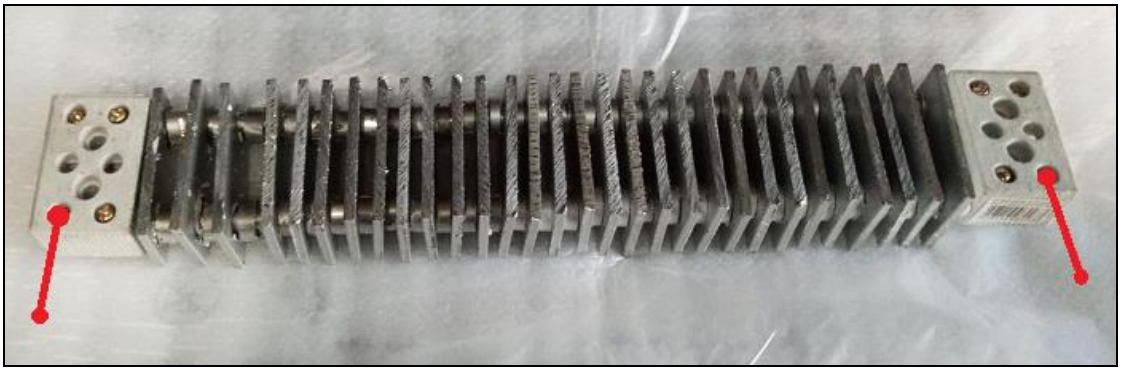
Figura 103 - Frações de fibras retiradas do secador rotativo compacto

Fonte: Autor (2023)

5.6.3 - 3º Experimento

No 3°experimento desenvolvido foi alterada a configuração dos do resistores que estavam conectados em série com 125W (dois resistores de conectados em série) para um único conectado em paralelo, resultando no nível máximo em potência de 250W (ver figura 104), ou seja, o dobro da potência utilizada no 2° experimento, nesta configuração apenas o resistor localizado na parte inferior produziu aquecimento do ar entre as alentas de modo não uniforme.

Figura 104 - Um Resistor conectado em série com potência de 250W

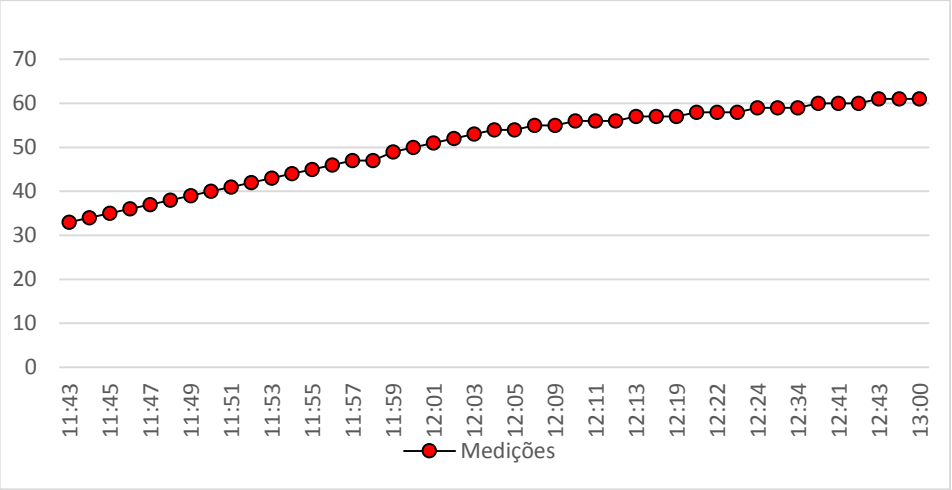


Fonte: Autor (2023)

Nesta configuração. Analisando o gráfico 5, é possível notar que, no período compreendido das 11:43hs às 12:04hs o resistor desempenhou bem o processo de aquecimento, porém a partir do período das 12:05hs às 12:35hs o

processo de aquecimento teve um aumento de temperatura bem cadenciado (lento), com uma variação de 7°C, saindo de 54°C para 61°C.

Gráfico 5 - 3º Experimento. Processo de aquecimento. Tempo (min.) e Temperatura (°C)



Fonte: Autor 2023

Através da análise dos tipos de subprodutos extraídos, observou-se a extração de muitas fibras duplas (ver a figura 105), característica, justificável por causa da hidratação do caroços de açaí antes da secagem.

Figura 105 - Retiradas das frações no 3° experimento após a hidratação do resíduos

Fonte: Autor (2023)

5.6.4 - 4º Experimento

No 4º(quarto) experimento foram obtidas as porcentagens de cada subprodutos do processo de extração. Utilizando como material estudo os caroços de açaí dos 2º e 3º experimentos.

Sabendo-se que o peso total dos caroços úmidos é igual a 1003g, aplicando-se uma regra de três simples, onde determinou-se a seguinte porcentagens: 4,78% de fibras mais fibrilas (figura 106) corresponderam a uma

massa de 48g; 0,5% de particulado insolúvel do mesocarpo (107) que corresponde a 5g, e 63% (sessenta e três porcento) de endocarpo desidratados e desfibrados (ver figura 108) que corresponde ao peso de 632g.

Figura 106 - Fibras e fibrilas originadas dos caroços de açaí.

Fonte: Autor (2023)

Figura 107 - Particulado insolúvel do mesocarpo do açaí (borra do açaí)

Fonte: Autor (2023)

Figura 108 – Endocarpo (caroços de açaí secados e desfibrados)

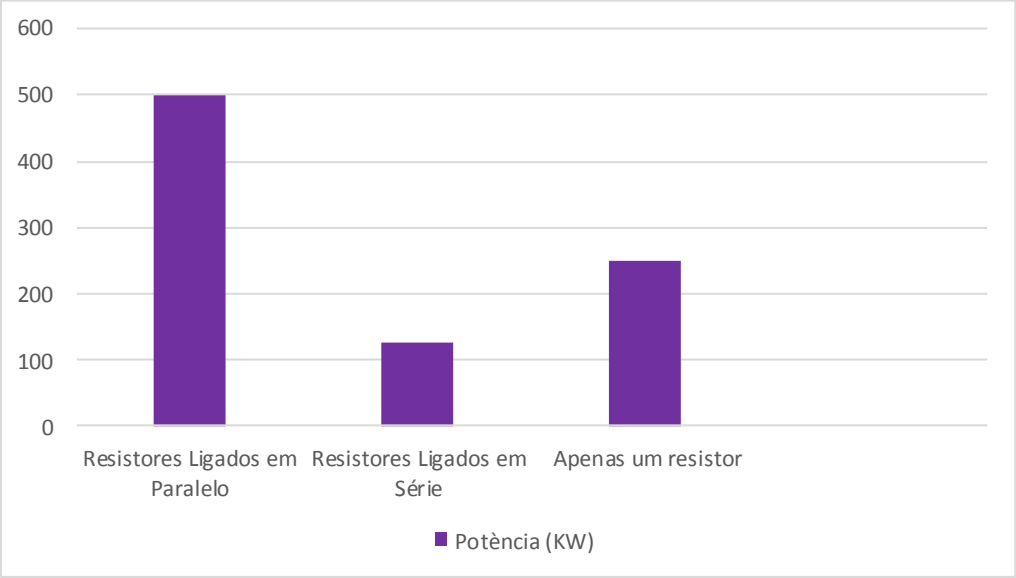
Fonte: Autor (2023)

5.6.5 – Analise gráfica das variáveis do processo de secagem

Na análise gráfica das variáveis do processo de secagem, serão demonstrados graficamente o comportamentos das variáveis diante dos três tipos de configurações dos resistores.

Gráfico da potência elétrica (ver gráfico 6).

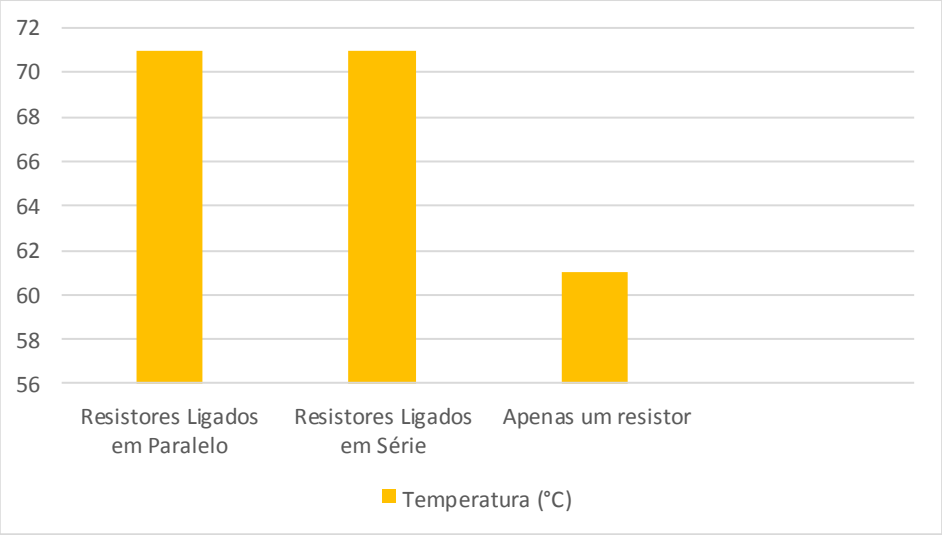
Gráfico 6 - Potências em função da configuração dos resistores



Fonte: Autor (2023)

Gráfico das temperatura (ver gráfico 7).

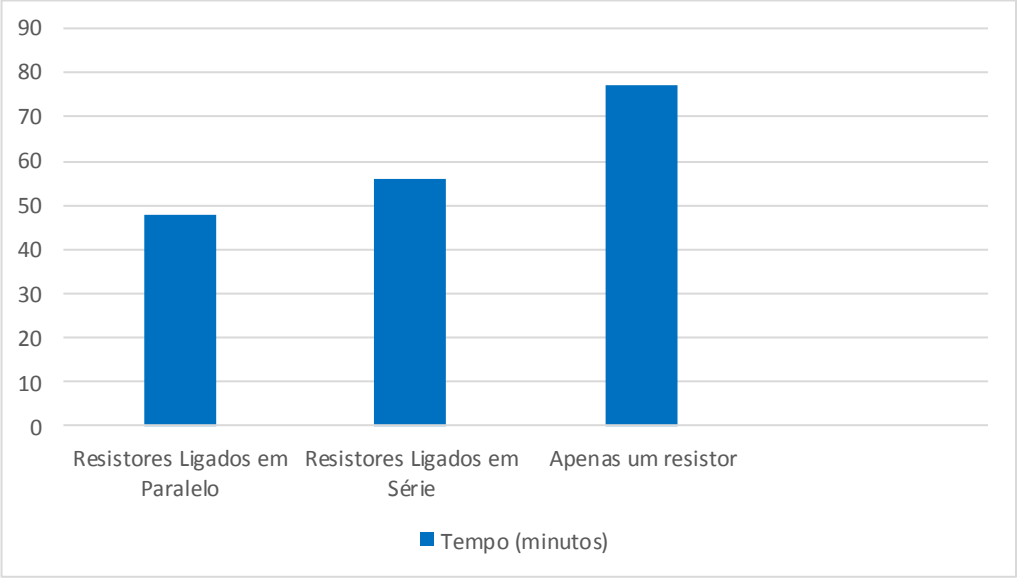
Gráfico 7 - Temperaturas em função das configurações dos resistores



Fonte: Autor (2023)

Gráfico do tempo de aquecimento (ver gráfico 8).

Gráfico 8 - Tempo em função das configurações dos resistores.



Fonte: Autor (2023)

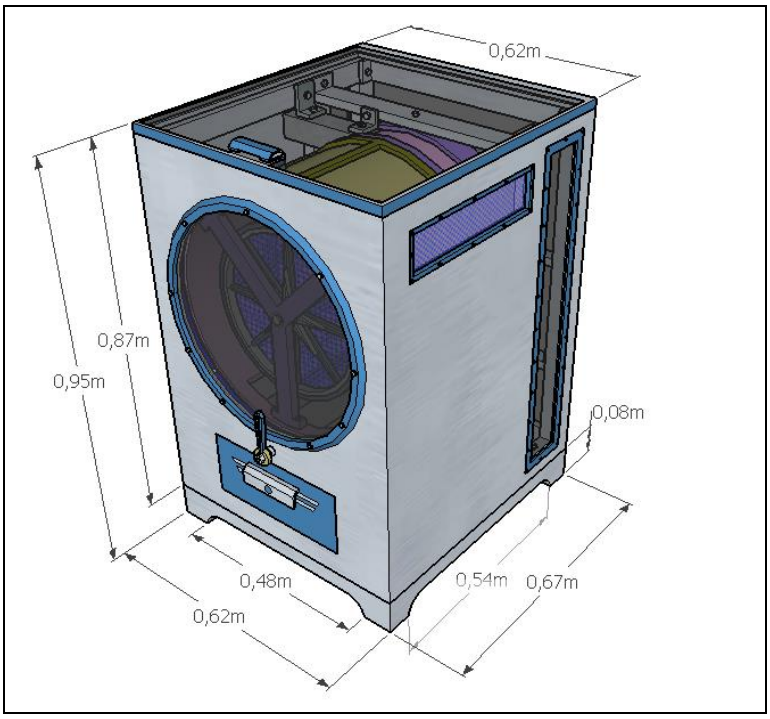
Através da análise dos gráficos 6, 7 e 8, é constatado que a configuração com dois resistores conectados em serie apresenta a melhor performance em relação as demais, pois o tempo de aquecimento dela é próximo da configuração dos resistores em paralelo que consome 3(três) vezes mais potência elétrica. Este fato comprova que, nem sempre o uso de mais energia elétrica resulta em uma diferença significativa na redução do tempo e eficiência térmica do processo de secagem.

Logo a distribuição de ar quente uniforme nas aletas da resistência elétrica, resulta em uma maior economia energia elétrica, e consequentemente impacta no dimensionamento dos sistema de geração energia fotovoltaico, proporcionando na elaboração de projetos mais otimizados.

5.7 - Projeto do secador de grãos rotativo comercial

O secador de grãos rotativo comercial (ver figura 109) é um equipamento projetado com objetivo de atender a uma possível demanda do mercado de biomateriais da cadeia produtiva do açaí e outros produtos similares de base vegetal, todas as especificações e seleção dos componentes e as tecnologias do referido projeto estão presentes no Apêndice B.

Figura 109 - Projeto do secador rotativo comercial



Fonte: Autor (2023)

5.8 - Secadores rotativo de grãos compacto versus o comercial

Na tabela 32 é demonstrado um comparativo econômicos e tecnológico entre os projetos dos Secadores de Grãos de Grãos Rotativos Compacto e o Comercial. Por isso é fundamental uma análise desta natureza para que seja feita uma escolha adequada ao tipo de cliente, como por exemplo: uma empresa, um comercio ou um laboratório de pesquisas cientificas.

Tabela 32 - Comparativo dos projetos dos secadores rotativos comercial e compacto (parte 1)

Especificação dos projetos	**Secador rotativo compacto**	**Secador rotativo comercial**
Dimensões	Altura= 52 cm Largura= 46 cm Comprimento= 41 cm	Altura= 95 cm Largura= 62 cm Comprimento= 67cm
Sistema de controle e transmissão	Sistema de Transmissão com 2(duas) Polias e controlador de velocidade do micro motor CA de 40W. Menos complexidade na manutenção mecânica.	Sistema de Transmissão com 4(quatro) e um motor de indução de 4 polos de ¼ cv. Maior complexidade na manutenção mecânica e sem controle de rotação.

Fonte: Autor (2023)

Tabela 32 - Comparativo dos projetos dos secadores rotativos comercial e compacto (parte 2)

Especificação dos projetos	Secador rotativo compacto	Secador rotativo comercial
Sistema de partida	Partida por controlador de velocidade acionada por disjuntor DIN de 10A	Partida direta por botoeira Industrial Monofásica e acionada por contator e relé de tempo programável
Tipo de câmara de armazenamento de resíduos orgânicos	Câmara com acesso direto através da porta de abertura e com um tambor rotativo	Câmara com acesso de duas aberturas, através da porta superior e a porta do tambor fixo, onde fica o tambor rotativo.
Capacidade de massa por processo de secagem e extração das frações	1,07 Kg	14 Kg
Custo de fabricação do secador rotativo	R$ 8.085,97	R$ 10.954,77
Custo do projeto e montagem do sistema fotovoltaico	R$ 5.199,47	R$ 12.929,88
Custo resultante ou custo total do projeto.	R$ 13.285,44	R$ 23.884,65

Fonte: Autor (2023)

Observando o custo final dos projetos e a quantidade de massa por processo de secagem (ver tabela 14) de cada um dos equipamentos, é perceptível que o secador comercial é a melhor opção para um cliente que tem interesse em produção de frações de caroços, pois apesar dele apresentar um custo 44,37% maior do que o secador de grãos rotativo compacto, ele produção possui uma produção aproximadamente 13 vezes maior do que secador compacto.

5.9 - Proposta para um futuro projeto

Em uma provável rede de comercio macro economia das frações dos caroços de açaí, haverá a necessidade de transporte deste produto até os terminais de coleta. Como sugestão para um projeto futuro, poderia ser desenvolvido um modelo de um sistema de transporte composto por motos e triciclos elétricos com

estações fotovoltaicas de carregamento distribuídas na região metropolitana da cidade de Belém.

Uma iniciativa similar a esta, com um sistema de integração de estações de carregamento solar compartilhadas em rede, foi utilizada para resolver o problema com escooters elétricas nas áreas urbana de Marina Bay (MB) e South West (SW). O carregamento fotovoltaico foi estimado, considerando a irradiação solar direta, difusa e o efeito das sombras dos edifícios próximos. Este compartilhamento atendeu quase 100% das viagens dos usuários, necessitando de apenas 2,75% à 2,06% do tempo das viagens para suprir a carga das escooters [38].

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram projetados dois modelos de secadores de grãos rotativo, com o objetivo de contribuírem na extração das frações dos caroços de açaí. O primeiro equipamento é do tipo comercial e o segundo é do tipo acadêmico com dimensões reduzidas (compacto). Ambos os projetos foram desenvolvidos com objetivo de serem sustentável energeticamente, não emitir gases de efeito estufa e partículas densas. Priorizando as pesquisas em laboratório, fez-se escolha do modelo de secador de grãos rotativo compacto para ser confeccionado. Após a montagem do protótipo e do sistema de geração PV(fotovoltaico), realizou-se vários experimentos em laboratório, através dos quais observou-se o seguinte: quanto maior for a velocidade de rotação do tambor, menor será o tempo aquecimento do ar. Outra caracterisca observada foi o consumo de energética elétrica de forma eficiente, pois a configuração com dois resistores conectados em série (125W) demonstrou um melhor desempenho do que as demais, devido ter atingido a temperatura de aquecimento em menos de uma hora e com o menor consumo de energia elétrica. Com relação ao sistema de geração PV, foram realizadas leituturas das tensões elétricas dos seguintes componentes: bateria, módulo fotovoltaico monocristalino, regulador de carga PWM e o Inversor. As medição comprovaram o bom desempenho deste sistema, pois o módulo fotovoltaico monocristalino apresentou níveis de tensões elétricas de saída aceitáveis (entre 42,1VP a 43,2VP) e a bateria elétrica manteve-se com a carga praticamente estável em tensão de 12V. Analisando o resultado do processo de secagem do biomaterial, foram obtidas 3(três) tipos de frações: particulado insolúvel do mesocarpo, fibras e endocarpo. Comprovando a boa funcionalidade deste equipamento, diante destes fatos, é possível afirmar que, o secador de grãos rotativo compacto é uma tecnologia verde para uso em laboratório, que poderá contribuir nas pesquisas dos subprodutos do fruto do açaí.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1- AGUIAR, Amália Gabriela Rocha; MARTINS, Paulo Fernando da Silva; SIMÕES, Aquiles Vasconcelos. Efeitos da intensidade do desbaste de estipes de açaizeiros (Euterpe oleracea Mart.) nativos na composição de parcelas de produção em várzea do estuário amazônico. **Revista de Ciências Agrárias-Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 4, p. 358-365, 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4322/rca2709.

2- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Produção de açaí (cultivo). 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/acai-cultivo/br.

3- Souto, Bernardo A.; SOUZA, Vitória L. C.; PERAZZINI, Maisa T. Bitti; PERAZZIN, Hugo. Valorization of acai bio-residue as biomass for bioenergy: determination of effective thermal conductivity by experimental approach, empirical correlations and artificial neural networks. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123484, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123484.

4-CIVIL, Casa. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 22 mar. 2023.

5- MONTEIRO, Alvaro Ferreira; MIGUEZ, Ingrid Santos; SILVA, João Pedro R. Barros; SILVA, Ayla Sant'Ana da. High concentration and yield production of mannose from açaí (Euterpe oleracea Mart.) seeds via mannanase-catalyzed hydrolysis. **Scientific Reports**, v. 9, p. 10939, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-019-47401-3.

6- BARBOSA, Jhonatas Rodrigues; CARVALHO JUNIOR, Raul Nunes de. Food sustainability trends - How to value the açaí production chain for the development of food inputs from its main bioactive ingredients? **Trends in Food Science & Technology**, v. 124, p. 86–95, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.005.

7- MELO, Priscilla Siqueira; SELANI, Miriam Mabel; GONÇALVES, Regina Helena; PAULINO, Jennifer de Oliveira; MASSARIOLI, Adna Prado; ALENCAR, Severino Matias de. Açaí seeds: an unexplored agro-industrial residue as a potential source of lipids, fibers, and antioxidant phenolic compounds. **Industrial Crops and Products**, v. 161, p. 113204, 2021. Disponível em: https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.indcrop.2020.113204.

8- SANTOS, Vanuza O.; QUEIROZ, Leandro S.; ARAUJO, Rayanne O.; RIBEIRO, Flaviana C. P.; GUIMARÃES, Mariana N.; COSTA, Carlos E. F. da; CHAAR, Jamal S.; SOUZA, Luiz K. C. de. Pyrolysis of acai seed biomass: kinetics and thermodynamic parameters using thermogravimetric analysis. **Bioresource Technology Reports**, v. 12, p. 100553, 2020. Disponível em: https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.biteb.2020.100553.

9- MARVILA, Markssuel T.; AZEVEDO, Afonso R. G.; CECCHIN, Daiane; COSTA, Jônatas M.; XAVIER, Gustavo C. ; CARMO, Dirlane DE FÁTIMA do ; MONTEIRO, Sergio N. Durability of coating mortars containing açaí fibers. **Case Studies in Construction Materials**, v. 13, p. e00406, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00406.

10 SATO, Michel Keisuke; LIMA, Herdjania Veras de; COSTA, Aline Noronha; RODRIGUES, Sueli; MOONEY, Sacha J.; CLARKE, Michèle ; PEDROSO, Augusto José Silva; MAIA, Claudia Maria Branco de Freitas. Biochar as a sustainable alternative to açaí waste disposal in Amazon, Brazil. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 139, p. 36–46, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.04.001.

11- ZAVARIZE, Danilo Gualberto. Insights on preparation and characteristics of KOH-doped carbons derived from an abundant agroindustrial waste in Brazil: Amazon açaí berry seeds. **Bioresource Technology Reports**, v. 13, p. 100611, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100611.

12-MARTINS, Larissa S.; SILVA, Nycolle G. S.; CLARO, Amanda Maria; AMARAL, Nayara C.; BARUD, Hernane S.; MULINARI, Daniella R. Insight on açaí seed biomass economy and waste cooking oil: eco-sorbent castor oil-based. **Journal of Environmental Management**, v. 293, p. 112803, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112803.

13- SILVA, Juarez de Sousa e; AFONSO, Adriano Divino Lima; DONZELLES, Sérgio Maurício Lopes. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2008.

14- AHMADI, A.; DAS, Biplab; EHYAEI, M. A.; ESMAEILION, F.; EL HAJ ASSAD, M.; Jamali, D. H.; KOOHSHEKAN, O.; KUMAR, R.; ROSEN, M. A.; NEGI, S.; BHOGILLA, Satya Sekhar; SAFARI, S. Energy, exergy, and techno-economic performance analyses of solar dryers for agro products: a comprehensive review. **Solar Energy**, 228, p. 349-73, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.09.060.

15- BRAGA, Carlos A. da S.; MOREIRA, Cláudio A.; PECHE FILHO, Afonso; BERNARDI, José A.; MELLO, Roberto da C.; STORINO, Moises ; LINO, Antonio C. L. Desenvolvimento e avaliação de um secador solar para grãos, associado a silo subterrâneo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 9, n. 4, p. 666-70, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400034.

16- CORADI, Paulo Carteri; MARTENS, Samuel; RODRIGUES, Henrique Eguilhor; LEAL, Andressa Fernandes; COSTA, Douglas Romeu da; SAATH, Reni; BORÉM, Flávio Meira. Development and validation of a heated drying air diffusion system to optimize rotary dryers and final coffee quality. **PloS One,** v. 16, n. 6, p. e0251312, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251312.

17- PORTNIKOV, Dmitry; ZISKIND, Gennady; KALMAN, Haim. Experimental and computational study of a flighted rotary drum cross-sectional characteristics. **Powder Technology,** v. 403, p. 117398, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117398.

18- GU, Xinzhuang; DAI, Jianguo; LI, Haifeng; DAI, Yanjun. Experimental and theoretical assessment of a solar assisted heat pump system for in-bin grain drying: a comprehensive case study. **Renewable Energy**, v. 181, p. 426-44, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.049.

19- KHALIL, A.; KHAIRA, Ahmad M.; ABU-SHANAB, Rawan H.; ABDELGAIED, Mohamed. A comprehensive review of advanced hybrid technologies that improvement the performance of solar dryers: photovoltaic/thermal panels, solar collectors, energy storage materials, biomass, and desalination units**. Solar Energy**, v. 253, p. 154-74, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.02.032.

20- KHAN, Syed Abdul Rehman; ZIA-UL-HAQ, Hafiz Muhammad ; PONCE, Pablo ; JANJUA, Laeeq. Re-investigating the impact of non-renewable and renewable energy on environmental quality: a roadmap towards sustainable development. **Resources Policy**, v. 81, p. 103411, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103411.

21- TSAI, Chen-Hao; FIGUEROA-ACEVEDO, Armando; BOESE, Maire; LI, Yifan; MOHAN, Nihal; OKULLO, James; HEATH, Brandon; BAKKE, Jordan. Challenges of planning for high renewable futures: experience in the U.S. midcontinent electricity marke. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 131, p. 109992, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109992.

22 HUSSAIN HUSSAIN, Bilal; NAQVI, Syed Asif Ali; ANWAR, Sofia; USMAN, Muhammad. Effect of wind and solar energy production, and economic development on the environmental quality: is this the solution to climate change? **Gondwana Research**, v. 119, p. 27-44, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.01.012.

23- WAŁACHOWSKA, Agnieszka; IGNASIAK-SZULC, Aranka. Comparison of renewable energy sources in 'New'EU Member States in the context of national energy transformations. **Energies**, v. 14, n. 23, p. 7963, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/en14237963.

24 KANG, Sang Hoon; ISLAM, Faridul; TIWARI, Aviral Kumar. The dynamic relationships among CO_2 emissions, renewable and non-renewable energy sources, and economic growth in India: evidence from time-varying Bayesian VAR model. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 50, p. 90-101, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.05.006.

25- GÜNEY, Taner. Renewable energy, non-renewable energy and sustainable development. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 26, n. 5, p. 389-397, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1080/13504509.2019.1595214.

26- YU, Chenyang; MOSLEHPOUR, Massoud; TRAN, Trung Kien; TRUNG, Lam Minh; OU, Jenho Peter; TIEN, Nguyen Hoang. Impact of non-renewable energy and

natural resources on economic recovery: empirical evidence from selected developing economies. **Resources Policy**, v. 80, p. 103221, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103221.

27 - EPE-EMPRESA, DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional, Relatório Síntese 2022. **Brasília: Ministério de Minas e Energia**, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022.

28 - NASCIMENTO, Felipe Moraes do; SILUK, Julio Cezar Mairesse; RIGO, Paula Donaduzzi; SAVIAN, Fernando de Souza. Approach to measure the potential for electricity consumer adoption of photovoltaic technology from the perspective of distribution system operators: a mobile application. **Journal of Cleaner Production** 380 (2022): 134940. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134940.

29 – DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE–Empresa et al. Balanço Energético Nacional [Brazilian Energy Balance]. 2021.

30 - BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o Marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 160 n. 5, p. 4-6, 7 jan. 2022. ISSN 1677-7042. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm.

31- KAHRAMAN, Ugur ; DINCER, Ibrahim. Development and assessment of a solar and natural gas-based integrated energy system with storage options. **Applied Thermal Engineering**, v. 224, p. 120124, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120124.

32- BRUNING, Jhosefe; ROBAINA, Adroaldo D.; PEITER, Marcia X.; CHAIBEN NETO, Miguel; RODRIGUES, Silvana A.; FERREIRA, Laura D.; PEREIRA, Tonismar dos S.; KAYSER, Luiz P. Economic performance of off-grid photovoltaic systems for irrigation/desempenho economico de sistemas fotovoltaicos off-grid para irrigacao**.** **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, no. 1, p. 57-63, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n1p57-63.

33- VILLALVA, Marcelo. Módulos monocristalinos vão dominar o mercado de energia solar. Canal Solar. 2019. Disponível em: https://canalsolar.com.br/modulos-monocristalinos-vao-dominar-o-mercado-de-energia-solar/.

34- SANTOS, Izael Pinho dos; MONTEIRO, Luany Joyce Pereira; LIMA, Carlos Umberto da Silva; DIAS, Carmen Gilda Barroso Tavares. Construção de um secador rotativo: secador e separador de frações de resíduo do caroço de açaí pós-manufaturado. **Universidade Federal do Pará**, Belém, 10 p., ago. 2010. Trabalho apresentado no 6º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande.

35- MURTAZA, Ali Faisal; CHIABERGE, Marcello; SPERTINO, Filippo; AHMAD, Jawad; CIOCIA, Alessandro. A direct PWM voltage controller of MPPT & sizing of DC loads for photovoltaic system. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, v. 33, n. 3, p. 991-1001, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1109/TEC.2018.2823382.

36- KHATIB, Tamer; REZIQ Deria. East-west oriented photovoltaic power systems: model, benefits and technical evaluation. **Energy Conversion and Management**, v. 266, p. 115810, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115810.

37-JÚNIOR, Alcy M. et al. Análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos com diferentes ângulos de inclinação e azimute localizados em Palmas-TO. **XIV CEEL, Universidade Federal de Uberlândia**, 2016. Disponível em: Fotovolt 8ª edição, 21/02/2017.

38 - ZHU, Rui; KONDOR, Dániel; CHENG, Cheng; ZHANG, Xiaohu; SANTI, Paolo; WONG, Man Sing; RATTI, Carlo. Photovoltaic generation for charging shared electric scooters. **Applied Energy**, v. 313, p. 118728, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118728.

39-INDUSTRIAIS, Instalações Elétricas. João Mamede Filho. **Editora LTC. 7ª Edição**, 2007.

40-CREDER, Hélio. Instalações elétricas. 15ª edição. **Rio de Janeiro, RJ. Uma editora integrante do GEN| Grupo Editorial Nacional. LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda**, 2016.

41-MAMEDE FILHO, João. Instalações elétricas industriais--[Reimpr.]. **Rio de Janeiro: LTC**, 2013.

42-ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew NO. **Fundamentos de circuitos elétricos**. AMGH Editora, 2013.

43-DE OLIVEIRA, Mário José. **Termodinâmica**. Editora Livraria da Física, 2005.

44-HOUGHTON, Edward Lewis; CARPENTER, Peter William. **Aerodynamics for engineering students**. Elsevier, 2003.

APÊNDICE A

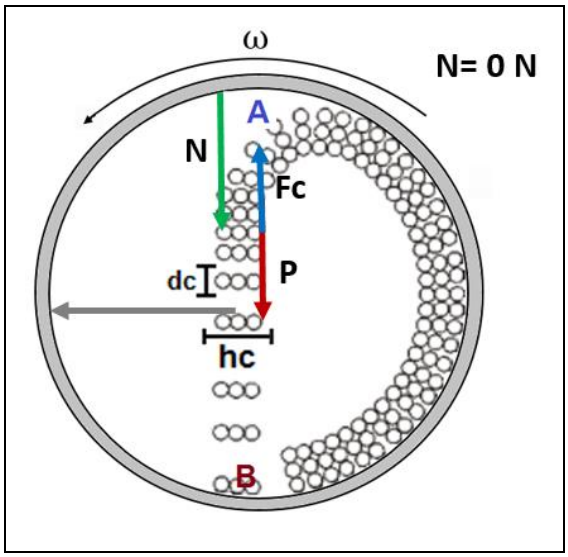
1. Projeto eletromecânico do secador rotativo compacto.

Neste Apêndice é demonstrado os principais cálculos dos projetos mecânicos, elétricos e do sistema de geração PV do secador de grãos rotativo compacto.

1.1.1 Velocidade angular de rotação do tambor de secador compacto

Pelo MCU (movimento circular uniforme) é possível determinar a velocidade mínima para a queda vertical dos caroços de açaí é o cálculo. Sabendo-se que no ponto A, existe forças vetoriais que atuam nos caroços de açaí da seguinte forma (ver figura 1): a força peso atua diretamente para o centro, já a reação é Normal(N), possui valor igual a zero Neuton, no sentido oposto a força peso há a atuação da força centrifuga, desta forma, tem-se a força peso igual a força centrifuga, esta relação pode ser observada pela equação 1. Substituindo os dados: raio do tambor rotativo igual a 12cm ou 0,12, aceleração da gravidade igual a 10m/s². Através da equação 9, obtém-se o valor da velocidade mínima.

Figura 1- Analise das forças atuante no ponto A no tambor rotativo



Fonte:(Ajustar a Bibliografia)

$$\therefore Fc = P + FN \Rightarrow Como\ FN = 0\,N,\ Tem - se:$$
$$\therefore Fc = P \Rightarrow Desencolvendo \Rightarrow \frac{m.V^2_{(minimo)}}{r} = m.g \qquad (01)$$
$$\therefore Isolando\, o\ V_{(minimo)} \Rightarrow Tem - se, V_{(minimo)} = \sqrt{g\,.\,r}$$

Substituindo o valor do raio de 0,12m do tambor na equação 9 tem-se o resultados calculado na equação 2.

$$\therefore V_{(minima)} = \sqrt{g\,.\,r} \Rightarrow \sqrt{10.0{,}12} \Rightarrow V_{(minima)} = \sqrt{1{,}2}$$
$$\therefore V_{(minima)} = 1{,}095\,m/s \qquad (02)$$

Para converter a velocidade de metros por segundo (m/s) em radianos por segundo (rad/s), precisamos considerar a relação entre a velocidade angular e a velocidade linear em um movimento circular. Em um movimento circular, a velocidade angular (ω) é definida como o deslocamento angular por unidade de tempo. A velocidade linear (v) é a distância percorrida por unidade de tempo. A relação entre ω e v é dada pela equação 3:

$$\therefore V = \omega.r \qquad (03)$$

Onde r é o raio da circunferência em que o objeto está se movendo. Pode-se reorganizar essa equação para isolar ω da seguinte forma:

$$\therefore \omega = \frac{V}{r} \qquad (04)$$

Realizando a conversão de m/s para rad/s na equação 4, com o raio da circunferência igual a 0,12m, podemos usar a relação da equação 11:

$$\therefore \omega = \frac{V}{r} \Rightarrow \omega = \frac{1{,}095}{0{,}12} \Rightarrow \omega = 9{,}03 rad/s \qquad (05)$$

A velocidade de 1,095 m/s corresponde a 9,12 rad/s quando o valor do o raio for igual a 0,12 m. Para converter a velocidade de radianos por segundo (rad/s) para rotações por minuto (rpm), levou-se em conta que 1 rotação é igual a 2π radianos. Utilizando a equação 6, tem-se.

$$\therefore V_{(rpm)} = \frac{\omega.60}{2.\pi} \Rightarrow V_{(rpm)} = \frac{9{,}12.60}{2.\pi} \Rightarrow V_{(rpm)} = \frac{540}{6{,}28} \qquad (06)$$
$$\therefore V_{(rpm)} = 85{,}987\, rpm$$

Portanto, a velocidade angular de 9,06 rad/s é aproximadamente igual 85,987 rpm.

O outro método adotado para determinar a velocidade mínima de rotação do tambor rotativo, foi através da regulação da sua velocidade de rotação, elevando o material a máxima altura e aumentando a energia potencial gravitacional, proporcionando a queda livre do material. A velocidade mínima em simulação no laboratório que foi medida com o uso de um tacômetro digital, chegando a magnitude de 57,6rpm

1.1.3 Cálculo da massa do bio material no interior do tambor rotativo

A quantidade de massa que deve passar pelo processo de secagem é determinada através dos seguintes critérios: o volume do tambor rotativo, a taxa de ocupação de 15% no tambor rotativo e a densidade do material. Tais informações são descritas a seguir:

Onde:

m: Massa total do caroço =?

D_{apt}: Densidade aparente = 660 kg/m³

R: Raio do cesto = 12cm ou 0,12m

L: Comprimento do tambor = 24cm ou 0,12m

V%: Taxa de ocupação = 15% do volume total.

V: Volume do tambor

Substituindo os dados acima na equação 7 determina-se o volume do tambor em m³.

$$\therefore V = (\pi \times R^2 \times L)/1000.000 \Rightarrow V = (3{,}14 \times 12^2 \times 24)/1000.000$$
$$\therefore V = 0{,}0108 m^3 \quad (07)$$

Finalmente a massa é especificada utilizando mencionados anteriormente e o resultado da equação 7 na equação 8.

$$\therefore m = V \times (15/100) \times D \Rightarrow m = 0{,}0108 \times (15/100) \times 660$$
$$\therefore m = 1{,}0692 kg \ ou \ m = 1{,}07 kg \quad (08)$$

1.1.4 Cálculo do torque nas polias 1 e 2.

A determinação do torque na polia 1, que se encontra conectada ao tambor rotativo é realizado considerando a massa de bio material e a massa do tambor, que são respectivamente: 1,07 kg e 4,8Kg, aplicando este dados na equação 9.

$$\therefore T = -\frac{2 \times m}{\pi} g \times R \quad (09)$$

Onde:

T: Torque em N.m.=?

g: Aceleração da gravidade (m/s²) = 9,85m/s²

m: Massa total (caroço mais o massa do tambor): m= 1,07+4,8, m=5,87Kg

R: Raio do cesto = 11 cm ou 0,11m

Substituindo os dados na equação 9 obtém-se o valor do torque na polia 1 através da equação 10.

$$\therefore T_1 = -\frac{2 \times m}{\pi} g \times R \Rightarrow T_1 = -\frac{2 \times 5{,}87}{3{,}14} 9{,}85 \times 0{,}11$$
$$\therefore T_1 = -4{,}05 N.m \quad (10)$$

O torque na polia 2, que é conectada no eixo do motor elétrico, é calculado através do uso do resultado da equação 10 e a relação matemática expressa na equação 11.

Onde:

r_1: Raio da polia 1 = 0,11m

T_1: Torque da polia 1= 4,05 N.m

r_2: Raio da polia 2 = 0,10m

T_2: Torque da polia 2 =?

$$\therefore \frac{r_1}{r_2} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow r_1 \times T_1 = r_2 \times T_2 \Rightarrow T_2 = \frac{r_1 \times T_1}{r_2}$$
$$T_2 = \frac{0{,}10 \times 4{,}05}{0{,}11} \Rightarrow T_2 = 3{,}68Nm,\ arredondando\ tem-se\ 4Nm \quad (11)$$

1.1.3 Cálculo potência do motor elétrico

O cálculo da potência elétrica do motor é efetuado utilizando a equação 12 ou a equação 13, considerando as variáveis que já foram determinadas neste projeto, como, o torque de 4 N.m, e a frequência de rotação de 57,6 rpm. Tem-se o seguinte.

$$\therefore P_{(W)} = \frac{PM}{\eta_{\%}} = \frac{T \times \eta \times \pi}{\eta_{\%}} \quad (12)$$

$$\therefore P_{(C.V)} = \frac{T \times \eta}{7024} \quad (13)$$

Onde.

T-Torque= 4 N.m

η -Frequência de rotação= 57,6 rpm

η %: Rendimento do motor elétrico

Considerando o rendimento do motor elétrico a equação 13, ficará da seguinte forma, equação 14.

$$\therefore P_{(W)} = \frac{T \times \omega_{ang}}{\eta_{\%}}\ ou\ \frac{\left(\frac{T \times \eta \times \pi}{30}\right)}{\eta\%} \Rightarrow P_{(W)} = \frac{4 \times 57{,}6 \times \pi}{30} \Rightarrow P_{(W)} = \frac{24{,}032}{0{,}85} \quad (14)$$
$$\therefore P_{(W)} = 28{,}273\,W$$

Convertendo para C.V. (cavalo vapor) o resultado da equação 14, será obtido o expresso pela equação 15.

$$\therefore\ P_{(\ C.V\ )} = \frac{P_{(\ W\ )}}{736} \Rightarrow P_{(\ C.V\ )} = \frac{28{,}273}{736} \Rightarrow P_{(\ C.V\ )} = 0{,}038\ C.V \qquad (15)$$

1.1.4 Cálculo da potência do resistor de aquecimento.

Para determinar a potência elétrica de um resistor que irá aquecer o material solido (caroços de açaí), é necessário conhecer alguns parâmetros como: a quantidade de massa a ser aquecida, as dimensões da câmara de confinamento, o coeficiente de calor específico do material, o coeficientes de condução térmica do ar, a variação de temperatura do projeto e o tempo de aquecimento, isto através, dos cálculos a seguir, utilizando os dados da tabela 1

Tabela 1- Dados específicos do sistema de aquecimento.

Informações técnicas do projeto	Quantidade	Unidades
Massa de resíduo solido	1	Kg
Largura da câmara de secagem	30	cm
Profundidade da câmara de secagem	30	cm
Altura da câmara de secagem	35	cm
Distância média do resistor até material	10	cm
Calor especifico do caroço de açaí	1,82	kJ/kgºC
Coeficiente de transferência térmica do ar	0,026	$W.m^{-1}.K^{-1}$
Temperatura inicial do processo	25	ºC
Temperatura final do processo	70	ºC
Tempo do processo de secagem	2,5	Horas

Fonte: Autor(2023)

Para efetuar a secagem de 1 kg de caroços de açaí de 25°C até 70°C em 2,5 horas e vencer as perdas de calor do o ar circundante, utiliza-se a equação 16:

$$\therefore\ P_r = Q_{\eta\%} + \left(P_{Perdas_{(\ ar)}}\right) \qquad (16)$$

Onde:

P_r: Potência do resistor em Watts(W);

$P_{(perdas\ ar)}$: Perdas de transferência de energia no ar em Joule(J);

$Q_{n\%}$: Quantidade de calor ou energia corrigida em W;

Inicialmente Calcula-se a quantidade de energia térmica, pelo uso da equação 17:

$$\therefore Q = m \times C \times \Delta T$$
$$\therefore Q = 1000 \times 1{,}82 \times (70 - 25) \qquad (17)$$
$$\therefore Q = 81.900\ J$$

Dentro da câmara de ar existe transferência térmica do resistor até a distância média da massa orgânica, que em poucas palavras são perdas, utiliza-se a equação 18 para determinar esta magnitude:

$$\therefore P_{(perdas-ar)} = \frac{K \times A \times 100 \times \Delta T}{d_m} = \frac{0{,}026 \times 0{,}3 \times 0{,}34 \times (70 - 25)}{0{,}04} \qquad (18)$$
$$\therefore P_{(perdas-ar)} = 298{,}35\ W$$

Sabendo-se que em média eficiência do resistor no processo de aquecimento de resíduos resido sólidos é de 80%, tem-se que quantidade de energia térmica corrigida fica da seguinte forma:

$$\therefore Qn_{\%} = \frac{Q}{T \times Eficiencia} \Rightarrow Qn_{\%} = \frac{81.900}{2{,}5 \times 60 \times 60 \times 0{,}8} \qquad (19)$$
$$\therefore Qn_{\%} = 11{,}375\ W$$

Finalmente obtém-se o valor da potência elétrica do resistor, aplicando os resultados das equações 19 e 18 na equação 20.

$$\therefore P_r = Q_{\eta\%} + \left(P_{Perdas_{(ar)}}\right)$$
$$\therefore P_r = 11{,}375 + 298{,}35 \qquad (20)$$
$$\therefore P_r = 309{,}725\ W$$

O valor da potência calculada do resistor é 309,725W, porém para que sistema trabalhe com folga, buscou-se como solução por construir um resistor com potência de 500W de acordo com o explicado no tópico materiais e métodos. Está construção foi desenvolvida de acordo com os seguintes cálculos: selecionou-se duas unidades de resistência elétrica com potência de 250W cada uma. Utilizando a

equações 21, para determinar a resistência elétrica individual de cada resistor considerando a tensão elétrica monofásica de 127V.

$$\therefore\ R_1 = \frac{U^2}{P_{R1}} \Rightarrow R = R_1 = R_2 \Rightarrow R = \frac{120^{\ 2}}{250} \Rightarrow R = 57{,}6\Omega \qquad (21)$$

De posse do valor da resistência de cada um dos resistores, foram determinados os valore das resistências equivalentes das associações em série e em paralelo aplicando as equações 22 e 23. Determinando o valor da resistência equivalente em série.

$$\therefore\ R_{eq1} = R_1 + R_2 \Rightarrow R_{eq1} = 57{,}6 + 57{,}6 \Rightarrow R_{eq1} = 115{,}2\Omega \qquad (22)$$

Determinando o valor da resistência equivalente em paralelo.

$$\therefore\ R_{eq2} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow R_{eq2} = \frac{57{,}6 \times 57{,}6}{57{,}6 + 57{,}6} \Rightarrow R_{eq2} = 28{,}08\Omega \qquad (23)$$

Calculando as potências elétrica em Watts que cada uma das associações são capazes de produzir. Primeiramente para a associação de resistores em série. Tem-se a seguinte equação 24.

$$\therefore\ P_{Req1} = \frac{U^2}{R_{eq1}} \Rightarrow P_{Req1} = \frac{120^{\ 2}}{115{,}5} \Rightarrow P_{Req1} = 124\ ,675\,W \qquad (24)$$

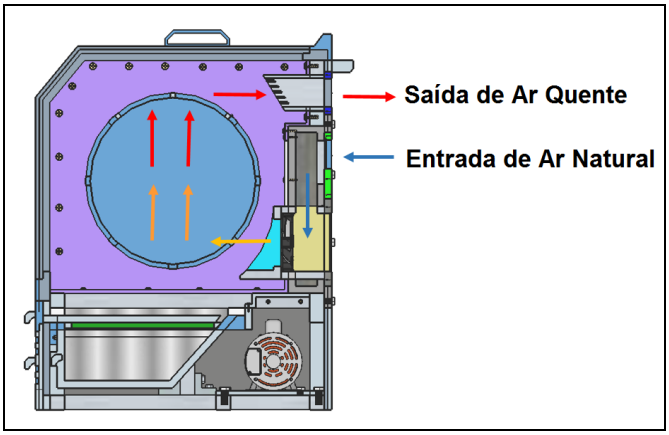
Calculando o valor da potência elétrica para a associação de resistores em paralelo (ver equação 25).

$$\therefore\ P_{Req2} = \frac{U^2}{R_{eq2}} \Rightarrow P_{Req2} = \frac{120^{\ 2}}{28{,}08} \Rightarrow P_{Req2} = 512\ ,820\ W \qquad (25)$$

1.1.5-Dimensionamento do sistema de ventilação

O dimensionamento do sistema de ventilação e escolha dos ventiladores, é feito pelo cálculo da vazão e da velocidade do ar aquecido. Com relação ao projeto do secador desta dissertação, ele é construído com a entrada ar quente posterior inferior como é mostrado na figura 02.

Figura 02- Circulação de ar quente secador com resistência elétrica aletada



Fonte:Autor (2022)

A seguir serão demonstrados os cálculos específicos do dimensionamento do fluxo de ar quente do secador rotativo compacto: Sabendo-se que, a densidade e o calor específico do ar são respectivamente, ρ =1,10 kg/m³ e C_p =1007J/kg.K, a potência da resistência do equipamento é P_R=500W através da equação 26 é possível calcular a vazão mássica.

$$\therefore\ Q = m \times C_p \times \Delta T \tag{26}$$

Deve-se calcular a variação de temperatura do ar de entrada (T_i) e de saída (T_f) pretendida pela equação 27. A temperatura de 70ºC é escolhida por ser uma temperatura média que é utilizada para secagem de materiais orgânicos sem descaracterizar o material.

$$\therefore \Delta T = T_f - T_i \Rightarrow \Delta T = 70^0 - 25^0 \Rightarrow \Delta T = 45^0\, C \tag{27}$$

A equação 28 para a o cálculo da vazão mássica é Isolando a massa(m) da equação 26.

$$\begin{aligned} &\therefore\ Q\ ou\ P_r = m \times C_p \times \Delta T \Rightarrow m_{araq} = P_r /(\ C_p \times \Delta T\ ) \\ &\therefore m_{araq} = 500\ /(1007 \times 45) \Rightarrow m_{araq} =\ 0{,}0110\ kg/s \end{aligned} \tag{28}$$

Pela equação 29 determina a vazão volumétrica (V_{arq}) do ar quente.

$$V_{araq} = m_{araq} / \rho_{araq} \Rightarrow V_{araq} = 0{,}0110\ /1{,}1 \Rightarrow V_{araq} = 0{,}01\ m^3/s \tag{29}$$

Determinando a velocidade do ar do ventilador (V_{vent}). Utilizando o valor obtido pela equação 29 aplicado na equação 30 é possível obter

$$\therefore V_{vent} = V_{araq} / A_R \Rightarrow V_{vent} = V_{arq} / (b \times h) \Rightarrow V_{vent} = 0{,}01 / (0{,}08 \times 0{,}24)$$
$$\therefore V_{vent} = 0{,}5\, m/s \qquad (30)$$

1.1.6 - Dimensionamento dos disjuntores de proteção do protótipo

O projeto do secador rotativo possui dois circuitos elétricos distintos, por isto necessita de três disjuntores específicos a proteção. São os seguintes: o primeiro disjuntor é o D1 (protegerá o motor elétrico); o segundo disjuntor é o D2 (protegerá o circuito de aquecimento de ar); e o terceiro disjuntor é DG (protegerá os dois circuitos).

1º) Dimensionamento e Seleção do Disjuntor D1 (do Micro Motor CA)

a) Cálculo da corrente de partida do motor elétrico

Observando o catálogo do fabricante de motores elétricos pode-se calcular o valor da corrente de partida do motor pela relação corrente de nominal e da corrente de partida expressa em Ip/In=8 (Ver a figura 03)

Figura 03- Motores elétricos

40W MICRO MOTORES AC

MODELO		Máxima Potência de Saída (W)	Tensão	Frequência	Corrente	Max. Velocidade RPM	Max. Torque mN-m	Torque Nominal (mN-m) 1200 RPM	Torque Nominal (mN-m) 90 RPM	Capacitor
Eixo Pinhão	90YS40GV11	40	110Vca, 1f	50HZ	0,79	90 - 1300	235	300	65	12µf/250V
	90YR40GV11									
	90YT40GV11									
	90YB40GV11									
Eixo Chaveta	90YS40DV11			60Hz	0,71	90 - 1600	120	260	70	
	90YR40DV11									
	90YT40DV11									
	90YB40DV11									
	90YB40DV22									

Fonte: Adaptado do Catálogo de Fabricante de Micro Motores CA

Aplicando os dado do catalogo de fabricantes de motores (ver figura 03) na equação 31 obtém-se o valor da corrente de partida do motor.

Onde.

I_p: Corrente de Partida ou *Id1*-Corrente no disjuntor 1= ?

I_n: Corrente nominal= 0,71 A

$$\therefore\ I_p = I_{D1} = 8 \times I_n$$
$$\therefore I_p = 7{,}2 \times 0{,}71 \qquad (31)$$
$$\therefore I_p = I_{D1} = 5{,}112A$$

2-Dimensionamento e seleção do disjuntor D2

a) Cálculo da corrente do circuito do sistema de aquecimento de Ar

O cálculo da corrente resultante do sistema de aquecimento (ID2-corrente do disjuntor 2) pode ser realizado utilizando a equação 32, a partir do uso das seguintes informações, a potência elétrica de cada um dos componentes (ver a tabela 2) e a tensão elétrica de alimentação.

Onde

P_{SisAar}: Sistema de aquecimento de ar

$P_{resistor}$: Potência do resistor de aquecimento

P_{Vent}: Potência dos ventiladores

Tabela-2 Potências e tensão do sistema de aquecimento de ar

Componente	Potência	Tensão Elétrica
Resistor de aquecimento térmico	500 W	127 V
Ventilador metálico	3 x 10W	127 V

Fonte: Autor-2023 (Ajustar a Bibliografia)

$$\therefore\ I_{SisAr} = \frac{(P_{resistor} + P_{ventila.})}{VL} \Rightarrow I_{SisSec} = \frac{(500+30)}{127} \Rightarrow I_{SisSec} = \frac{(530)}{127} \qquad (32)$$
$$\therefore\ I_{SisAr} = 4{,}17A$$

Corrigindo o valor obtido pela equação 32 aplicando a equação 33. Devido o afundamento de tensão ou queda de tensão momentânea, tem-se o valor da corrente do disjuntor D2 igual a:

$$\therefore\ I_{D2} = I_{SisteAr} + (I_{SisteAr} \times 15\%) \Rightarrow I_{D2} = 4{,}17 + (4{,}17 \times 15)/100 \qquad (33)$$
$$\therefore\ I_{D2} = 4{,}79A$$

3-Dimensionamento e seleção do disjuntor DG

a) Cálculo da corrente elétrica do secador rotativo

A corrente elétrica do secador rotativo é a soma das correntes elétricas de todos os componentes que fazem parte do seu circuito, sendo determinada pela equação 34.

$$\therefore\ I_{Sec} = I_{Part.Mot.} + I_{SisAr} \Rightarrow I_{Secador} = 5{,}68 + 4{,}79$$
$$\therefore\ I_{Sec} = 10{,}47A \qquad (34)$$

b) Cálculo da corrente elétrica do disjuntor geral

O cálculo da corrente elétrica do disjuntor geral de proteção do circuito do protótipo é realizado considerando uma margem de segurança, devido ao afundamento de tensão ou queda de tensão momentânea que podem acontecer em circuitos elétricos no ponto de fornecimento de energia, geralmente o valor da margem de segurança é igual a 15%(quinze porcento) sobre o valor da corrente do equipamento que deverá ser instalado. Aplicando o resultado da equação 34 na equação 35, tem-se.

$$\therefore\ I_{Disjuntor} = I_{Sec} + (\ I_{Sec} \times 15\%) \Rightarrow I_{Disjuntor} = 10{,}47 + (\ 10{,}47 \times 15)/100$$
$$\therefore\ I_{Disjuntor} = 12{,}04A \qquad (35)$$

1.2- Dimensionamento do sistema de geração fotovoltaico

1.2.1 Dimensionamento do banco de baterias

1ª Etapa- Cálculo da energia elétrica consumida(W.h)

Este cálculo é elaborado de acordo com a potência e o tempo de acionamento dos componentes que fazem parte do circuito elétrico do secador do rotativo. Na tabela 03, são especificadas os valores dos tempos de cada um dos componentes.

Tabela 03 - Potência e demanda dos componentes elétricos do secador de grãos

Componente	Potência	Tempo
Potência do motor	40 W	1 hora
Potência do resistor ôhmico	500 W	1 hora
Potência do sistema de ventilação	30 W	1 hora

Fonte: Autor (2023)

O cálculo do consumo de energia elétrica feita pelo secador de grãos é efetuado utilizando equação 36.

$$E_{C.S} = (P_R \times T_R) + (P_{Motor} \times T_{Motor}) + (P_{Vent.} \times T_{Vent.}) \quad (36)$$

Onde:

E_S: Energia elétrica consumida pelo secador de grãos rotativos;

P_R: Potência elétrica do resistor de aquecimento;

T_R: Tempo de acionamento do resistor de aquecimento;

P_M: Potência elétrica do motor;

T_M: Tempo de acionamento elétrica do motor;

P_{Vent}: Potência elétrica do sistema de ventilação;

T_{Vent}: Tempo de acionamento do sistema de ventilação;

Aplicando os dados da tabela 8 na equação 36, tem-se o expresso pela equação 37:

$$\begin{aligned} \therefore E_{C.S} &= (P_R \times T_R) + (P_{Motor} \times T_{Motor}) + (P_{Vent.} \times T_{Vent.}) \\ \therefore E_{C.S} &= 500 \times 1 + 40 \times 1 + 30 \times 1 \\ \therefore E_{C.S} &= 570\ W.h \end{aligned} \quad (37)$$

4ª Etapa - Calcular o Fator de correção dos rendimentos: É o cálculo da relação da potência de saída do Inversor e potência de entrada, logo, ele expressa o quão eficiente é o inversor, pode-se afirmar que, quanto maior o rendimento maior também será a eficiência e assim tem-se menores perdas de energia para o sistema interno. Vale destacar que o Inversor apresenta os valores dos rendimentos em porcentagem. Geralmente o Rendimento da Bateria fica em torno de 90%, já o Inversor também um rendimento 90%, logo no sistema o que possui um banco de baterias e inversor, o fator de correção pode ser calculado pela equação 38.

$$\begin{aligned} \therefore FC(\%) &= n\%(b.bat) \times n\%(inver.) \\ \therefore FC(\%) &= 0{,}9 \times 0{,}9 = 0{,}81 \end{aligned} \quad (38)$$

5ª Etapa - Consumo Corrigido: É o consumo de energia elétrica ajustado pelo fator de correção de rendimento, é obtido aplicando o resultado da 39, obtendo o seguinte:

$$E_{C.S.(\ ajustada)} = \frac{E_{c.s}}{FC} \Rightarrow E_{C.S.(\ ajustada)} = \frac{570}{0{,}81} \Rightarrow E_{C.S.} = 703{,}70 Wh/dia \qquad (39)$$

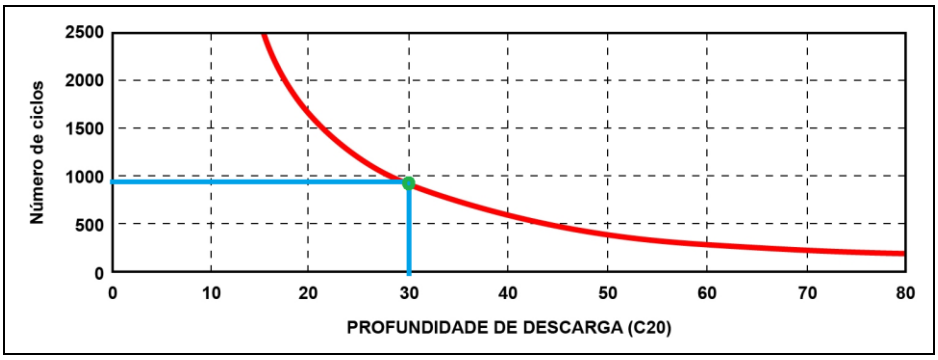
6ª Etapa - Autonomia do sistema: A autonomia é o tempo em que o sistema ficará funcionando utilizando a carga do banco de baterias. Desta forma, quanto maior a autonomia, conseqüentemente será maior o banco de baterias. A autonomia pode ser em horas ou em dias. No projeto em particular foi estabelecida a autonomia de 1(um) dia de autonomia (ver a equação 40).

$$\begin{aligned} &\therefore E_{Aut.}(\ Wh/dia) = E_{C.S.} \times T\ (\ dias) \\ &\therefore E_{Aut.}(\ Wh/dia) = 703{,}7 \times 1 \\ &\therefore E_{Aut.}(\ Wh/dia) = \ 703{,}7\ \ Wh/dia \end{aligned} \qquad (40)$$

7ª Etapa - Energia armazenada no banco de baterias: Para determinar a capacidade de armazenamento de armazenamento do banco de baterias, deve-se levar em consideração a profundidades de descarga da bateria.

Através da análise da curva de profundidade de descarga e o número de ciclos presente no Anexo-A, é possível obter uma estimativa do tempo de vida útil de uma baterias (ver analise na figura 04).

Figura 04- Análise da curva de profundidade de descarga



Fonte: Adaptado do manual de baterias estacionárias

Fazendo a correlação profundidade de descarga, neste caso, o valor de 30%, com o eixo do número de ciclos, obtêm-se o valor de aproximadamente 950 ciclos, ou seja, 950 dias. Aplicando estas informações na equação 41, chega-se o seguinte resultado.

$$\therefore T(\ anos) = \frac{N_C}{365} \Rightarrow T(\ anos) = \frac{950}{365} \Rightarrow T(\ anos) = 2{,}6\, anos \tag{41}$$

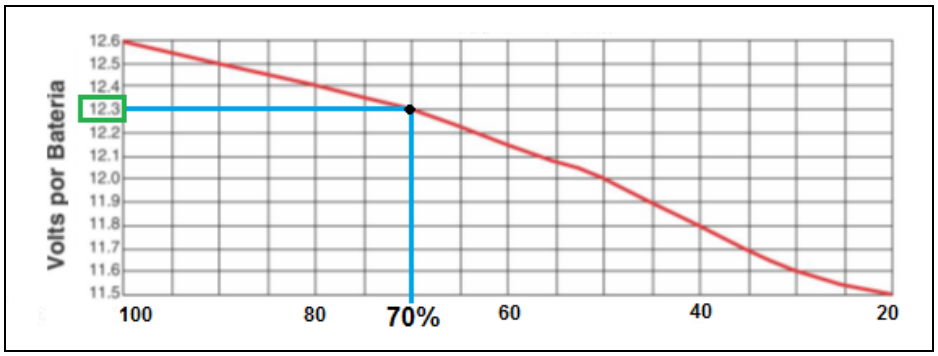
Aplicando o resultado da equação 41 na equação 42, tem-se:

$$\therefore E.A(\ B.Bat.) = \frac{E.Aut.}{profun.\ de\ descar(\%)}$$
$$\therefore E.A(\ B.Bat.) = \frac{703{,}7}{0{,}3} = E.A.(\ Wh/dia) = 2.345{,}67\, Wh/dia \tag{42}$$

1.2.2-Determinando a tensão de carga máxima e tensão mínima de descarga.

Para que seja especificado o valor da tensão de descarga em volts, tem-se que fazer a análise da curva de descarga de tensão elétrica em circuito aberto, presente no Anexo A (Ver figura 05), fazendo a correlação do valor da porcentagem com a tenção elétrica é possível saber os valores o valor da tensão da carga máxima da bateria e um valor mínimo de tensão de descarga da bateria. Aplicando a correlação no gráfico (ver figura 05) da profundidade de descarga de 30% de uma bateria e a tensão elétrica, é determina a tensão mínima para esta descarga.

Figura 05- Análise da Curva de tensão de circuito aberto e a descarga da bateria



Fonte: Adaptado do manual de baterias estacionárias

Para este modelo de bateria o valor de 12.6V equivale a 100% da carga da bateria e o valor da tensão de 12.3V equivale a profundidade de descarga de 30%. Esta é configuração deve ser utilizada na programação do controlador de carga para o sistema fotovoltaico.

b) Capacidade de carga do banco de baterias.

Para efetuar o dimensionamento a capacidade do banco de baterias, é importante saber que, a unidade de medição da capacidade de armazenamento de

uma bateria comercial, é em Ampere hora (A.h). Outra informação importante, são as tensão elétrica nos terminais do banco de baterias, que podem ser na ordem de 12V ou 24V. Neste projeto optou-se pela tensão de 12V. Aplicando o resultado da equação 42 na equação 43.Tem-se o seguinte resultado:

$$\therefore C_{(B.Bat)} = \frac{EA_{(B.Bat.)}}{V_{(B.Bat.)}} \Rightarrow C_{(B.Bat)} = \frac{2.345,67}{12} \Rightarrow C_{(B.Bat)} = 195,41\,A.h \qquad (43)$$

c) Cálculo número de baterias: Para determinar o número de baterias em um determinado banco, deve-se considerar algumas das características técnicas da bateria, que são, basicamente: a capacidade de armazenamento, tempo de descarregamento da bateria e a tensão elétrica. Neste projeto foi selecionada uma bateria estacionária com capacidade de armazenamento de 60 A.h, o tempo de descarregamento de 20 horas e tensão elétrica igual a 12V.

1°Passo) Cálculo do número de baterias em paralelo: este cálculo é feito da seguinte forma, aplica-se o resultado da equação 43 e os dados da tabela do catálogo do fabricante de baterias (ver figura 36) na equação 44.

Figura 36-Características Técnicas da Descarga de Baterias Elétricas

Modelos		DF300	DF500	DF700	DF1000	DF2000	DF2500	DF3000	DF4001
Capacidade @25ºC (Ah)	10 h	24	30	41	54	94	130	156	200
	20 h	26	36	45	60	105	150	170	220
	100 h	30	40	50	70	115	165	185	240
Dimensões (mm)	Comprimento	175	175	210	244	330	511	511	525
	Largura	175	175	175	175	172	213	213	275
	Altura	175	175	175	175	240	230	230	250
Peso (Kg)		8,8	9,7	12,5	14,7	27,1	44,6	48,3	60,3

Fonte: baseado no catálogo do fabricante (Ajusta a Bibliografia)

$$\therefore N_{(Bat.Par.)} = \frac{C_{(B.Bat)}}{C_{(bat)}} = \frac{195,41}{60} \Rightarrow N_{(Bat.Par.)} \cong 3,25\,baterias \qquad (44)$$

$$\therefore Arrendodando\,o\,valor\,anterior,\ tem-se: N_{(Bat.Par.)} = 4\,baterias$$

2º Passo) Cálculo do número de baterias em série: este cálculo é determinado a equação 45 que relaciona a tensão do banco de baterias com a tensão elétrica de cada unidade que faz parte do banco, procedendo da seguinte forma.

$$\therefore N_{(\ bat.Ser.)} = \frac{V_{(\ Banc.Bat.)}}{V_{(\ Bat.)}} \Rightarrow N_{(\ bat.Ser.)} = \frac{12}{12} \Rightarrow N_{(\ bat.Ser.)} = 1 bateria \qquad (45)$$

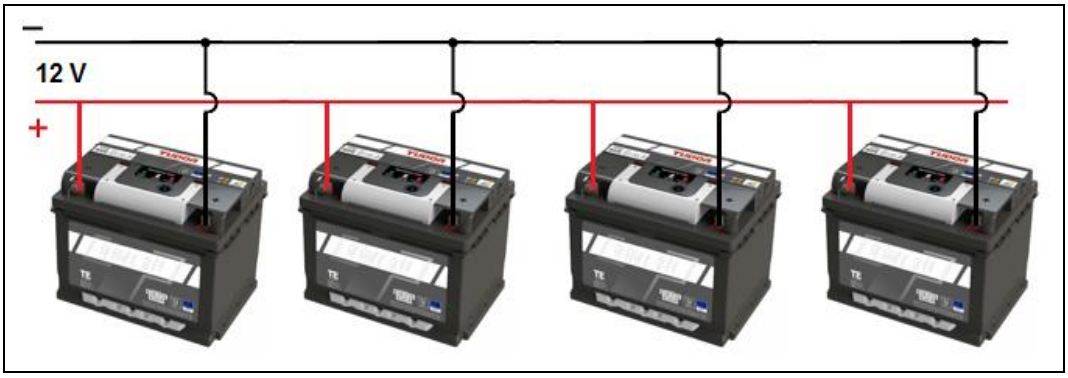
3ª Passo) Cálculo do número total de baterias do banco: Para determinar a quantidade total do banco de baterias, basta realizar o produto de número de baterias em paralelo com número de baterias em série, de acordo com a equação 46, tem-se.

$$\therefore N_{(\ Total\,bat.\,banc)} = N_{(\ bat.Par.)} \times N_{(\ bat.Ser.)} \Rightarrow N_{(\ Total\,bat.\,banc)} = 4 \times 1$$
$$\therefore N_{(\ Total\,bat.\,banc)} = 4 baterias \qquad (46)$$

8ª Etapa- Seleção do arranjo do banco de baterias

a) Arranjo do Banco das Baterias: O arranjo do banco de baterias, sabendo que cada bateria possui 12V e a tensão elétrica do banco de baterias é 12 Volts, logo a configuração ficará da seguinte forma, 4(quatro) baterias conectadas em paralelo.

Figura 37- Configuração do baterias elétricas



Fonte: Autor 2023

1.2.2 Determinação da quantidade dos módulos fotovoltaicos

Para quantificar o número de módulo deste sistema fotovoltaico, deve-se determinar e entender os critérios que envolve está tecnologia, destacando-se os seguintes, o HSP (horas de sol a pico)

1.2.3-Determinação do HSP da cidade de Belém

A seguir serão mostradas todas as etapas para a determinação do HSP da cidade de Belém, local onde foi montado os sistema fotovoltaicos do protótipo.

a) Pesquisa das coordenadas geográficas da região

No google Maps acesse a cidade de Belém (ver figura 06), em seguida com o cursor sobre este mapa, clica-se no botão direito do mouse, desta forma aparecerá uma caixa com diversas informações, incluindo as coordenadas geográficas, a latitude e longitude (ver figura 07).

Figura 06-Pesquisa da Cidade de Belém na barra de pesquisa do Google

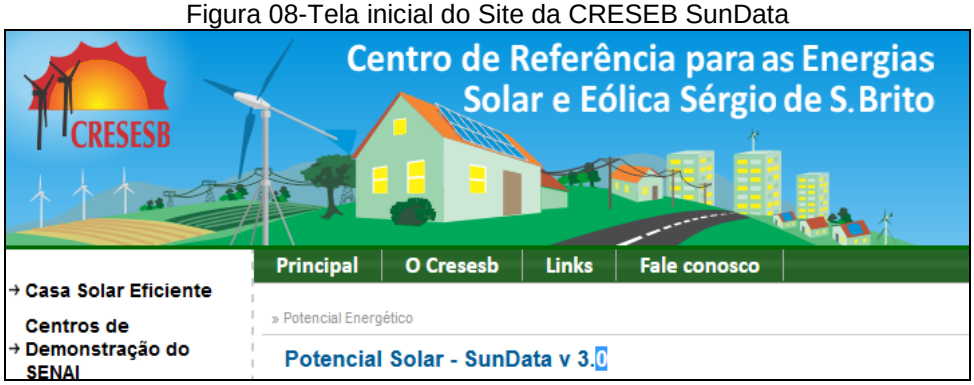
Fonte: Google

Figura 07-Coordenadas geográficas Cidade de Belém no Google Maps

Fonte: Google Maps

b) Determinação do valor do HSP pelo SunData (ver figura 08). Pelo navegador de internet acessa-se o site, inserindo endereço eletrônico: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&

Figura 08-Tela inicial do Site da CRESEB SunData

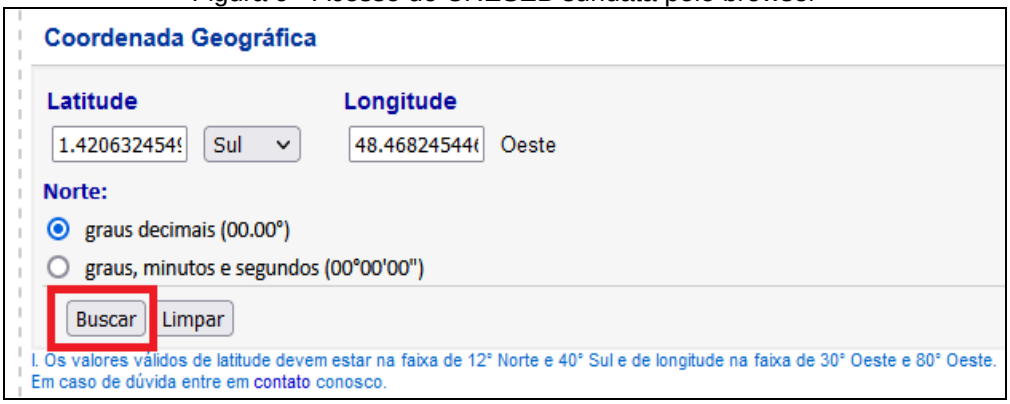


Fonte: site-CRESESB

Anotação: O SunData é um conjunto de base dados via que pode ser acessado via *web* que destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma ferramenta do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito) que oferecer de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. O Sundata da CRESSEB ao longo de 17 anos de existência através de mapeamento de satélites produziu informações através de mais de 72.000 pontos de irradiação solar do território brasileiro.

c) Fazendo a busca da DSHP da Cidade: Digita-se o valor das coordenadas geográficas da região na caixa de busca (ver figura 9), neste caso foram utilizadas as coordenadas em graus decimais.

Figura 9 - Acesso do CRESEB sundata pelo browser



Fonte: CRESEB Sundata

d) Seleciona-se a irradiação média da cidade de Belém: O resultados de irradiação solar média, após a busca, exibe 3(três) regiões de acordo com a tabela e gráfico obtidos (Ver figura 10 e 11). Porem deve ser selecionado apenas a irradiação solar média da cidade de Belém.

Figura 10-Tabela com a irradiação solar as três localidades. CRESEB sundata

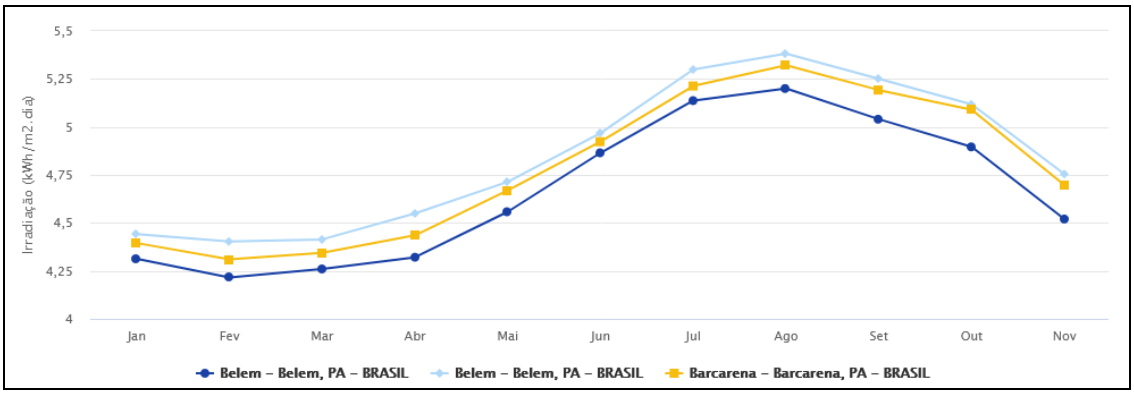
Localidades próximas

Latitude: 1,420632° S
Longitude: 48,468245° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Belem	Belem	PA	BRASIL	1,401° S	48,449° O	3,1	4,31	4,22	4,26	4,32	4,56	4,87	4,94	5,14	5,20	5,04	4,90	4,52	**4,69**	**,98**
☑	Belem	Belem	PA	BRASIL	1,501° S	48,449° O	9,2	4,44	4,40	4,41	4,55	4,71	4,97	5,08	5,30	5,38	5,25	5,12	4,75	**4,86**	**,98**
☑	Barcarena	Barcarena	PA	BRASIL	1,401° S	48,549° O	9,2	4,39	4,31	4,34	4,43	4,67	4,92	5,01	5,21	5,32	5,19	5,09	4,70	**4,80**	**1,01**

Fonte: CRESEB Sundata (Ajustar bibliografia)

Figura 11- Gráfico da irradiação anual das 3(três) localidades. CRESEB sundata



Fonte: CRESEB Sundata (Ajustar bibliografia)

Observando-se os valores da nova planilha (ver figura 12) e o Gráfico (ver figura 13), faz-se a escolha pelo plano horizontal, e depois seleciona-se o valor da irradiação média anual do HSP, que é 4,69 h/dia.

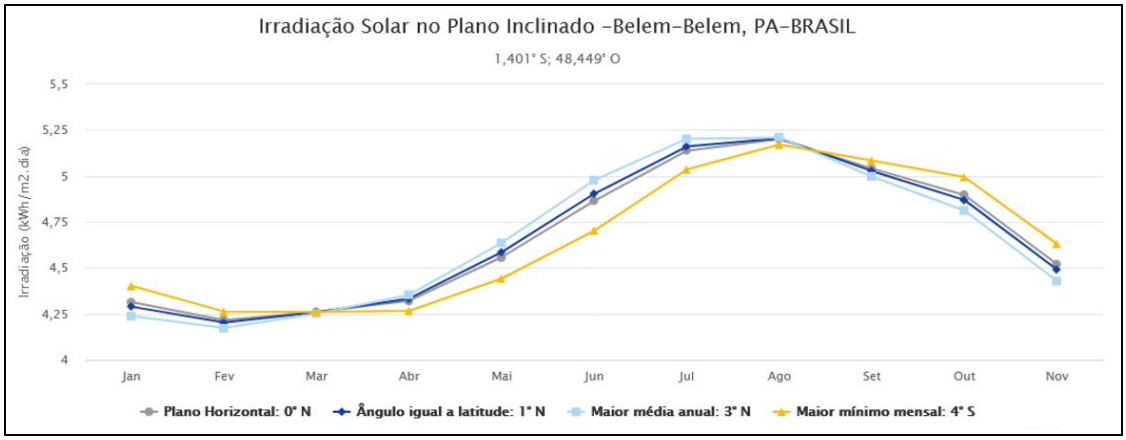
Figura 12-Tabela irradiação horizontal anual-CRESEB sundata

Estação: Belem
Município: Belem , PA - BRASIL
Latitude: 1,401° S
Longitude: 48,449° O
Distância do ponto de ref. (1,420632° S; 48,468245° O) :3,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	4,31	4,22	4,26	4,32	4,56	4,87	4,94	5,14	5,20	5,04	4,90	4,52	4,69	,98
☑	Ângulo igual a latitude	1° N	4,29	4,20	4,26	4,33	4,58	4,90	4,97	5,16	5,20	5,03	4,87	4,49	4,69	1,00
☑	Maior média anual	3° N	4,24	4,17	4,25	4,35	4,64	4,98	5,04	5,20	5,21	5,00	4,81	4,43	4,69	1,04
☑	Maior mínimo mensal	4° S	4,40	4,26	4,26	4,27	4,44	4,70	4,78	5,03	5,17	5,08	4,99	4,63	4,67	,91

Fonte: CRESEB Sundata (Ajustar bibliografia)

Figura 13- Gráfico irradiação horizontal anual Belém



Fonte: CESEB Sundata (Ajustar a Bibliografia)

1.2.4-Rendimento global: Utilizando a equação 42 e os dados da tabela 3. Procede-se da seguinte forma para determina-se o rendimento global do sistema fotovoltaico.

Tabela 3 Fatores de perda de energia no sistema fotovoltaico

Tipo de Perdas	Taxa de Variação da Perda	Perda Estipulada
Perda por Temperatura	[7,0% a 18,0%]	11,5%
Incompatibilidade Elétrica	[1,0% a 2,0%]	1,5%
Acumulo de Sujeira	[1,0% a 8,0%]	2,0%
Cabeamento CC	[0,5% a 1,0%]	1,0%
Cabeamento CA	[0,5% a 1,0%]	1,1%
Inversor	[2,5% a 5,0%]	3,0%

Fonte: Baseado no manual de engenharia (Autor 2023)

$$\therefore \eta G_{(\%)} = \left[100\% - (\ Perda\ s_{(\%)}\ )\right]/100$$
$$\therefore \eta G_{(\%)} = \left[100\% - (11{,}5 + 1{,}5 + 2 + 1 + 1{,}1 + 3)\right]/100 \Rightarrow \eta = 80/100 = 0{,}88 \quad (47)$$

Onde:

nG%: Rendimento global.

Perda R%: Perda total, é a soma de todos os fatores de perdas.

1.2.5 Seleção do controlador de carga

Na escolha do regulador o controlador de carga é importante saber que a corrente dos painéis solares ou a corrente que esta entrando nas baterias, deve sempre ser menor que a corrente nominal do controlador. Sabendo que o modulo moncristalino deste projeto produz uma corrente máxima de 12,84A. Foi selecionado um concontrolador de carga com tecnologia PWM e com valor de corrente nominal de 40A.

1.2.6-Determinação da energia produzida por um módulo:

a) Escolha da Tecnologia dos Módulos: Para o projeto do sistema fotovoltaico do secador rotativo de grãos compacto, foi selecionado um modulo monocristalino com 540Wp, Tensão de saída de 42VP e rendimento de 20%.

b) A energia elétrica produzida pelo módulo com regulador de carga PWM

Através da equação 48 é determinada a energia elétrica produzida por modulo conectado a um controlador de carga PWM. Utilizando os dados da etiqueta do módulo, o HSP da localidade e rendimento global.

Onde:

E_{md}: Energia produzida por um módulo em kW.h=?

HSP: Irradiação solar da região (horas de sol a pico), média anual é 4,69 Wh/m².dia
A_M: Área do Modulo - C (Comprimento) X L (Largura)= 2,278x1,134=2,583m²
$n\%_{(m)}$:Rendimento do módulo= 20%
$n\%_{(G)}$:Rendimento do global= 88%

$$\begin{aligned} \therefore E_{md} &= HSP \times A_M \times \eta_{m\%} \times \eta_{G\%} \times 0{,}7 \\ \therefore E_{md} &= 4{,}69 \times 2{,}278 \times 1{,}134 \times (\ 20/100) \times 0{,}88 \times 0{,}7 \\ \therefore E_{md} &= 1.492 kW.h/dia\ ou\ Emd(\ W.h) = 1492{,}623 W.h/dia \end{aligned} \tag{48}$$

c) A energia elétrica produzida pelo módulo com regulador de carga MPPT

Através da equação 49, é determinado a energia elétrica produzida pelo módulo conectado a regulador de carga MPPT, que possui perda menor do que o controlador PWM.

$$\begin{aligned} \therefore E_{md} &= HSP \times A_M \times \eta_{m\%} \times \eta_{G\%} \times 0{,}7 \\ \therefore E_{md} &= 4{,}69 \times 2{,}278 \times 1{,}134 \times (\ 20/100) \times 0{,}88 \\ \therefore E_{md} &= 2.602{,}221 W.h/dia\ ou\ Emd(\ W.h) = 2{,}602\ KW.h/dia \end{aligned} \tag{49}$$

d) O cálculo do número de módulos do arranjo fotovoltaico: A determinação do número de módulos depende de 2(duas) variáveis: a primeira é o potência total dos módulos, a segunda variável é potência individual por módulo e a terceira variável é tensão de entrada do regulador de carga. Aplicando os dados na equação 50 tem-se:

Onde:
E_{CS}: Energia corrigida do secador de grãos rotativo= 703,7 W.h/dia
E_{md}: Energia produzida por um módulo em kW.h= 1.492,623W.h /dia
$N_{módulos}$: Número de módulos do arranjo

$$\begin{aligned} &\therefore N_{módulos} = \frac{E_{CS}}{E_{md}} \Rightarrow N_{módulos} = \frac{703{,}7}{1492{,}6} \Rightarrow N_{módulos} = 0{,}470 \\ &\therefore arredondando\ \ tem-se,\ N_{módulos} \cong 1\ módulo \end{aligned} \tag{50}$$

A configuração do arranjo dos módulos fotovoltaicos deste sistema ficará da seguinte forma (ver figura 15).

Figura 15- Arranjo com apenas um módulo de 540 WP no arranjo fotovoltaico

Fonte: Autor 2023

1.2.7-Formato do arranjo PV de acordo com regulador de carga

O formato do arranjo PV em função da tecnologia do regulador de carga, depende de duas variáveis: é potência individual por módulo e a tensão de entrada do regulador de carga. De acordo com a tecnologia do módulo selecionados obtém-se o valor da tensão de entrada do regulador de carga, através da equação 51.

Onde:

V_{BB}: Tensão do banco de baterias= 12 Vcc

V_{MP}: Tensão por módulo= 42 Vcc

F_{CVA}%: Fator de correção da tensão elétrica do arranjo= 50% (PWM)

V_{ER}: Determinando de tensão de entrada do regulador

$$\therefore V_{ER} = V_{BB} \times F_{CVA} \Rightarrow V_{ER} = 12 \times 1{,}5 \Rightarrow V_{ER} = 18\ Vcc \qquad (51)$$

Através o valor da tensão de saída dos terminais do módulo igual a 43VP, é constatado que ele pode ser conectado ao do regulador de carga PWM, garantindo assim, um bom funcionamento. Por isso basta conectar apenas um módulo fotovoltaicos da seguinte forma (ver figura 15).

1.2.8 Seleção do Inversor

A determinação da potência do inversor tem relação direta com a tecnologia do regulador de carga, neste caso como o regulador de carga é do tipo

PWM, é necessário que o inversor deva possuir uma potência duas maior do que a carga máxima do consumidor, logo a potência elétrica do inversor determinada pela equação 52 será igual a:

$$\therefore Pc = 570W$$
$$\therefore PI_{PWM} = P_{\text{Carga}} \times 2 \Rightarrow PI_{PWM} = 2 \times 570 \Rightarrow PI_{PWM} = 1140W \quad (52)$$

Caso o regulador de caga seja do tipo MPPT, as perdas são menores para o dimensionamento do inversor, por isso é necessário um inversor com potência menor, fato este que pode ser comprovado utilizando a equação 53, para determinar a potência elétrica do inversor.

$$\therefore Pc = 570W$$
$$\therefore PI_{MPPT} = P_{\text{Carga}} \times 1{,}43 \Rightarrow PI_{MPPT} = 570 \times 1{,}43 \quad (53)$$
$$\therefore PI_{MPPT} = 815W$$

1.2.9 - Dimensionamento dos disjuntores do sistema de geração PV

Os disjuntores de proteção do sistema de geração fotovoltaico são dimensionados da mesma forma que os disjuntores dos circuitos elétricos do protótipo, calculando-se a corrente elétrica de projeto, fazendo a seleção de acordo com as orientações da norma e a tecnologia de disjuntores para sistemas de geração fotovoltaico.

1º) Determinando o disjuntor DA.

Este disjuntor interliga o módulo fotovoltaico com o regulador de carga, logo é importante saber qual a corrente máxima disponibilizada pelo arranjo dos módulos. Como o arranjo deste projeto é composto por apenas um módulo fotovoltaico monocristalino e a corrente máxima de operação disponibilizada por ele é 12,84 A, basta aplicar esta valor na equação 54, e fazer a escolha da tecnologia do disjuntor seguindo a norma.

$$\therefore I_{DA} = I_{Módulo} + (I_{Módulo} \times 15\%) \Rightarrow I_{D2} = 12{,}84 + (12{,}84 \times 15)/100 \quad (54)$$
$$\therefore I_{DA} = 14{,}76A$$

De posse do valor da corrente do projeto IDA, e considerando a norma e categoria disjuntor, faz-se a escolha por um disjuntor de 20A CC mantendo um margem de segurança.

2º) Determinando o Disjuntor DB.

O disjuntor DB, está conectado entre o regulador de carga e a bateria de 60Ah de 12V. Como o regulador de carga recebe um a corrente do modulo monocristalino de no máximo 12,84 A, logo ele só pode injetar uma corrente igual ou inferior a corrente modulo na bateria, geralmente regulador PWM reduz o nível de tensão para um valor um pouco abaixo da tensão da bateria, neste caso, a escolha mais coerente é utilizar um disjuntor com as mesmas características do DA para o DB. Logo: IDA = IDB considerando a norma e a categoria disjuntor, faz-se a escolha por um disjuntor de 20A CC para o DB.

3º) Determinando o disjuntor DC.

A seleção do disjuntor DC, é efetuada da seguinte forma: deve-se calcular a corrente elétrica solicitada da bateria pela a carga, neste caso a potência elétrica utilizada é do secador rotativo compacto, e não a potência elétrica do inversor, pois ele a ajusta a potência interna de acordo com a carga. A bateria utilizada é de 60Ah de 12V e carga possui potência da carga=600W. Utilizando as equações 55 e 56, obtém-se o seguinte.

$$\therefore\ I_{carga} = \frac{P_{Carga}}{V_{bateria}} \Rightarrow I_{carga} = \frac{600}{12} \Rightarrow I_{carga} = 50A \qquad (55)$$

$$\begin{aligned} &\therefore\ I_{DC} = I_{carga} + (\ I_{carga} \times 15\%) \Rightarrow I_{Dc} = 50 + \ 50 \times (\ 15/100) \\ &\therefore\ I_{DC} = 50 + 7{,}5 \Rightarrow I_{Dc} = 57{,}5A \end{aligned} \qquad (56)$$

De acordo com a corrente IDC e a norma, fez-se a seleção de um disjuntor BC de 63A CC, pois este tipo de disjunto possui um sistema anti-centelhamento.

1.2.10-Determinação do payback do sistema de geração PV

O cálculo do Payback é realizado através dos dados específicos do sistema geração fotovoltaica do protótipo de acordo com os seguintes passos:

1) Dados do Projeto

- Tempo de funcionamento=8 horas
- Número de processos de secagem= 3 secagens por dia
- Energia consumida por dia=2850 W.h ou 2,85KW.h
- Número de dias= 30 dias
- Valor da tarifa do KW.h da concessionária(01/2023) = R$ 0,8789 (centavos)

Substituindo os dados acima na equação 57 determina-se o valor do consumo de energia mensal do secador rotativo compacto.

Onde:

$Cons_{(R\$)}$: Consumo mensal em reais;

$Tarifa_{(R\$)}$:Tarifa em reais por KW.h

$E_{(KW.h)}$: Energia consumida em KW.h

$N_{(Dias)}$: Número de dias que secador rotativo funciona

Substituindo as informações na equação 58 tem-se:

$$\therefore\ Cons_{(R\$)} = Tarifa_{(R\$)} . E_{(KWh)} . N_{Dias}$$
$$\therefore\ Cons_{(R\$)} = 0{,}8789.4{,}56.30 \Rightarrow Cons_{(R\$)} = R\$120,23 \quad (57)$$

Custo atualizado do sistema fotovoltaicos de acordo a tabela presente no tópico resultados e discussões é R$ 6.766,47.

Determinação do número de meses que o sistema fotovoltaico leva para dar o retorno do valor Investido através da equação 58.

$$\therefore\ NM = \frac{Custo\ do\ Sistema\ Fotovoltaico(\ R\$)}{Consumo\ em\ 1\ mês(\ R\$)}$$
$$\therefore\ NM = \frac{R\$\ 5199{,}47}{R\$\ 120{,}23} \Rightarrow NM = 43\ meses\ ou\ 3\ anos\ e\ 7\ meses \quad (58)$$

O payback obtido deste projeto de geração fotovoltaico é de 3(três) anos e 7(sete) meses.

APÊNDICE B

1- Secador rotativo comercial

O secador de rotativo de grãos comercial, é uma tecnologia que objetiva retirar as fração de caroços de açaí (caroços sem a polpa) de forma qualitativa, através do processo de secagem controlada, com o uso de tecnologia de aquecimento resistivo, alimentado energeticamente por sistema de energia fotovoltaica autônomo. A seguir serão descritos a elaboração dos projetos que compões esta tecnologia: projeto eletromecânico e o sistema de geração de energia elétrica fotovoltaico:

1.1 Projeto eletromecânico do secador rotativo comercial

É o projeto do secador rotativo comercial que são dimensionados todos os componentes da estrutura, mecânicos, elétricos e eletrônicos.

1.1.1 Tambores.

Os tambores apresentam as seguintes características, o primeiro tambor maior é fixo e maior (ver figura 1a), já e o segundo tambor é menor, ele é rotativo constituído de uma tela de aço resistente (ver figura 1b), sendo montado na forma de um cilíndrico, para a colocação do caroços existe em uma das suas laterais uma porta de abertura que é acionada por dobradiças, e fechada por um trinco pequeno.

Figura 1a -Tambor fixo

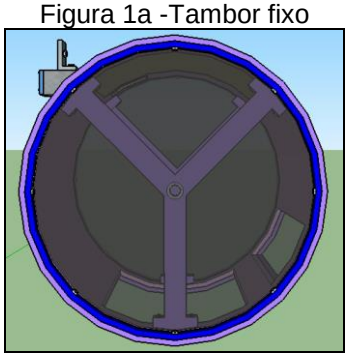
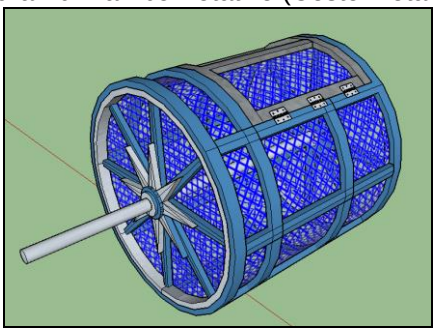


Figura 1b -Tambor rotativo (Cesto metálico)



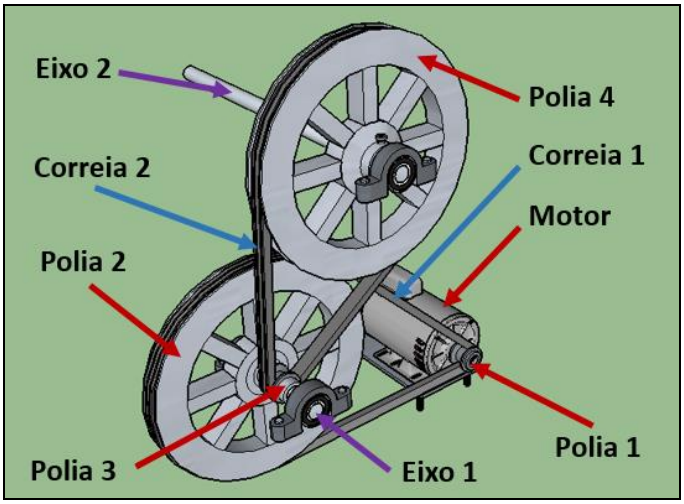
Fonte: Autor (2022)

1.1.2 Sistema de transmissão

O sistema de transmissão é a parte do protótipo responsável por rotacionar o tambor ou tambor rotativo. Este sistema é composto por, polias, correias, eixos e o motor elétrico de indução. Neste Apêndice é realizado todo o

dimensionamento destes componentes. Na figura 02 pode-se observar a sua montagem.

Figura 02- Sistema de transmissão do secador de caroços

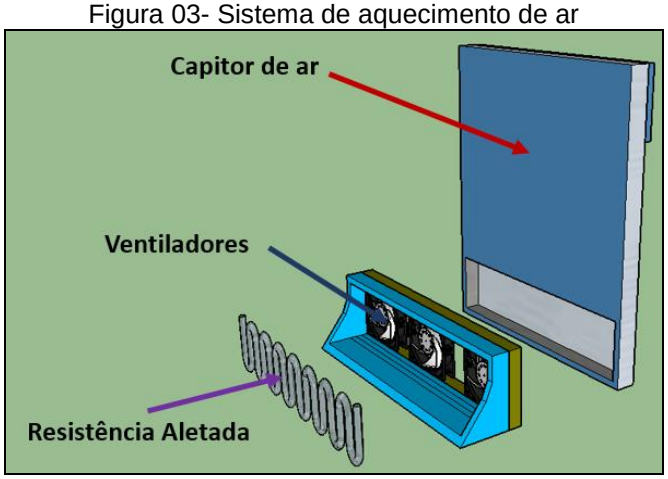


Fonte: Autor (2022)

1.1.3 Sistema de ventilação de ar quente.

O Sistema de ventilação de ar quente (ver figura 03) é a parte do protótipo que tem a função de injetar por ventilação o ar aquecido no interior do tambor fixo, para que seja realizada a secagem do material. Este sistema é composto por, um capitor de ar, uma resistência elétrica aletada e três ventiladores metálicos com 10cm de diâmetro. A título de informação do projeto, a potência do resistor ôhmico (resistência aletada), fluxo de ar e a potência dos ventiladores são determinados pelos métodos matemáticos.

Figura 03- Sistema de aquecimento de ar

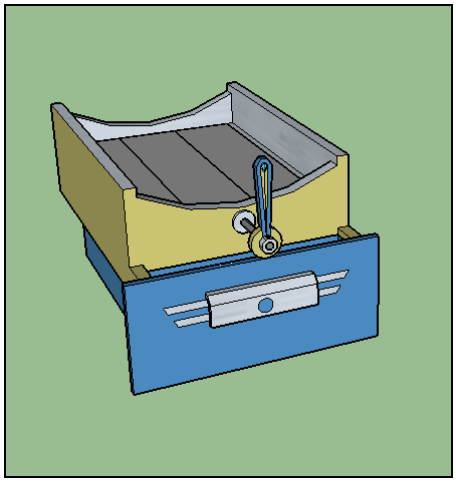


Fonte: Autor (2022)

1.1.4 Sistema de seleção de frações.

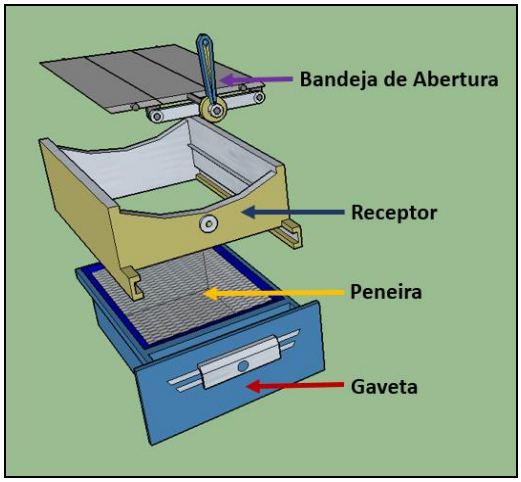
O sistema se seleção das frações (ver figuras 4a e 4b) é parte do secador que realiza pré-seleção das frações, isto acontece, após a secagem dos caroços de açaí pelo sistema de ventilação de ar quente. O sistema de seleção de frações é composto por uma bandeja de abertura, receptor, peneiradas e gaveta de armazenamento.

Figura 04 a -Sistema se seleção das frações fechado



Fonte:Autor (2022)

Figura 04 b -Sistema se seleção das frações aberto



Fonte:Autor (2022)

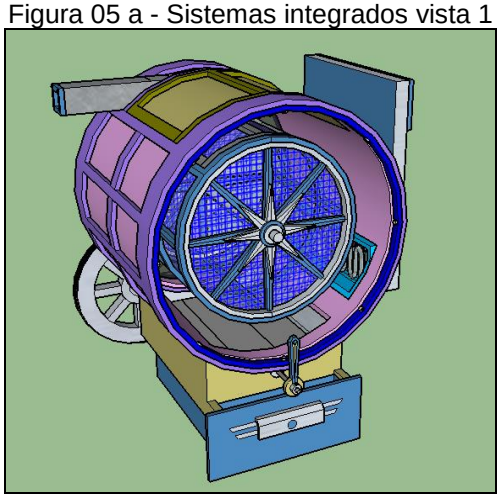
1.1.5 O processo de secagem

O processo de secagem do protótipo pode ser observado, ele acontece da seguinte forma: O tambor fixo tem a função de confinar o ar quente material que é injetado pelos ventiladores de metal e a resistência aletada, por outro lado o tambor rotativo(menor) desenvolve o movimento de giro horizontalmente, onde são colocados os caroços de açaí despolpados, em seguida o motor elétrico rotaciona o tambor rotativo (cesto com tela de aço), após um certo tempo os caroços começam desprender as frações, que caem no sistema de seleção, onde são peneiradas após a abertura da bandeja móvel, e em seguida armazenadas na gaveta inferior.

Para que este processo de secagem possa ser mais eficiente energeticamente, é necessário que o fluxo de ar quente é seja deslocado da seguinte forma. O ar em temperatura ambiente externo é recebido pelo captor, que em seguida ele é injetado na parte inferior esquerda do tambor fixo, através dos ventiladores e a resistência elétrica, este ar aquecido sobe, isto devido, a sua menor densidade, e logo em seguida o excesso até o exaustor, que se localiza na parte

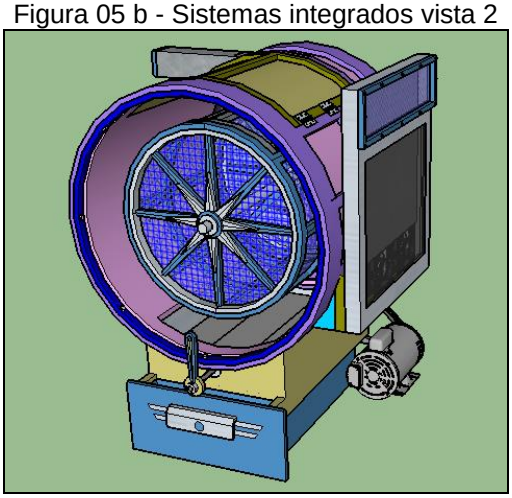
superior do tambor de confinamento térmico (tambor fixo), por ondo excesso sai. Para explanar da melhor forma este processo, nas figuras 05a e 05b são mostrados os sistemas integrados, e na figura 06 pode-se observar o sentido do fluxo do ar.

Figura 05 a - Sistemas integrados vista 1



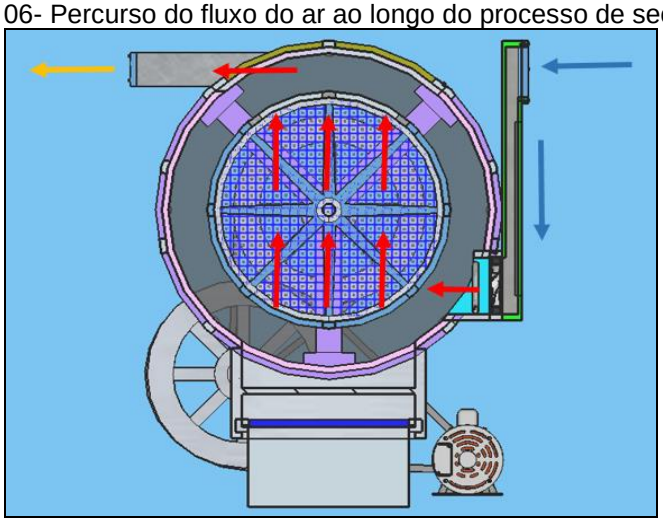
Fonte:Autor (2022)

Figura 05 b - Sistemas integrados vista 2



Fonte:Autor (2022)

Figura 06- Percurso do fluxo do ar ao longo do processo de secagem

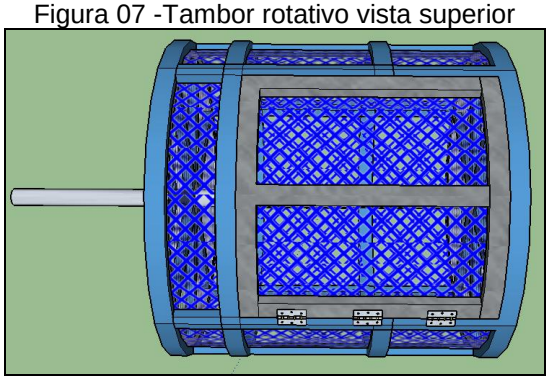


Fonte:Autor 2023

1.1.6 Cálculo da quantidade de massa no tambor de secagem (m)

O tambor rotativo (ver figura 07) é o compartimento responsável pela secagem e separação das frações do caroço de açaí. A determinação das dimensões do tambor é fundamental para que o volume do material ocupe apenas 15% dentro do mesmo, isto devido ao fato que uma quantidade muito grande do produto poderá dificultar a circulação do ar quente entre os caroços e conseqüentemente afetará de forma negativa na retirada da humidade.

Figura 07 -Tambor rotativo vista superior



Fonte: Autor (2022)

Para realizar o dimensionamento do tambor rotativo, deve-se atentar primeiramente para a quantidade de massa que um cesto de máquina branqueamento Ver figura 08) é capaz de armazenar, pois esta é a massa que se destina para cada processo de secagem.

Figura 08 -Tambor rotativo vista superior

Fonte: Autor (2022)

Considerando as características dos cestos de branqueamento, procede-se da seguinte para determinar a massa de material em seu interior; considerando as dimensões: 30 cm de diâmetro, e 30 cm de comprimento, com o formato cilíndrico, consideram a densidade aparente do caroço que é de 660Kg/m³, tem-se:

$$m = V \times \mu_{ap.} \tag{01}$$

$$V_{Cesto} = \pi \times R^2_{cesto} \times l_{cesto} \tag{02}$$

Substituindo a equação 2 na equação 1 teremos a equação 3.

$$m = \mu_{ap.} \times (\pi \times R^2_{cesto} \times l_{cesto}) \tag{03}$$

Calculando a capacidade de massa no cesto de branqueamento.

$$\therefore m = \mu_{ap.} \times (\pi \times R^{2}_{cesto} \times l_{cesto}) \Rightarrow m = 660 \times \left[(\pi \times (15)^{2} \times 30) / 1000 . 000 \right] \quad (03)$$
$$\therefore m \cong 14\ Kg$$

A partir do valor calculado da capacidade de massa do cesto de branqueamento pode-se determinar as dimensões do tambor rotativo, lembrando que a massa por processo não se pode ultrapassar 15% do volume total, e que densidade aparente do caroço é de 660Kg/m³. Sabendo-se que a capacidade total do tambor rotativo é 100% do volume ocupado, logo fazendo a regra de três simples obtém-se:

$$\therefore m_{Tambor} = \frac{m_{Cesto} \times 100}{15} \Rightarrow m_{Tambor} = \frac{13,95 \times 100}{15} \Rightarrow m_{Tambor} = 93\ Kg \quad (04)$$

O volume do tambor rotativo pode ser obtido desta forma:

$$\therefore V_{Tambor} = \frac{m_{Tambor}}{\mu_{ap.}} \Rightarrow V_{Tambor} = \frac{93}{660} \Rightarrow V_{Tambor} = 0,14\ m^{3} \quad (05)$$

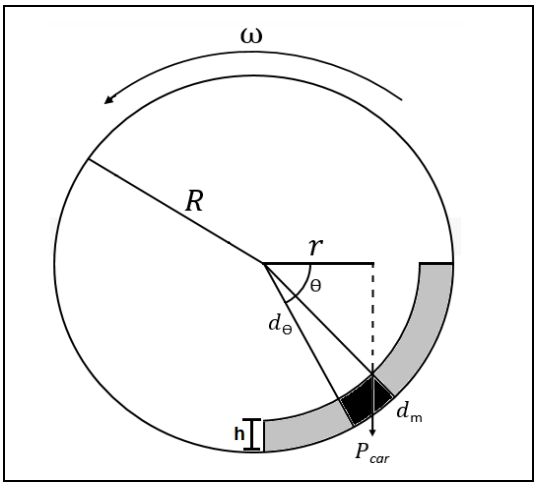
Determinando o raio do tambor rotativo, na seguinte condição, o seu comprimento (l) máximo é 50 cm:

$$\therefore R_{Tambor} = \sqrt{\frac{m_{Tambor}}{\mu_{ap} \times \pi \times l_{tambor}}} \times 1000 \Rightarrow R_{Tambor} = \sqrt{\frac{93}{660 \times \pi \times 50}} \times 1000 \quad (06)$$
$$\therefore R_{Tambor} \cong 30\ cm$$

1.1.7 Cálculo torque exercido pela massa na cesta (T)

Considerando a massa distribuída pela superfície interna da cesta (ver figura 09), o torque é a somatória das variações do torque *dT* exercida por cada fração de massa d_m no cesto, como mostra a Eq. (7) onde o P_{car} é peso do caroço e o *r* é o braço de alavanca para cada variação do ângulo $d\theta$, desenvolvendo-a chegamos na Eq. (8), que será utilizada para encontrar o valor do torque.

Figura-09- Massa disposta sobre a superfície do tambor rotativo.



Fonte: Autor (2023)

Onde:

g: gravidade;

D_{ap}: Densidade aparente;

*m:*Massa total do caroço;

h: Altura da camada de caroços;

R: Raio do cesto;

L: Comprimento do tambor.

Desenvolvendo a equação 7 tem a equação 8.

$$\therefore dT = P_{car} \times r$$
$$\therefore dT = g \times d_{apt} \times R^2 \times L \times h \times \cos\ \theta\ d\theta$$
$$\therefore dT = \frac{2 \times m}{\pi} g \times R \times \cos\ \theta\ d\theta \qquad (07)$$
$$\therefore dT = \int_{\theta=0}^{\theta=-2\pi} \frac{2 \times m}{\pi} g \times R \times \cos\ \theta\ d\theta$$
$$\therefore dT = \frac{2 \times m}{\pi} g \times R$$

$$\therefore T = -\frac{2 \times m}{\pi} g \times R \qquad (08)$$

Utilizando a equação 8 calculamos o Torque (T):

$$\therefore T = -\frac{2 \times m}{\pi} g \times R \Rightarrow T = -\frac{2 \times 13{,}99}{\pi} 9{,}81 \times (\ 30/100) \qquad (08)$$
$$\therefore T = -26{,}22\, N.m$$

1.1.8 Determinar a velocidade angular de rotação do cesto de secagem (w)

A separação das fibras de açaí do caroço, é realizada regulando a velocidade de rotação do cesto de tela de aço. Isto é necessário para que caroços de açaí no processo de cisalhamento ou atrito promova o desfibramento.

O método adotado para fazê-los, foi regulando a velocidade do cesto ao máximo, elevando o material a máxima altura e aumentando a energia potencial, e assim esse material entra em queda livre, aumentando as sua energia cinética e diminuindo a potencial, promovendo o choque com outros caroços e a tela de aço do tambor rotativo (cesto). O valor da velocidade máxima em simulação no laboratório que foi satisfatória é de 0,91 ciclos/s, que convertendo pelo uso da equação (9) em velocidade angular tem-se [34].

$$\therefore\ \omega_{ang} = 2 \times \pi \times f \Rightarrow \therefore \omega_{ang} = 2 \times \pi \times 0{,}91 \Rightarrow \omega_{ang} = 5{,}72\ rad\ /s \qquad (09)$$

1.1.9 Determinação da potência mecânica

Após o ter obtido o valor do torque e a velocidade angular, se utiliza Equação 10 para o cálculo da potência mecânica exigida pelo o motor elétrico.

$$\therefore P_m = T \times \omega_{ang} \Rightarrow P_m = 26{,}22 \times 5{,}72 \Rightarrow P_m = 149{,}45\ W \qquad (10)$$

1.1.10 Procedimento para o cálculo do diâmetro do eixo (DE)

O dimensionamento do raio do eixo é obtido através da Equação 11, a massa considerada de projeto contida no cesto de secagem é três vezes maior, m_{3x}= 41,987 Kg, para manter uma margem de segurança sobre o eixo. Também foram realizados testes de tração em amostras do eixo de acordo com a norma ASTM (American Society for Testing and Materials-Atualizar), designação -E 8M-00b, para se determinar a sua tensão de escoamento, valor encontrado de σ_e= 360,125MPa, para posteriormente encontrar a tensão de cisalhamento, valor

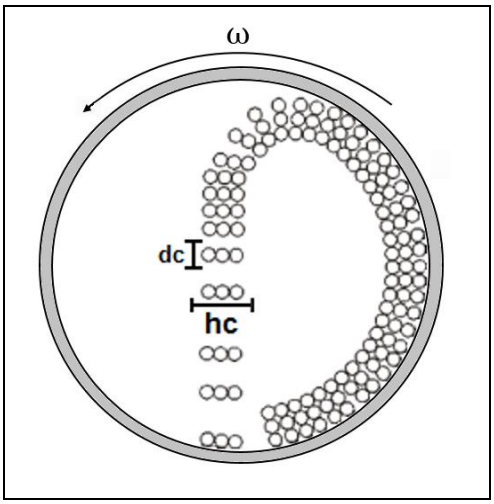
encontrado de $\tau_{máx.}$ = 180 MPa, o torque e o momento flexor também foram determinados, os valores respectivamente foram de T= -76,666 N.m e M= 10,297 N.m [34].

$$\begin{aligned} &\therefore r_{eicxo} = \left[(2/\pi \times \tau_{máx}) \times \sqrt{M^2 + T^2} \right]^{1/3} \\ &\therefore r_{eicxo} = \left[(2/\pi \times 180,062) \times \sqrt{10,297^2 + 78,666^2} \right]^{1/3} \Rightarrow r_{eicxo} = 0{,}006884 \quad ou \\ &\therefore r_{eicxo} = 6{,}884 \ mm \Rightarrow Diametro = 2 \times r_{eicxo} \Rightarrow D = 2 \times 6{,}884 \Rightarrow D = 13{,}768 \ mm \end{aligned} \tag{11}$$

1.1.11 Resistência mecânica da tela do cesto

Devido a queda do caroço no interior do cesto a tela sofre impacto, a equação 12 é utilizada para transformação de energia cinética em tensão, o comportamento do caroço no interior do tambor é semelhante a figura 10 e testes de tração realizados na tela aponta uma resistência de σ_t = 120 MPa, considerando a massa três vezes maior m_{3x}=41,987, para dar uma margem de segurança, a quantidade de massa encontrado que cai por vez no interior do cesto foi de m_{int}=0,4323Kg, a tensão exercida sobre a tela é de σ_m = 200,559 MPa , como a tela só resiste a σ_t = 120 MPa, obrigatoriamente a massa foi reduzida para m_{red}= 5Kg , novamente para a segurança, utilizado nos caçulos a massa três vezes maior, a nova massa que cai no interior do cesto é m_{redint}= 0,1548Kg [34].

Figura 10- Comportamento do caroço no interior do tambor rotativo



Fonte: Autor (2023)

Determinando a tensão mecânica sabendo que:

V: Velocidade final de queda.

E: módulo de elasticidade da tela.

$I_{E:}$ momento de inércia do cesto.

$L_{t:}$:distância dos mancais (comprimento do cesto mais os eixos).

Utilizando a equação 12:

$$\therefore \sigma_m = \sqrt{(\ 3 \times m \times v^2 \times E \times I_E)/[L_t \times (\ I_E / R)^2]}$$

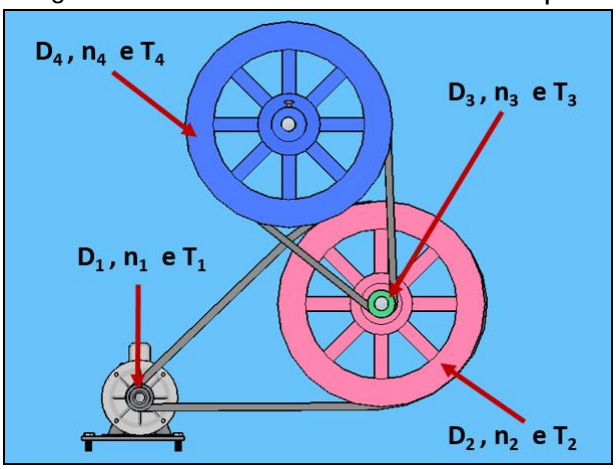
$$\therefore \sigma_m = \sqrt{\frac{3 \times 0,154 \times 3,431^2 \times 68,67 \times 10^{9} \times 4,70254 \times 10^{-6}}{0,6 \times (\ 4,70254 \times 10^{-6} / 0,3)^2}} \qquad (12)$$

$$\therefore \sigma_m == 119,875\ MPa$$

1.1.12 Sistema de transmissão mecânico

Incialmente foram observados dois métodos de transmissão, sãos eles. Por correia e por inversor de frequência. Ambos foram estudados, porém o método selecionado, foi o de transmissão por correia, por se tratar de um método de menor custo de implementação. Notou-se que, para uma redução de velocidade bem significativa seria necessário utilizar um sistema de transmissão de redução de velocidade dupla, o que possibilita a diminuição da frequência de rotação de forma bem significativa, evitando assim, a quebra dos caroços de açaí, possibilitando a retirada de suas frações com melhores qualidades físicas. Pela figura 11 e a tabela 1, é possível observar e identificar o sistema de dupla redução e seus principais elementos.

Figura 11- Sistema de transmissão dupla



Fonte: Autor (2023)

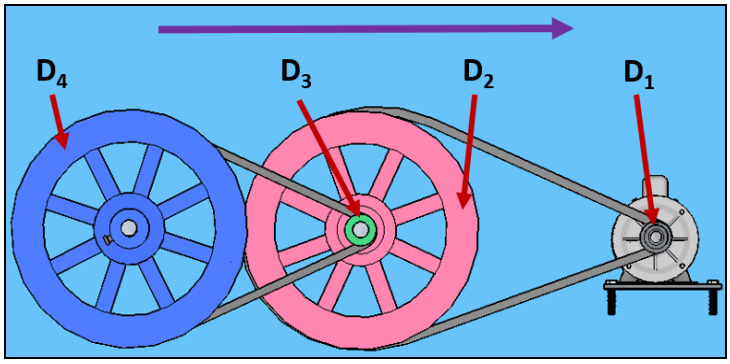
Tabela 1-Identificação dos componentes do sistema de transmissão.

Identificação	Descrição	Unidade
D_1	Diâmetro da polia 1	m
D_2	Diâmetro da polia 2	m
D_3	Diâmetro da polia 3	m
D_4	Diâmetro da polia 4	m
n_1	Frequência da polia 1	rpm
n_2	Frequência da polia 2	rpm
n_3	Frequência da polia 3	rpm
n_4	Frequência da polia 4	rpm
T1	Torque da polia 1	N.m
T2	Torque da polia 2	N.m
T3	Torque da polia 3	N.m
T4	Torque da polia 4	N.m

Fonte: Autor(2022)

Para dimensionar as variáveis do sistema de transmissão de velocidade e torque, foram feitos cálculos utilizando equações matemáticas da engenharia mecânica. Sendo que a sequência de transmissão da análise é a partir da polia 4 até a polia 1 (ver figura 12).

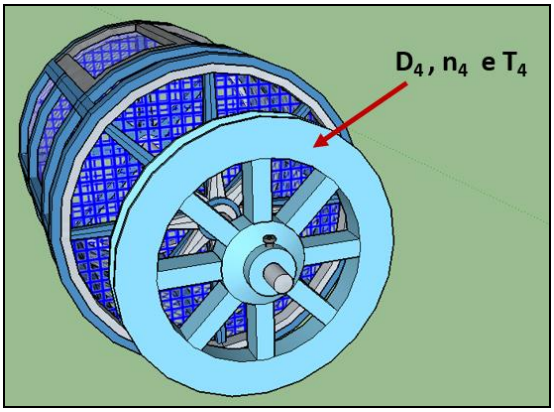
Figura 17- Sistema de transmissão dupla sentido polia 4(tambor) até 1(motor)



Fonte: Autor (2023)

1ª) Etapa - Especificando os dados de transmissão da polia 4(ver figura 13). Consideradas as características da carga mecânica e o diâmetro do cesto metálico ou tambor rotativo. Tem-se então:

Figura 13- Sistema transmissão de polia 4.



Fonte: Autor (2023)

Onde:

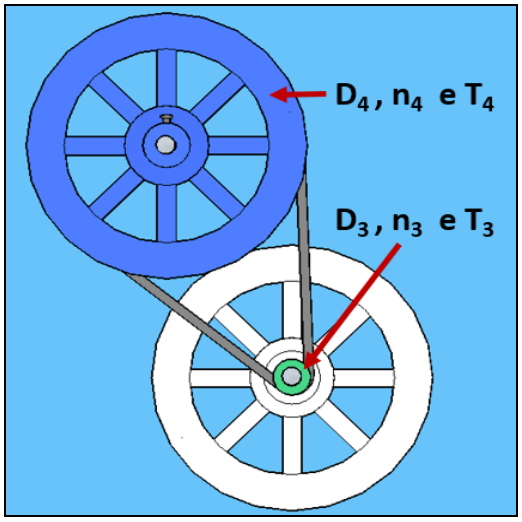
D4= 0,2858 m

η4=27,144 rpm

T4= 26,22 N.m

2ª) Etapa - Determinar a frequência de rotação e torque da polia 3, Utilizando a relação de transmissão matemática entre ela e a polia 4, que demostrada na figura 14 e expressa na equação 13 e 14, procedendo da seguinte forma.

Figura 14- Sistema de transmissão entre as polias 4 e 3.



Fonte: Autor (2023)

Dados:

D4= 0,2858 m

η 4= 27,144 rpm

T4= 26,22 N.m

D3= 0,0358 m

η3=?

Calculando a frequência n3

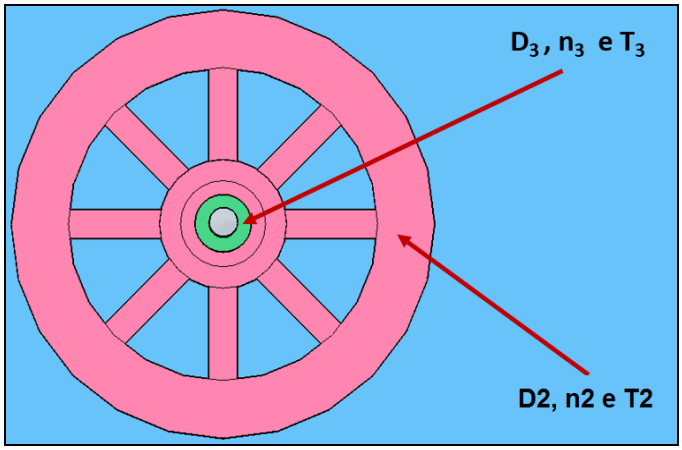
$$\therefore \frac{\eta_3}{\eta_4} = \frac{D_4}{D_3} \Rightarrow \eta_4 \times D_4 = \eta_3 \times D_3 \Rightarrow \eta_3 = \frac{\eta_4 \times D_4}{D_3}$$
$$\therefore \eta_3 = \frac{0{,}2858 \times 27{,}144}{0{,}0358} \Rightarrow \eta_3 = 216{,}697\ rpm \quad (13)$$

Calculando o torque T3

$$\therefore \frac{\eta_3}{\eta_4} = \frac{T_4}{T_3} \Rightarrow \eta_3 \times T_3 = \eta_4 \times T_4 \Rightarrow T_3 = \frac{\eta_4 \times T_4}{\eta_3}$$
$$\therefore T_3 = \frac{27{,}144 \times 26{,}22}{216{,}697} \Rightarrow T_3 = 3{,}284\ N.m \quad (14)$$

3ª) Etapa - Determinando a frequência de rotação e o torque da polia 2. Como a polia 2 está acoplada na polia 3, ambas possuem a mesma velocidade de rotação e torque. Observando a figura 15 e utilizando a relação matemática das equações 15 e 16, tem-se.

Figura 15- Sistema de transmissão entre as polias 2 e 3.



Fonte: Autor (2023)

Dados.

D3= 0,0358 m e η3= 216,703 rpm

T_3= 3,284 N.m e D2=0,2858 m

η_2= ? e T_2= ?

Calculando n2

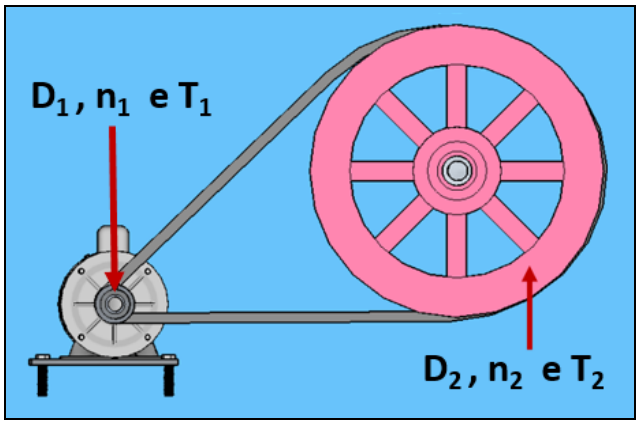
$$\therefore \eta_2 = \eta_3 \Rightarrow \eta_3 = 216\ ,703\ \ rpm \tag{15}$$

Calculando T2

$$\therefore T_2 = T_3 \Rightarrow T_3 = 3{,}284\ \ N.m \tag{16}$$

4ª) Etapa - Determinando a frequência de rotação e o Torque da polia 1 (ver figura 16). Utilizando as relações matemáticas, onde a equação 17 relaciona as frequências e a equação18 relaciona o torque entre estas polias.

Figura 16- Sistema de transmissão entre as polias 1 e 2.



Fonte:Autor (2023)

Dados:

D2= 0,2858 m

η2= 216,697 rpm

T_2=3, 284N.m

D1= 0,0358 m

η1=? e T1=?

Calculando a frequência n1.

$$\therefore \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{D_2}{D_1} \Rightarrow \eta_1 \times D_1 = \eta_2 \times D_2 \Rightarrow \eta_1 = \frac{\eta_2 \times D_2}{D_1} \Rightarrow \eta_1 = \frac{216,697 \times 0,285}{0,0358} \quad (17)$$

$$\therefore \eta_1 = 1729,944\ rpm \cong 1730\ rpm$$

Calculando o Torque T1.

$$\therefore \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta_1 \times T_1 = \eta_2 \times T_2 \Rightarrow T_1 = \frac{\eta_2 \times T_2}{\eta_1} \Rightarrow T_1 = \frac{216,697 \times 3,284}{1730} \quad (18)$$

$$\therefore T_1 = 0,41140948 \quad N.m$$

Na Tabelas (2), descritos os valores das variáveis que foram determinadas a partir da análise do sistema duplo de transferência.

Tabela 2- Medidas dos diâmetro das polias versus as velocidades.

Diâmetro, velocidade e torque	Medida	Unidades
Diâmetro D_1	0,0358	m
Velocidade n_1	1730	rpm
Torque T_1	0,411	N.m
Diâmetro D_2	0,2858	m
Velocidade.n_2	216,697	rpm
Torque T_2	3,284	N.m
Diâmetro D_3	0,0358	m
Velocidade n_3	216,704	rpm
Torque T_3	3,284	N.m
Diâmetro D_4	0,2858	m
Velocidade n_4	27,144	rpm
Torque T_4	26,22	N.m

Fonte: Autor(2022)

A segunda metodologia de determinar as variáveis do sistema de transmissão é pelo uso de uma planilha inteligente 1, que foi desenvolvida da seguinte forma: ela possui um conjunto de equações, e suas células podem ser alimentada por valores das variáveis (ver figura 17).

Observando os dados expostos na tabela 2 e os resultados obtidos na planilha 1 (figura 17), é possível constatar, que ambas as metodologias apresentam

os mesmos resultados, porem a planilha inteligente realiza os cálculos de forma bem mais rápido, notando assim, que a primeira metodologia serve para dar comprovação teórica da segunda metodologia, logo é correto afirmar que ambas se complementam.

Figura 17- Variáveis do sistema de transmissão duplo, sentido polia 4 para 1.

Planilha-01-Sistema de Tranferencia Dupla do Secador de Grãos Rotativo-Sentido do Tambor/motor-2023					
Polia 4			Polia 3		
D4 (m)	N4 (rpm)	T4 (N.m)	D3 (m)	N3 (rpm)	T3 (N.m)
0,2858	27,144	26,22	0,0358	216,6970726	3,28438069
Polia 2			Polia 1		
D2 (m)	N2 (rpm)	T2 (N.m)	D1 (m)	N1 (rpm)	T1 (N.m)
0,2858	216,697073	3,28438069	0,0358	**1729,944786**	**0,41140948**

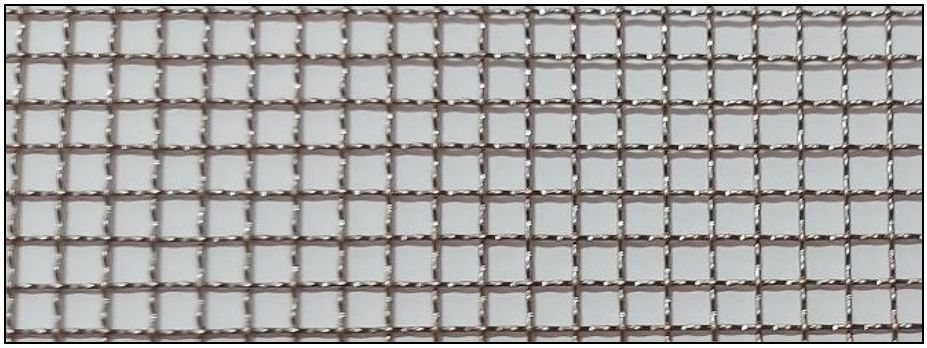
Fonte:Autor (2023)

1.1.13 Determinação granulométrico da tela do cesto de secagem

A tela do tambor de secagem além de possuir a função de separação das frações do caroço de açaí, neste caso que são a borra e as fibras, é através da tela que há a passagem do ar aquecido para a secagem.

A abertura de tela que obteve o melhor resultado foi à peneira de abertura 4,75 mm como mostra a figura 18, que não deixa passar o material a ser seco. Algumas exceções de caroços em fase de amadurecimento que possuem diâmetro muito pequeno, que atravessam a tela[34].

Figura 18 - Peneira para o teste granulométrico dos caroços de açaí

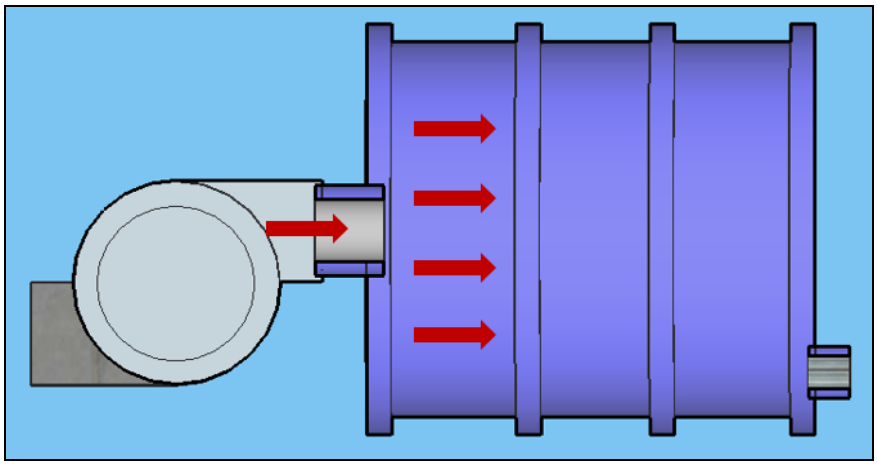


Fonte: Autor (2022)

1.1.14 Cálculo da vazão e da velocidade do ar de aquecimento

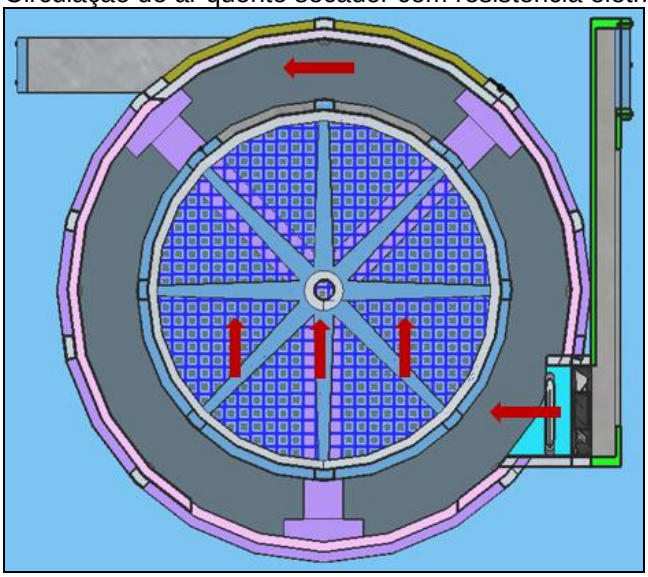
Grande parte dos secadores indústrias no mercado possui a entrada do gás de secagem pela seção transversal, como mostra na figura 19. Com relação ao projeto do secador desta dissertação, ele é construído com a entrada ar quente lateral inferior como é mostrado na figura 20, dessa maneira ele possui um melhor uso do deslocamento de ar quente, que se desloca da parte inferior para a parte superior, além disso está configuração torna a montagem do equipamento mais prático.

Figura 19- Circulação de ar quente secador convencional a gás



Fonte:Autor (2022)

Figura 20- Circulação de ar quente secador com resistência elétrica aletada



Fonte:Autor (2022)

Sabendo que a densidade e o calor específico do ar são respectivamente, ρ =1,10 kg/m³ e C_p =1007/kg.K e a potência da resistência é P_R=1500W através da equação 19 é possível calcular a vazão mássica.

$$\therefore\ Q = m \times C_p \times \Delta T \tag{19}$$

Deve-se calcular a variação de temperatura do ar de entrada (T_i) e de saída (T_f) pretendida pela equação 20. A temperatura de 70ºC é escolhida por ser uma temperatura média que é utilizada para secagem de materiais orgânicos sem descaracterizar o material.

$$\therefore \Delta T = T_f - T_i \Rightarrow \Delta T = 70^0 - 25^0 \Rightarrow \Delta T = 50^0 C \tag{20}$$

A equação 21 para a o cálculo da vazão mássica é Isolando a massa(m) da equação 19.

$$\begin{aligned} &\therefore\ Q = m \times C_p \times \Delta T \Rightarrow m = Q/(\ C_p \times \Delta T\ ) \\ &\therefore\ m = 1500\ /\ (1007 \times 45) \Rightarrow m = 0{,}0331\ kg/s \end{aligned} \tag{21}$$

Pela equação 22 determina a vazão volumétrica (V_{arq}) do ar quente.

$$V_{arq} = m_{arq} /\ \rho_{arq}\ \Rightarrow V_{arq} = 0{,}0331\ /\ 1{,}10 \Rightarrow V_{arq} = 0{,}0301\ m^3/s \tag{22}$$

Determinando a velocidade do ar do ventilador (V_{vent}). Utilizando o valor obtido pela equação 22 aplicado na equação 23 é possível obter

$$\begin{aligned} &\therefore V_{vent} = V_{arq} / A_R \Rightarrow V_{vent} = V_{arq} / (b \times h) \Rightarrow V_{vent} = 0{,}0310\ /(0{,}1 \times 0{,}5) \\ &\therefore V_{vent} = 0{,}602\ m/s \end{aligned} \tag{23}$$

1.1.15 Cálculo da potência do motor elétrico de indução.

O cálculo da potência elétrica do motor é efetuado utilizando a equação 24 ou a equação 24, considerando as variáveis que já foram determinadas neste projeto, como, o torque de 1N.m, e a frequência de rotação de 1730 rpm. Tem-se o seguinte.

$$\therefore\ P_{(\ W)} = \frac{T \times \eta \times \pi}{30} \tag{24}$$

$$\therefore\ P_{(\ C.V)} = \frac{T \times \eta}{7024} \tag{25}$$

Onde.

T-Torque= 1N.m

η -Frequência de rotação= 1730 rpm

Substituindo os dados na equação 24, obteremos o expresso na equação 25.

$$\therefore\ P_{(\ W)} = \frac{T \times \eta \times \pi}{30} \Rightarrow P_{(\ W)} = \frac{1 \times 1730\ \times 3{,}14}{30} \Rightarrow P_{(\ W)} = 181{,}07\ W \tag{25}$$

Convertendo para C.V. (cavalo vapor) o resultado da equação 25, será obtido o expresso pela equação 26.

$$\therefore\ P_{(\ C.V)} = \frac{P_{(\ W)}}{736} \Rightarrow P_{(\ C.V)} = \frac{181{,}07}{736} \Rightarrow P_{(\ C.V)} = 0{,}246\ C.V\ ou\ P_{(\ C.V)} \cong \frac{1}{4} C.V \tag{26}$$

1.1.16 Seleção do motor elétrico de indução.

A escolha do motor elétrico é feita da seguinte forma. De acordo com os resultados dos cálculos das variáveis do sistema de transmissão que rotaciona o tambor ou cesto rotativo: Torque, potência elétrica e a frequência de rotação (ver a tabela 3).

Tabela-3 Variáveis do sistema de transmissão

Variável do sistema	**Unidade de medição**
Potência elétrica	181,07 W aproximadamente 1/4 CV
Frequência de rotação polia 1	1730 rpm
Torque na polia 1	0,411 Nm

Fonte: Autor(2022)

De posse destes dados da tabela 3 realizou-se a seleção do motor pelo catálogo do fabricante (Ver a figura 21).

Figura 21- Catálogo do fabricante de motores elétricos

Potência		Carcaça	RPM	Corrente nominal em 220V (A)	Corrente com rotor bloqueado I_p / I_n	Conjugado nominal C_n (kgfm)	Conjugado com rotor bloqueado C_p / C_n	Conjugado máximo $C_{máx.}/C_n$
cv	kW							
4 Pólos - 60 Hz								
00,12	0,09	B48	1750	1,7	4,4	0,05	3,4	3,2
0,12	0,09	56	1750	1,7	4,4	0,05	3,4	3,2
0,16	0,12	B48	1740	1,95	4,7	0,07	3,6	2,9
0,16	0,12	56	1740	1,95	4,7	0,07	3,6	2,9
0,25	0,18	B48	1730	2,5	4,5	0,10	3	2,4
0,25	0,18	56	1730	2,5	4,5	0,10	3	2,4
0,33	0,25	C48	1740	3,25	4,8	0,14	3,2	2,7
0,33	0,25	C56	1740	3,25	4,8	0,14	3,2	2,7

Fonte: Adaptado do catálogo de fabricante de motores (2022)

Após isto, elaborou-se uma tabela (ver tabela 4) com todas principais informações presentes no catálogo (potência elétrica em Watts, a frequência assíncrona, torque, também e os níveis de tensão elétrica) para melhor detalhas as especificações deste dispositivo.

Tabela-4 Caraterísticas técnicas do motor elétrico

Tipo de motor	**Motor de indução**
Índice de proteção	IP 21
Número de polos	4 Polos
Tipo de corrente e tensão elétrica	Alternada
Potência elétrica	1/4 CV
Níveis de tensão elétrica	127/220
Frequência de trabalho	60 HZ
Velocidade de rotação	1730 rpm
Número de polos	4
Temperatura de trabalho ambiente	40ºC

Fonte: Autor(2022)

Neste caso, o motor selecionado (ver figura 22) foi um de indução tipo gaiola de esquilo, que trabalha em dois níveis de tensão alternada, apresentam baixo custo de manutenção e são bastante utilizados em equipamentos industriais.

Figura 22 Motor de indução bivolt 127/220 V

Fonte: Adaptado do catalogo de fabricantes (2022)

1.1.17 Cálculo da potência elétrica do secador rotativo de grãos

Com relação a potência elétrica do projeto secador rotativo de caroços, ela pode ser determinada pela soma das potências em watts de todos os componentes fazem parte do seu circuito elétrico, através dos dados da tabela 5 e do valor da potência obtida na equação 27.

Tabela-5 Valor das potências dos componentes do secador de grãos

Motor elétrico	181,07 W
Resistor de aquecimento térmico	1500 W
3 x Ventilador metálico de circulação de ar	3 x 10W

Fonte: Autor(2022)

Logo:

$$\therefore\ P_{Secador} = P_{ele} + P_{resistor} + P_{ventila.} \Rightarrow P_{Secador} = 181,07 + 1500 + 30$$
$$\therefore\ P_{Secador} = 1711\ W \qquad (27)$$

1.1.18 Seleção do tipo de acionamento do motor elétrico

O Acionamento do motor elétrico depende diretamente das seguintes características técnicas: torque, corrente elétrica e potência. De acordo com as características técnicas do motor deste protótipo, é observado uma potência relativamente baixa, por isto optou-se por um sistema de partida direta. As principais

vantagens da partida direta são: Custo reduzido, simples implementação (fácil de montar) alto torque de partida do motor.

1) Chave de partida direta

A seleção do tipo da tecnologia da partida direta é efetivada a partir do uso do catalogo de fabricantes (ver figura 23), utilizando as especificações técnicas do motor elétrico (ver tabela 4).

Figura 23 Chave de partida direta em caixa termoplástica

Partida Direta Monofásica- PDWM

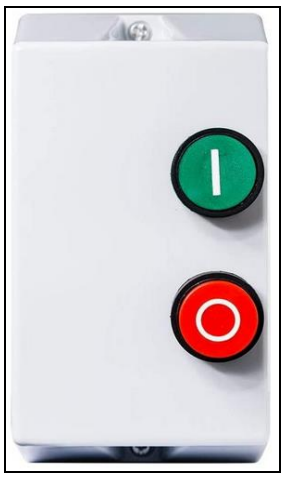
Composição: Contator + Relé de Sobrecarga

Motores monofásicos - 4 polos - 60 Hz [1]						Faixa de ajuste do relé de sobrecarga (A)	Máxima corrente nominal I_e (A)	Fusível recomendado (A)
Motor carcaça NEMA			Motor carcaça IEC					
127 V ca cv	220 V ca cv	254 V ca cv	127 V ca cv	220 V ca cv	440 V ca cv			
-	1/8	-	-	0,16	-	(1,2 - 1,8)	1,8	4
-	1/6	-	-	-	-	(1,8 - 2,8)	2,8	4
-	1/4	-	-	-	-	(1,8 - 2,8)	2,8	6
1/8	1/3	1/3	0,16	0,25	-	(2,8 - 4)	4	6
1/6	-	1/2	-	0,33	-	(2,8 - 4)	4	10
1/4	1/2 - 3/4	3/4	0,25	0,5	-	(4 - 6,3)	6,3	10
1/3	-	-	0,33	0,75	-	(5,6 - 8)	7	10
-	-	-	-	-	0,5	(1,8 -2,8)	2,8	6

Fonte: Adaptado do catálogo do fabricante

Procedendo desta forma chegou-se ao dispositivo cujo o modelo é o PDWM (ver figura 24-a e figura 24-b)

Figura 24 a-botoeira de partida direta externa



Fonte: Autor(2022)

Figura 24 b-botoeira de partida direta aberta

Fonte: Autor (2022)

3) Dispositivos de uma chave de partida direta

Os principais dispositivos que fazem parte de uma chave de partida direta, serão demostrados na tabela 6.

Tabela-6 Dispositivos que fazem parte do circuito de comando do protótipo

Dispositivo	Quantidade
Botoeiras	2
Contator	3
Relé	1
Fusível	1

Fonte: Autor-2023 (Ajustar a Bibliografia)

Observação:

A seleção do fusível é realizada através do manual do fabricante de chave de partida direta pode-se notar que o valor da corrente de 10 A do fusível exposto na planilha, sendo assim está é o valor da corrente do fusível que deve proteger o motor elétrico do protótipo. Ver figura 25.

Figura 25 - Amperagem do fusível de efeito retardado

Partida Direta Monofásica- PDWM

Motores monofásicos - 4 polos - 60 Hz [1]						Máxima corrente nominal I_e (A)	Fusível recomendado (A)
Motor carcaça NEMA			Motor carcaça IEC				
127 V ca cv	220 V ca cv	254 V ca cv	127 V ca cv	220 V ca cv	440 V ca cv		
-	1/8	-	-	0,16	-	1,8	4
-	1/6	-	-	-	-	2,8	4
-	1/4	-	-	-	-	2,8	6
1/8	1/3	1/3	0,16	0,25	-	4	6
1/6	-	1/2	-	0,33	-	4	10
1/4	1/2 - 3/4	3/4	0,25	0,5	-	6,3	10
1/3	-	-	0,33	0,75	-	7	10

Fonte: Adaptado do manual do fabricante de chaves de partida

4) Legendas ou Simbologias dos dispositivos da chave de partida direta

A função da simbologia é representar cada um componentes que fazem parte de diagrama de um circuito elétrico, e assim entender a lógica de seu funcionamento. Esta simbologia é padronizada através das normas NBR, DIN e IEC (Ver tabela 7).

Tabela 7-Principais símbolos de comandos elétricos.

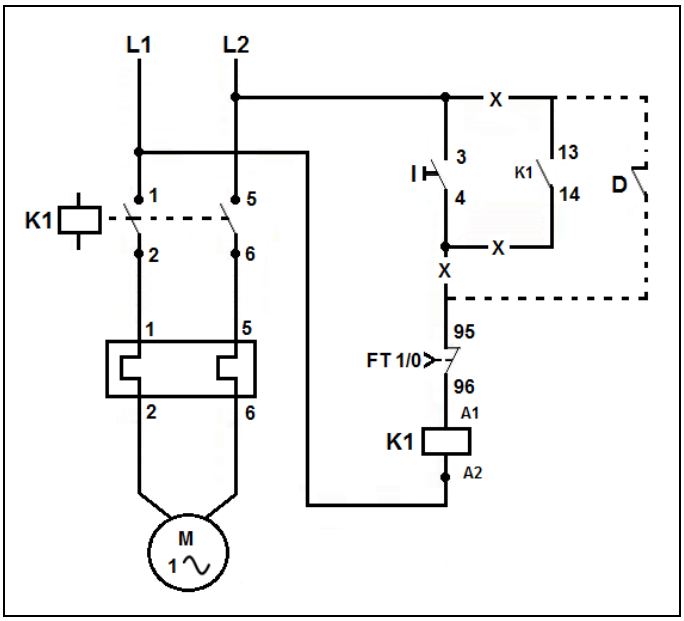
Símbolo	Descrição	Símbolo	Descrição
	Botoeira NA com retorno por mola		Botoeira NF com retorno por mola.
	Contatos tripolares NA, ex: contator de potência		Fusível
	Acionamento eletromagnético, ex: bobina do contator		Contato normalmente aberto (NA)
	Relé térmico.		Contato normalmente fechado (NF).
N U M 1	Motor Monofásico		

Fonte: Baseado na Norma NBR 5444

2) Diagrama da chave de partida direta

No caso do diagrama da chave de partida direta do motor deste protótipo, observou-se o diagrama presente no manual do fabricante de chave de partida direta, e assim houve a elaboração de um novo diagrama adaptado do catálogo, neste caso o diagrama da figura 26.

Figura 26-Diagrama do circuito de uma partida direta PDWM



Fonte: Adaptado do catálogo do fabricante de chave de partida

1.1.19 Dimensionamento do disjuntor de proteção do secador rotativo

Para dimensionar o disjuntor de proteção do circuito elétrico do protótipo, é necessário basicamente, determinar o valor da amperagem deste disjuntor, sendo assim, deve-se calcular a corrente elétrica de cada um dos componentes do protótipo, e a partir dos resultados, efetuar a soma das correntes, procedendo da seguinte forma.

a) Cálculo da corrente de partida do motor

Observando o catálogo do fabricante de motores elétricos pode-se calcular o valor da corrente de partida do motor pela relação corrente de nominal e da corrente de partida expressa em Ip/In=4,5. Ver a figura 27.

Figura 27- Catálogo do fabricante de motores elétricos

Potência		Carcaça	RPM	Corrente nominal em 220V (A)	Corrente com rotor bloqueado I_p / I_n	Conjugado nominal C_n (kgfm)	Conjugado com rotor bloqueado C_p / C_n	Conjugado máximo $C_{máx.}/C_n$
cv	kW							
4 Pólos - 60 Hz								
00,12	0,09	B48	1750	1,7	4,4	0,05	3,4	3,2
0,12	0,09	56	1750	1,7	4,4	0,05	3,4	3,2
0,16	0,12	B48	1740	1,95	4,7	0,07	3,6	2,9
0,16	0,12	56	1740	1,95	4,7	0,07	3,6	2,9
0,25	0,18	B48	1730	2,5	4,5	0,10	3	2,4
0,25	0,18	56	1730	2,5	4,5	0,10	3	2,4
0,33	0,25	C48	1740	3,25	4,8	0,14	3,2	2,7
0,33	0,25	C56	1740	3,25	4,8	0,14	3,2	2,7

Para obter a corrente em 110V multiplicar por 2
Os valores apresentados estão sujeitos à alteração sem aviso prévio.

Fonte: Adaptado do catalogo de Fabricante de Motores Elétricos

Aplicando os dado do catalogo de fabricantes de motores (ver figura 27) na equação 28 obtém-se o valor da corrente de partida do motor.

Onde.

I_p-Corrente de Partida=?

I_n-Corrente nominal= 2,5 A

$$\therefore I_p = (4{,}5 \times I_n) \times 2 \Rightarrow I_p = (4{,}5 \times 2{,}5) \times 2 \Rightarrow I_p = 22{,}5A \quad (28)$$

b) Cálculo da corrente do circuito do sistema de aquecimento de ar

O cálculo da corrente resultante do sistema de aquecimento pode ser realizado utilizando a equação 29, a partir do uso das seguintes informações, a potência elétrica de cada um dos componentes (ver a tabela 8). No caso da tensão elétrica de alimentação, foi selecionado 127 V monofásica, por se tratar do padrão mais comum no estado do Pará.

Onde

P_{SisAar}: Sistema de aquecimento de ar

$P_{resistor}$: Potência do resistor de aquecimento

P_{Vent} : Potência dos ventiladores

$$\therefore\ I_{SisAr} = \frac{(P_{resistor} + P_{ventila.})}{VL} \Rightarrow I_{SisSec} = \frac{(1.500 + 30)}{127} \Rightarrow I_{SisSec} = \frac{(1.530)}{127} \qquad (29)$$
$$\therefore\ I_{SisAr} = 12A$$

Tabela-8 Potências e tensão do sistema de aquecimento de ar

Componente	Potência	Tensão Elétrica
Resistor de aquecimento térmico	1500 W	127 V
Ventilador metálico	3 x 10W	127 V

Fonte: Autor-2023

c) Cálculo da corrente elétrica do secador rotativo

A corrente elétrica do secador rotativo é a soma das correntes elétricas de todos os componentes que fazem parte do seu circuito, sendo determinada pela equação 30.

$$\therefore\ I_{Sec} = I_{Part.Mot.} + I_{SisAr} \Rightarrow I_{Secador} = 22{,}5 + 12 \qquad (30)$$
$$\therefore\ I_{Sec} = 32{,}5A$$

c) Cálculo da corrente elétrica do disjuntor

O cálculo da corrente elétrica do disjuntor de proteção do circuito do secador é realizado considerando uma margem de segurança, que é acimado o valor da corrente do secador, isto devido ao afundamento de tensão ou queda de tensão momentânea que podem acontecer em circuitos elétricos no ponto de

fornecimento de energia, geralmente o valor da margem de segurança é igual a 15%(quinze porcento) sobre o valor da corrente do equipamento que deverá ser instalado. Aplicando a equação 31, tem-se.

$$\begin{aligned} &\therefore\ I_{Disjuntor} = I_{Sec} + (I_{Sec} \times 15\%) \Rightarrow I_{Disjuntor} = 32{,}5 + (32{,}5 \times 15)/100 \\ &\therefore\ I_{Disjuntor} = 37{,}375A \end{aligned} \tag{31}$$

d) Seleção do disjuntor de proteção

A seleção do disjuntor de proteção deve ser feita tomando como base os valor da corrente do circuito do secador, o nível de tensão elétrica e as orientações da NBR 5410. Desta forma o disjuntor que foi selecionado através do catálogo de fabricantes, é modelo monofásico do tipo DIM de 40A, podendo ser observado nas figura 28-a e 28-b. É importante salientar que a amperagem do disjuntor selecionado não pode ser inferior ao valor do calculado.

Figura 17 a - Disjuntor DIMM monofásico-vista frontal

Figura 17 b - Disjuntor DIMM monofásico-vista lateral

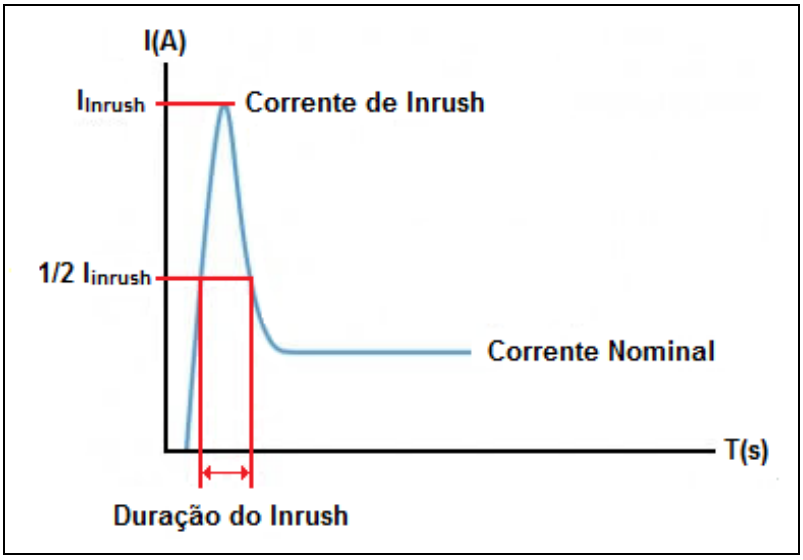
Fonte: Adaptado no catálogo do fabricante

1.1.20 Determinação da corrente inrush

A corrente inrush (ver o gráfico da figura 29), é a corrente instantânea máxima consumida por um dispositivo elétrico no momento inicial doseu aciomento. OsMotores elétricos de corrente alternada podem consumir várias vezes sua corrente normal de carga total quando energizados pela primeira vez, por alguns ciclos por segundos na forma de onda de entrada. Os conversores de potência também costumam ter correntes de inrush muito maiores do que suas correntes de

estado estacionário, devido à corrente de carga da capacitância de entrada. A seleção de dispositivos de proteção contra sobrecorrente, como fusíveis e disjuntores, torna-se mais complicada quando devido a tolerancia das altas correntes de Inrush. Por isto, a proteção de sobrecorrente deve reagir rapidamente a falhas de sobrecarga ou curto-circuito, mas não deve interromper o circuito quando há o fluxo da corrente de Inrush.

Figura 29-Gráfico da corrente de Inrush versus corrente nominal.



Fonte: Adaptado do manual do fabricante

A melhor forma de obter a corrente Inrush em motores elétricos, é medindo em loco, utilizando para isto um multímetro especifico (ver figura 30 a e figura 30 b), que possui este recurso.

Figura 30 a-Multímetro digital

Fonte: Adaptado do catalogo do fabricante

Figura 30 b - Display do multímetro digital

Fonte: Adaptado do catalogo do fabricante

1.1.21 Circuito de comando do secador rotativo

Ao se tratar do acionamento do circuito elétrico do protótipo, optou-se por um comando de chaveamento temporizado das três cargas que fazem parte deste circuito, neste caso, o motor elétrico, o sistema de ventilação e o resistor ôhmico, eles serão acionados através de uma sequência com um intervalo de tempo de 3 segundos entre eles, Isto servirá para que, a entrada das cargas no circuito alimentador sejam o mais suave possível, a fim de evitar sobrecargas.

1) Dispositivos do circuito de comando do secador rotativo

Os dispositivos e irão fazer parte do circuito de comando do protótipo, são mostrados na tabela 9, são eles 2(duas) botoeiras,3 três relés temporizadores e 3 contatores.

Tabela-9 Dispositivos que fazem parte do circuito de comando do protótipo

Dispositivo	**Quantidade**
Relés temporizadores	3
Contatores	3
Botoeiras	3

Fonte: Autor (2023)

2) Funcionamento do circuito de comando do secador rotativo

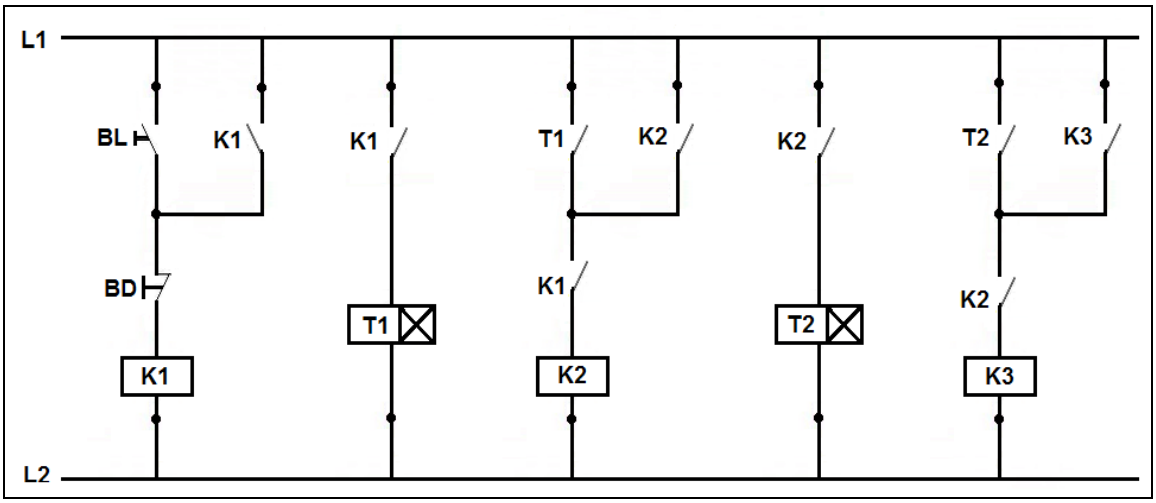
O funcionamento do circuito de comando ocorrerá da seguinte forma: a botoeira BL no estado de contato normalmente aberto, quando for pressionada acionará o primeiro relé temporizador T1, levando 3 segundos para ativar o contato K1, entrando em funcionamento o primeiro componente do circuito (motor elétrico de Indução monofásico), este mesmo sinal de ativação K1 atua no relé temporizador T2, acionando o K2 após o tempo T2 igual a 3 segundos, faz entrar em funcionamento o segundo componente (sistema de ventilação, os três ventiladores metálicos), após isso ele envia um sinal de comando de K2 para o terceiro relé T3, onde K3 é acionado após de 3 segundos, executando o comando de acionamento do terceiro componente (resistor ôhmico ou resistência aletada de 1500 W).

Após esta sequência finalizada o secador rotativo estará em plena cargas, podendo ser desligado pela botoeira BD, que se entra com seus contatos em estado inicial fechado.

3) Diagrama de comando do circuito elétrico do secador rotativo

Na figura 31 é demonstra o diagrama de comando do circuito elétrico do Secador Rotativo de Caroços.

Figura 31-Diagrama do circuito de comando do secador rotativo



Fonte: Autor 2023

4) Legendas dos dispositivos do circuito de comando

A simbologia ou legenda dos dispositivos que fazem parte do circuito de comando do circuito elétrico do secador é padronizada através das normas NBR, DIN e IEC é demonstrada na tabela 10.

Tabela 10-Legenda do circuito de comandos elétricos do protótipo.

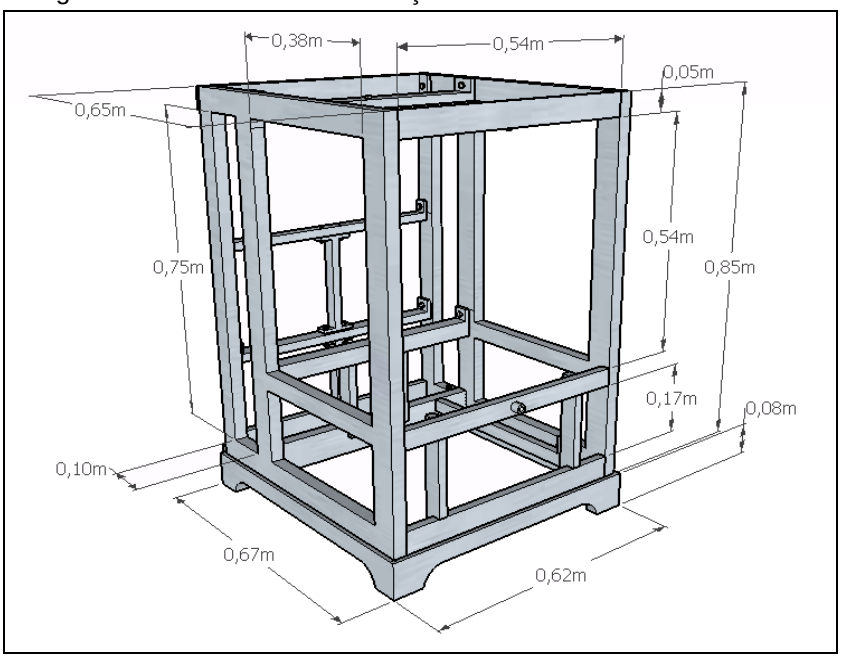
Símbolo	Descrição	Símbolo	Descrição
	Botoeira NA com retorno por mola-BL		Botoeira NF com retorno por mola-BD
	Acionamento eletromagnético, ex: bobina do contator		Contato normalmente aberto (NA)
	Acionamento temporizado na ligação.		

Fonte: Adaptado da Norma NBR 5444

1.1.22 Estrutura de sustentação do rotativo comercial modelo 3d

A estrutura de sustentação do secador rotativo comercial (ver figura 32), é a parte do secador rotativo feita de perfis de metal resistente, que é capaz comportar e sustentar todos os componentes mecânicos e alguns elétricos.

Figura 32-Estrutura de sustentação do secador rotativo comercial

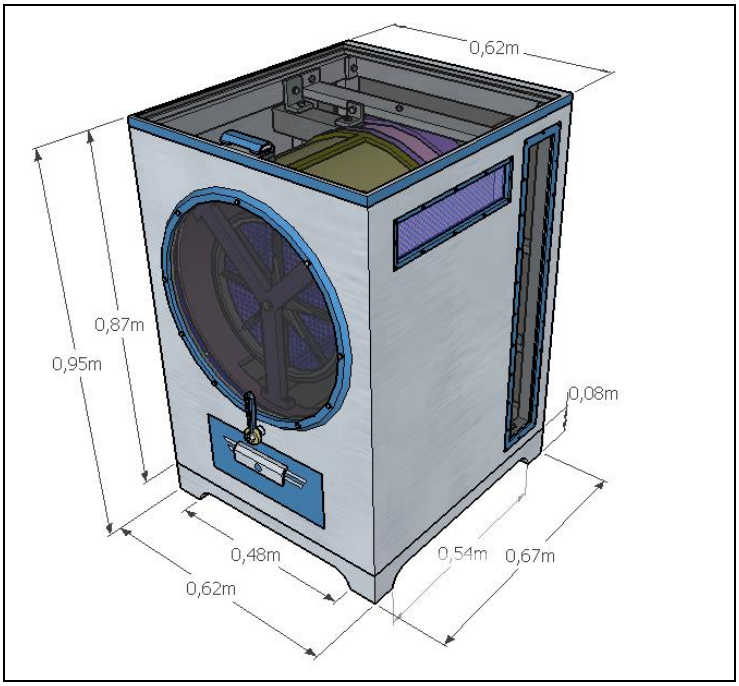


Fonte: Autor (2022)

1.1.23 Secador rotativo comercial modelo 3d

O modelo 3d do secador rotativo comercial (ver figura 33) é a representação gráfica do modelo padrão deste Equipamento, obedecendo as medidas reais e designer que ele deve possuir para a sua fabricação.

Figura 33-Secador rotativo comercial modelo 3d.



Fonte: Autor (2022)

1.2 Projeto do sistema fotovoltaico do secador rotativo

O Projeto do sistema fotovoltaico ou geração PV(fotovoltaica), é a segunda partedo projeto do sistema de secagem de caroços, trata-se da elaboração e dimensionadmento do sistema de geração PV e todos os seus componentes, buscando uma melhor viabilidade técnica, onde é avaliados os seguintes critérios:a irradiação solar da região, o local, a edificação onde o sistema serão instalados, a demanda de consumo de energia elétrica no processoe uma relação equilibrada entre a capacidade de geração de energia elétrica dos módulos e a otmização armazenamento de energia no banco de baterias.

1.2.1 Dimensionamento do banco de baterias

Para o dimensionamento do banco de baterias deste projeto, foi levado em consideração o uso de tecnologias de baixo custo, optando por baterias estacionárias de chumbo, que são bastante utilizadas comercialmente e atendem energeticamente de forma satisfatória vários sistemas. É importante destacar, que apesar de existirem baterias com tecnologias voltadas para o mercado de geração fotovoltaica, elas apresentam uma grande desvantagem em relação as baterias de chumbo, que é seu custo de aquisição bem elevado, fato que geraria um maior custo para o projeto final.

1ª Etapa- Cálculo da energia elétrica consumida(W.h): Nesta etapa do projeto, é determinada quantidade de energia elétrica consumida pelo secador de grãos ao longo do processo de secagem. Este cálculo é elaborado de acordo com a potência e o tempo de acionamento dos componentes que fazem parte do circuito elétrico do secador do rotativo. Na tabela 11, são especificadas os valores dos tempos de cada um dos componentes.

Tabela 11-Potência e demanda dos componentes elétricos do secador de grãos

Componente	Potência	Tempo
Potência do Motor	181,07 W	2,5 hora
Potência do resistor ôhmico	1500 W	2,5 hora
Potência do sistema de ventilação	30 W	2,5 hora

Fonte: Autor (2022)

O cálculo do consumo de energia elétrica feita pelo secador de grãos pode ser efetuado utilizando equação 32.

$$E_{C.S} = (P_R \times T_R) + (P_{Motor} \times T_{Motor}) + (P_{Vent.} \times T_{Vent.}) \quad (32)$$

Onde:

E_S: Energia elétrica consumida pelo secador de grãos rotativos;

P_R: Potência elétrica do resistor de aquecimento;

T_R: Tempo de acionamento do resistor de aquecimento;

P_M: Potência elétrica do motor;

T_M: Tempo de acionamento elétrica do motor;

P_{Vent}: Potência elétrica do sistema de ventilação;

T_{Vent}: Tempo de acionamento do sistema de ventilação;

Aplicando os dados da tabela 8 na equação 33, tem-se o expresso pela equação 07:

$$\begin{aligned} \therefore E_S &= (P_R \times T_R) + (P_{Motor} \times T_{Motor}) + (P_{Vent.} \times T_{Vent.}) \\ \therefore E_S &= 1500 \times 2{,}5 + 181{,}07 \times 2{,}5 + 30 \times 2{,}5 \\ \therefore E_S &= 4277{,}675\ W.h \end{aligned} \quad (33)$$

4ª Etapa - Calcular o Fator de correção dos rendimentos: É o cálculo da relação da potência de saída do Inversor e potência de entrada, logo, ele expressa o quão eficiente é o inversor, pode-se afirmar que, quanto maior o rendimento maior também será a eficiência e assim tem-se menores perdas de energia para o sistema interno. Vale destacar que o Inversor apresenta os valores dos rendimentos em porcentagem. Geralmente o Rendimento da Bateria fica em torno de 90%, já o Inversor também um rendimento 90%, logo no sistema o que possui um banco de baterias e inversor, o fator de correção pode ser calculado pela equação 34.

$$\begin{aligned} FC(\%) &= n\%(Bateria) \times n\%(inversor) \\ FC(\%) &= 0{,}9 \times 0{,}9 = 0{,}81 \end{aligned} \quad (34)$$

5ª Etapa - Consumo Corrigido: É o consumo de energia elétrica ajustado pelo fator de correção de rendimento, é obtido aplicando o resultado da 34, na equação 35, obtendo o seguinte:

$$E_{C.S.} = \frac{E_S}{FC} \Rightarrow E_{C.S.} = \frac{4{,}277{,}675}{0{,}81} \Rightarrow E_{C.S.} = 5.281{,}080\,Wh/dia \qquad (35)$$

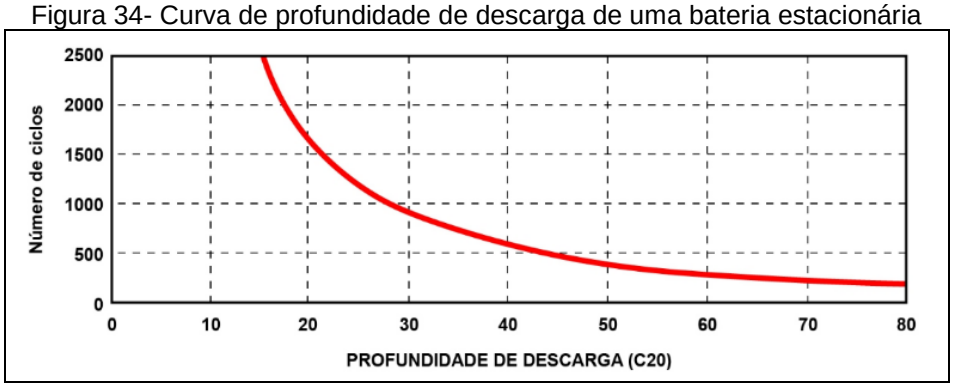
6ª Etapa - Autonomia do sistema: A autonomia é o tempo em que o sistema ficará funcionando utilizando a carga do banco de baterias. Desta forma, quanto maior a autonomia, conseqüentemente será maior o banco de baterias. A autonomia pode ser em horas ou em dias. No projeto em particular foi estabelecida a autonomia de 1(um) dia de autonomia (ver a equação 36).

$$\begin{aligned} &\therefore E.Aut.(\ Wh/dia) = E_{C.S.} \times T\ (\ dias) \\ &\therefore E.Aut.(\ Wh/dia) = 5.281{,}080 \times 1 \\ &\therefore E.Aut.(\ Wh/dia) = \ 5.281{,}080\,Wh/dia \end{aligned} \qquad (36)$$

7ª Etapa - Dimensionando o banco de baterias

a) Energia armazenada no banco de baterias: Para determinar a capacidade de armazenamento de armazenamento do banco de baterias, deve-se levar em consideração a profundidades de descarga da bateria. É importante saber que, quanto maior for a profundidade de descarga de uma bateria, menor será a vida útil, (ver figura 34), pois diminuído seu tempo de ciclo de carregamento, maior será o seu desgaste. Por isto, os fabricantes de baterias estacionárias, orientam para uma profundidade de descarga de no máximo 30%(trinta porcento) da sua carga total.

Figura 34- Curva de profundidade de descarga de uma bateria estacionária



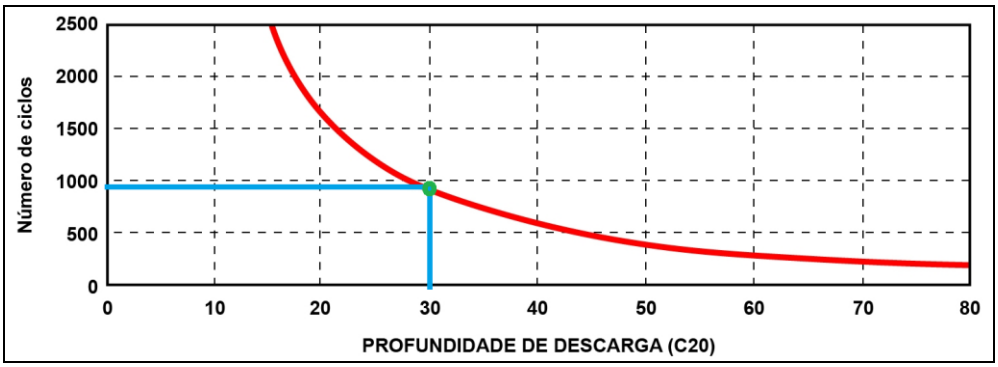
Fonte: Adaptado do manual das baterias estacionárias

Aplicando o resultado da equação 36 na equação 37, tem-se:

$$\therefore E.A.(\ B.Bat.) = \frac{E.Aut.}{profun.\ de\ descar\ (\%)}$$
$$\therefore E.A.(\ B.Bat.) = \frac{5.281{,}080}{0{,}3} = E.A.(\ Wh/dia) = 17.603{,}6\,Wh/dia \qquad (37)$$

Pela análise da curva de profundidade de descarga e o número de ciclos, ou seja, quantos carregamentos podem ser feitos, é possível ter uma estimativa do tempo de vida útil de uma baterias (ver analise na figura 35)

Figura 35- Análise da curva de profundidade de descarga



Fonte: Adaptado do manual de baterias estacionárias

Fazendo a correlação profundidade de descarga, neste caso, o valor de 30%, com o eixo do número de ciclos, obtêm-se o valor de aproximadamente 950 ciclos, ou seja, 950 dias. Aplicando estas informações na equação 38, chega-se o seguinte resultado.

$$\therefore T\ (\ anos) = \frac{N_C}{365} \Rightarrow T\ (\ anos) = \frac{950}{365} \Rightarrow T\ (\ anos) = \ 2{,}6\,anos \qquad (38)$$

b) Capacidade de carga do banco de baterias: Determinar a capacidade de carga do banco de baterias, significa basicamente dimensionar o armazenamento de carga do banco de baterias, sendo crucial para que o projeto fotovoltaico tenha uma boa autonomia (tempo de funcionamento sem geração PV), o que poderá garantir o seu funcionamento quando os módulos fotovoltaicos estiverem com pouca geração de energia elétrica ou em manutenção.

Para efetuar o dimensionamento a capacidade do banco de baterias, é importante saber que, a unidade de medição da capacidade de armazenamento de uma bateria comercial, é em Ampere hora (A.h). Outra informação importante, são as tensão elétrica nos terminais do banco de baterias, que podem ser na ordem de 12V ou 24V. Neste projeto optou-se pela tensão de 24v. Aplicando o resultado da equação 38 na equação 39, Tem-se o seguinte:

$$\therefore CBB = \frac{EA(\ B.Bat.)}{V(\ bancoBat.)} \Rightarrow CBB = \frac{17.603{,}60}{24} \Rightarrow CBB = 733{,}483\,A.h \qquad (39)$$

c) Cálculo número de baterias: Para determinar o número de baterias em um determinado banco, deve-se considerar algumas das características técnicas da bateria, que são, basicamente: a capacidade de armazenamento, tempo de descarregamento da bateria e a tensão elétrica. Neste projeto foi selecionada uma bateria estacionária com capacidade de armazenamento de 150 A.h, o tempo de descarregamento de 20 horas e tensão elétrica igual a 12V.

1°Passo) Cálculo do número de baterias em paralelo: Este cálculo é feito da seguinte forma, aplica-se o resultado da equação 39 e os dados do catálogo do fabricante de baterias (ver figura 36) na equação 40.

Figura 36-Características técnicas da descarga de baterias elétricas

Modelos		DF300	DF500	DF700	DF1000	DF2000	DF2500	DF3000	DF4001
Capacidade @25ºC (Ah)	10 h	24	30	41	54	94	130	156	200
	20 h	26	36	45	60	105	150	170	220
	100 h	30	40	50	70	115	165	185	240
Dimensões (mm)	Comprimento	175	175	210	244	330	511	511	525
	Largura	175	175	175	175	172	213	213	275
	Altura	175	175	175	175	240	230	230	250
Peso (Kg)		8,8	9,7	12,5	14,7	27,1	44,6	48,3	60,3

Fonte: Adaptado do catálogo do fabricante

$$\therefore NBP = \frac{CBB}{Cbat} \Rightarrow NBP = \frac{733{,}483}{150} \Rightarrow NBP \cong 4{,}88\,baterias \qquad (40)$$
$$\therefore Arrendodando\,o\,valor\,anterior,\ tem-se: NBP = 5\,baterias$$

2º Passo) Cálculo do número de baterias em série: este cálculo é determinado a equação 41 que relaciona a tensão do banco de baterias com a tensão elétrica de cada unidade que faz parte do banco, procedendo da seguinte forma.

$$\therefore NBS = \frac{VBanc.Bat.}{VBat.} \Rightarrow NBS = \frac{24}{12} \Rightarrow NBS = 2\,baterias \quad (41)$$

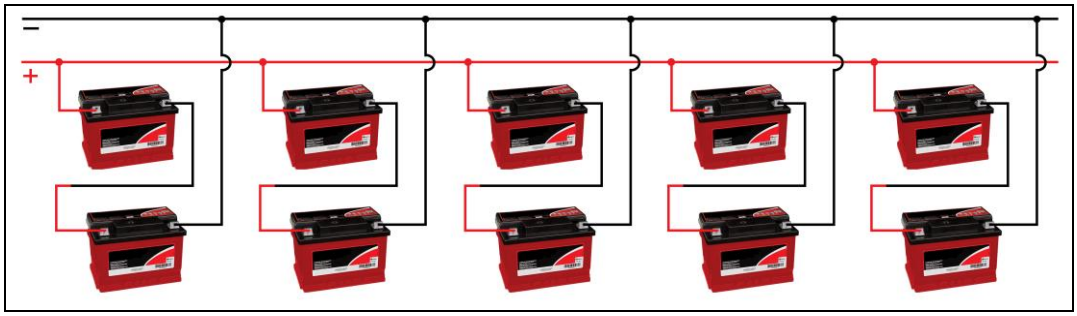
3ª Passo) Cálculo do número total de baterias do Banco: Para determinar a quantidade total do banco de baterias, basta realizar o produto de número de baterias em paralelo com número de baterias em série, de acordo com a equação 42, tem-se.

$$\therefore NTB = NBP \times NBS \Rightarrow NTB = 5 \times 2 \Rightarrow NTB = 10\,Baterias \quad (42)$$

8ª Etapa- Seleção do arranjo do banco de baterias

a) Arranjo do banco das baterias: O arranjo do banco de baterias é elaborado tomando coma base, as características técnicas de cada uma das baterias que sãos selecionadas pelo projetista, e a tensão elétrica deste banco. Como cada bateria possui 12V em seus terminais e o banco de baterias deve possuir 24 Volts, logo a configuração destas duas baterias deve ser 2(duas) em série e dois ramais deve em paralelo, conforme o arranjo é demonstrado na figura 37.

Figura 37- Arranjo do banco de baterias elétricas de 150Ah



Fonte: Autor (2023)

1.2.2 Determinação da quantidade dos módulos fotovoltaicos

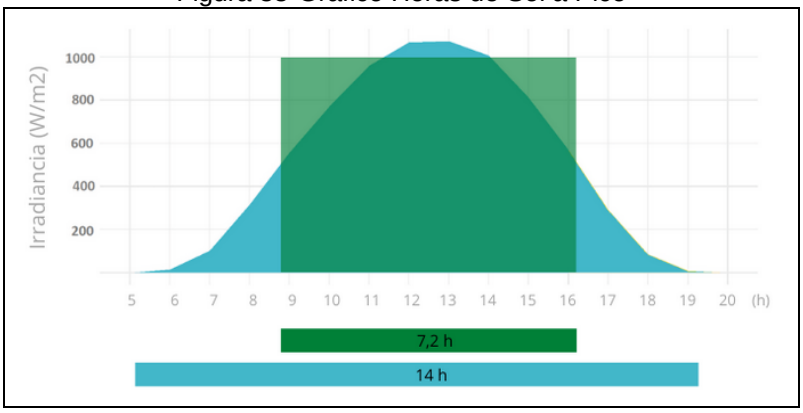
Para quantificar o número de módulo deste sistema fotovoltaico, deve-se determinar e entender os critérios que envolve está tecnologia, destacando-se os seguintes, o HSP (horas de sol a pico), a potência elétrica total gerada pelos módulos, a tecnologia dos módulo se o rendimento global. Com relação ao HSP,

será determinado a seguir utilizando o programa SunData, que é disponibilizado de forma gratuita pelo site da CRESESB:

1º) Determinar o valor do HSP (horas de sol a pico)

O conceito de horas de sol a pico (HSP), que se baseia pelo conceito de irradiação solar, que é a irradiaçãodo sol recebida por uma determinada superfície, levando-se em consideração aspectos, como a localização específica, ângulo de inclinação e orientação, está irradiação pode ser representa pelo gráfico da figura 38, onde a parte demarcada representa a geração fotovoltaica útil ao longo do período de radiação solar.

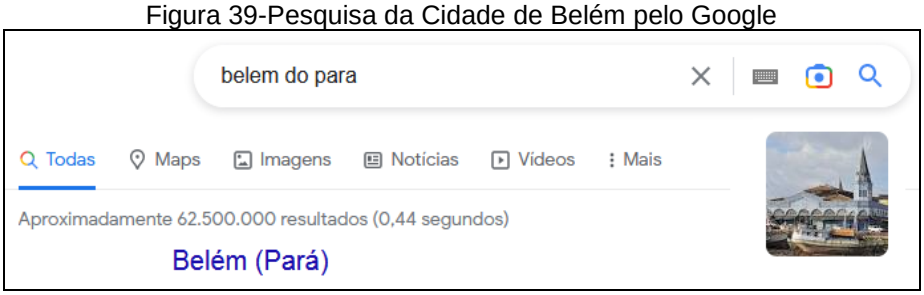
Figura 38-Gráfico Horas de Sol a Pico



Fonte: Adaptado de helioesfera.com

a) Pesquisa das coordenadas geográficas da região. Na barra de pesquisa do Google deve ser feita a busca dos dados das coordenadas geográficas da cidade, pois a irradiação solar pode variar de uma região para outra. Primeiro, digita-se o nome da cidade de Belém na barra de consulta do Google (ver figura 39).

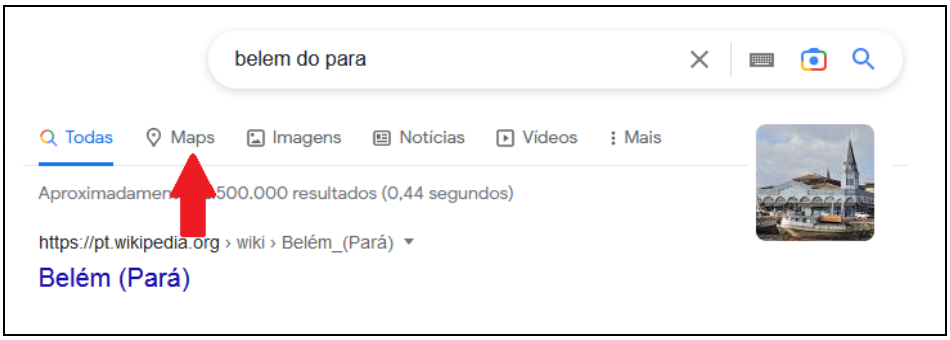
Figura 39-Pesquisa da Cidade de Belém pelo Google



Fonte: Adaptado do Google

Após ter sido realizada a consulta da cidade de Belém, deve-se clicar na opção Maps (ver figura 40).

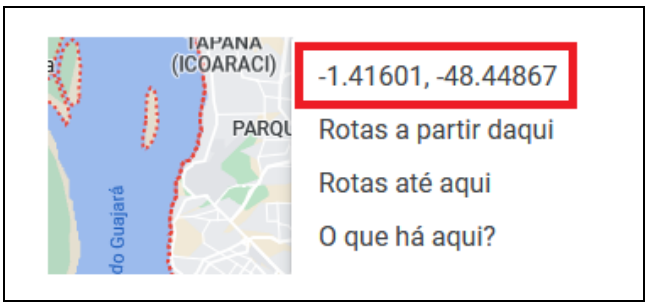
Figura 40-Pesquisa da cidade de Belém na barra de pesquisa do Google



Fonte: Adaptado de Google

Depois de ter selecionado a opção Maps, será mostrado o mapa da cidade de Belém, em seguida com o cursor sobre este mapa, clica-se no botão direito do mouse, desta forma aparecerá uma caixa com diversas informações, incluindo as coordenadas geográficas, a latitude e longitude desejadas (ver figura 41).

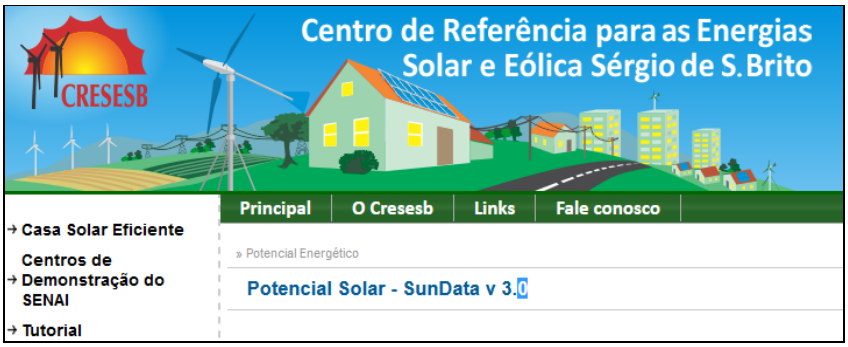
Figura 41-Coordenadas geográficas cidade de Belém no Google Maps



Fonte: Adaptado de Google Maps

b) Determinação do valor do HSP pelo SunData (ver figura 42). Pelo navegador de internet acessa-se o site, Onde pode-se ser feito pelo endereço eletrônico: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&

Figura 42 - Tela inicial do Site da CRESEB SunData



Fonte: Adaptado do site da CRESESB

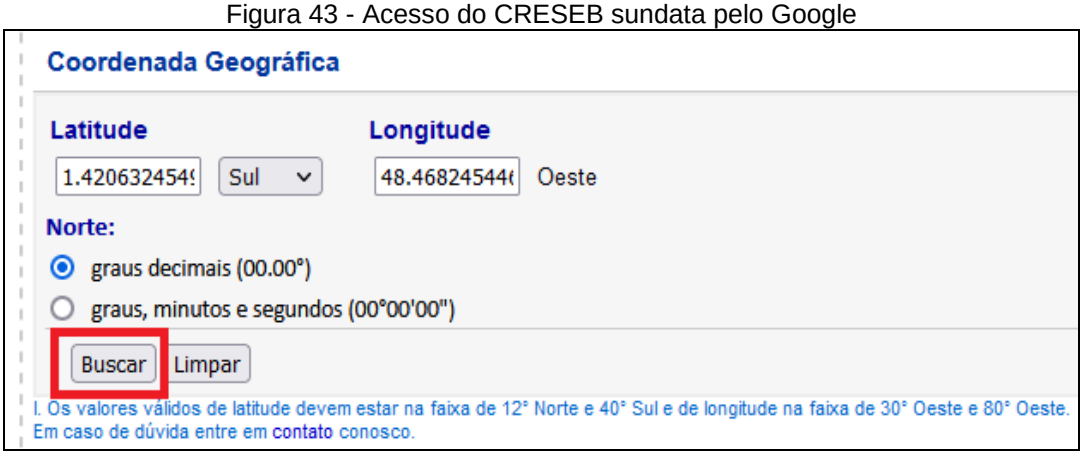
Observação:

O programa SunData destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma ferramenta do CRESESB que oferecer de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

A primeira versão do programa foi elabora em 1995 com a finalidade de auxiliar o dimensionamento dos sistemas nas diversas fases do PRODEEM e foi adaptado, no ano seguinte, para consulta via *web*.

c) Coordenadas geográficas: Digita-se o valor das coordenadas geográficas da região na caixa de busca (ver figura 43), é importante saber que deve-se escolhes o tipo de coordenada, geralmente são utilizadas coordenadas em graus decimais.

Figura 43 - Acesso do CRESEB sundata pelo Google



Fonte: Adaptado do CRESEB Sundata

d) Utilizando resultados de irradiação solar média, Após a busca, são mostrados os resultados de irradiação solar média de 3(três)regiões (Ver figura 44a e 44b), porém seleciona-se apenas a cidade de Belém.

Figura 44a-Resultado da busca no CRESEB sundata

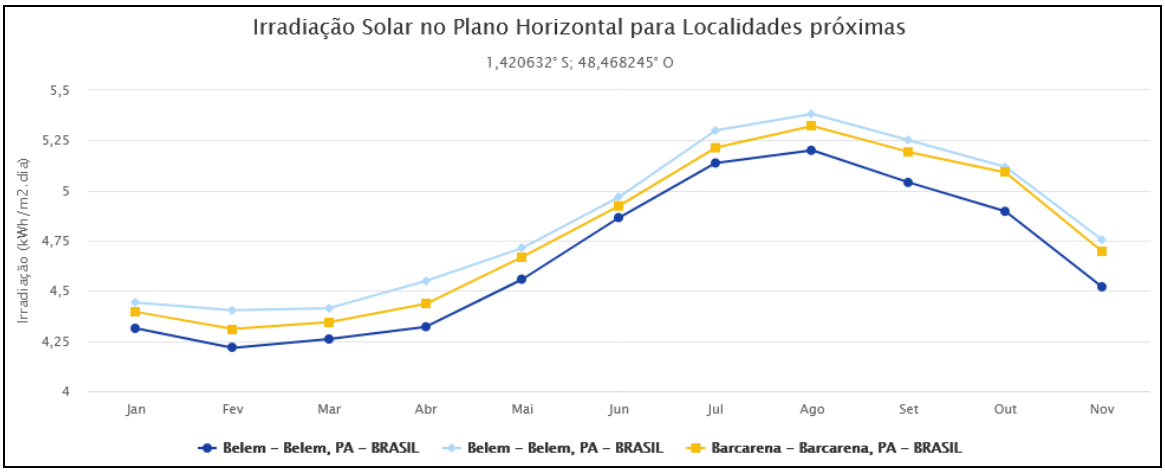
Localidades próximas

Latitude: 1,420632° S
Longitude: 48,468245° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Belem	Belem	PA	BRASIL	1,401° S	48,449° O	3,1	4,31	4,22	4,26	4,32	4,56	4,87	4,94	5,14	5,20	5,04	4,90	4,52	4,69	,98
☑	Belem	Belem	PA	BRASIL	1,501° S	48,449° O	9,2	4,44	4,40	4,41	4,55	4,71	4,97	5,08	5,30	5,38	5,25	5,12	4,75	4,86	,98
☑	Barcarena	Barcarena	PA	BRASIL	1,401° S	48,549° O	9,2	4,39	4,31	4,34	4,43	4,67	4,92	5,01	5,21	5,32	5,19	5,09	4,70	4,80	1,01

Fonte: Adaptado do CRESEB Sundata

Figura 44b-Resultado da busca no CRESEB sundata



Fonte: Adaptado do CRESEB Sundata

Observando os valores da planilha, faz-se a escolha pelo plano horizontal, e depois seleciona-se o valor da irradiação média anual, que neste caso é igual a 4,69 h/dia (ver figura 45a e 45b).

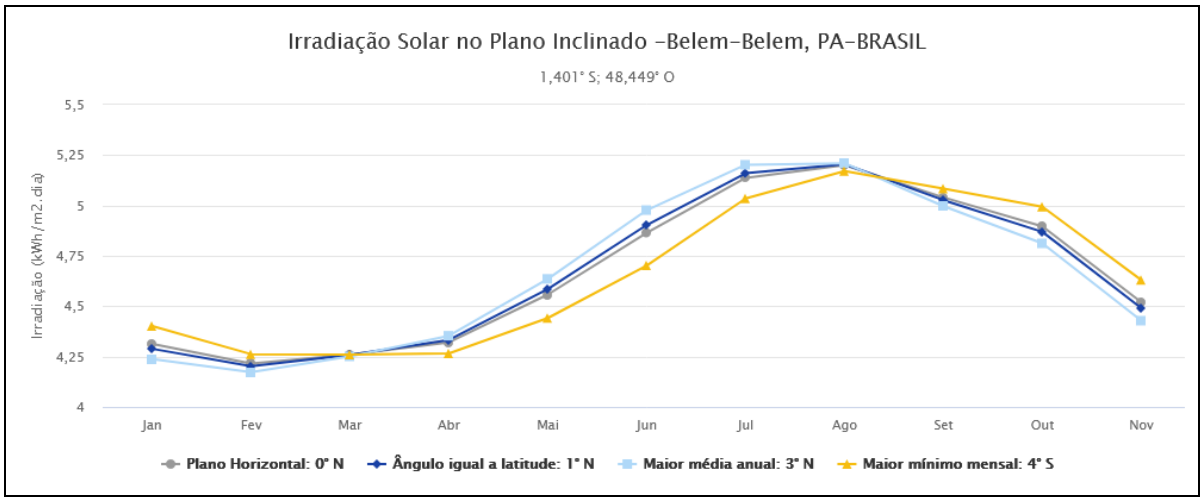
Figura 45a-Seleção da Cidade de Belém e escolha da Irradiação horizontal anual

Estação: Belem
Municipio: Belem , PA - BRASIL
Latitude: 1,401° S
Longitude: 48,449° O
Distância do ponto de ref. (1,420632° S; 48,468245° O) :3,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	4,31	4,22	4,26	4,32	4,56	4,87	4,94	5,14	5,20	5,04	4,90	4,52	4,69	,98
☑	Ângulo igual a latitude	1° N	4,29	4,20	4,26	4,33	4,58	4,90	4,97	5,16	5,20	5,03	4,87	4,49	4,69	1,00
☑	Maior média anual	3° N	4,24	4,17	4,25	4,35	4,64	4,98	5,04	5,20	5,21	5,00	4,81	4,43	4,69	1,04
☑	Maior mínimo mensal	4° S	4,40	4,26	4,26	4,27	4,44	4,70	4,78	5,03	5,17	5,08	4,99	4,63	4,67	,91

Fonte: Adaptado do CESEB Sundata

Figura 45b-Seleção da Cidade de Belém e escolha da irradiação horizontal anual



Fonte: Adaptado do CESEB Sundata

2º) Rendimento global: É o tipo de rendimento geral de um sistema fotovoltaico que corresponde aos diversos tipos de perdas de energia que estão diretamente relacionado a diversos fatores técnicos. Na tabela 12 são demostrados estas perdas e as suas respectivas magnitudes em porcentagem.

Tabela 12 Fatores de perda de energia no sistema fotovoltaico

Tipo de perdas	Taxa de variação da perda	Perda estipulada
Perda por temperatura	[7,0% a 18,0%]	11,5%
Incompatibilidade elétrica	[1,0% a 2,0%]	1,5%
Acumulo de sujeira	[1,0% a 8,0%]	2,0%
Cabeamento CC	[0,5% a 1,0%]	1,0%
Cabeamento CA	[0,5% a 1,0%]	1,1%
Inversor	[2,5% a 5,0%]	3,0%

Fonte: Adaptado do manual de engenharia

O cálculo do rendimento global pode ser feito através da equação 43, procedendo da seguinte forma.

Onde:

η: Rendimento global.

PR%: Perda total, é a soma de todos os fatores de perdas.

$$\begin{aligned} &\therefore \eta = [100\% - (\ PR\%)]/100 \\ &\therefore \eta = [100\% - (11{,}5 + 1{,}5 + 2 + 1 + 1{,}1 + 3)]/100 \Rightarrow \eta = 80/100 \\ &\therefore \eta = 0{,}88 \end{aligned} \tag{43}$$

3º) Escolha da tecnologia dos módulos: Na escolha do modulo fotovoltaico (ver a figura 46-a) deve-se seguir os principais critérios tecnológicos, pois eles são determinantes para a otimização do projeto. O que pode resultar de forma significativa na minimização dos custos. Ainda sobre os principais critérios, eles podem ser observados no datasheet do módulo ou catálogo do fabricante (ver a figura 46-b).

Figura 46 a-Módulo de silício policristalino

Fonte: Adaptado do catálogo do fabricante

Figura 46 b-Módulo fotovoltaico de 330 W

Potência	330 Wp
Tensão de Máxima Potência	37,26 V
Corrente de Máxima Potência	8,86 A
Eficiência	16,97 %
Nº de Células	72
Material	Silício Policristalino

Fonte: Adaptado do catálogo do fabricante

4º) Determinação da energia produzida por módulo: Através dos dados do catálogo do módulo selecionado (ver figura 46-b) aplicando-se na equação 45 pode-se determinar o valor da energia produzida em um módulo.

Onde:

E_{md}: Energia produzida por um módulo em kW.h=?

HSP: Irradiação solar da Região (horas de sol a pico), média anual é 4,69 Wh/m².dia

A_M: Área do Modulo - C (Comprimento) X L (Largura)= 1,960 x0,992=1,944m²

$n\%_{(m)}$:Rendimento do módulo= 16,97%

$n\%_{(G)}$:Rendimento do global= 80%

Como o controlador escolhido é do tipo MPPT a equação 45 ficará descrita da seguinte forma.

$$\therefore Emd\,(\ kW.h) = HSP \times A_M \times n\%_m \times n\%_G$$
$$\therefore Emd\,(\ kW.h) = 4{,}69 \times (\ 1{,}944 \times 0{,}992) \times (\ 16{,}97/100) \times 0{,}88 \qquad (45)$$
$$\therefore Emd\,(\ kW.h) = 1{,}259 kW.h/\,dia\ ou\ Emd\,(\ W.h) = 1.350{,}65 W.h/dia$$

Observação: Caso a tecnologia do controlador de carga fosse o PWM, e não o tipo MPPT, a equação 46 seria a utilizada, indicando uma perda de 30%(trinta porcento) no processo de conversão.

$$\therefore Emd(\ kW.h) = HSP \times A_M \times n\%_m \times n\%_G \times 0{,}7 \qquad (46)$$

5º) O cálculo do número de módulos do arranjo fotovoltaico: Depende de três variáveis: a primeira é o potência total dos módulos, a segunda variável é potência individual por módulo e a terceira variável é tensão de entrada do regulador de carga. Neste projeto, foi selecionado um módulo com potência de 330W. Aplicando os dados na equação 47 tem-se:

Onde:

E_{CS}: Energia corrigida do secador de grãos rotativo=5.281,08 W.h/dia

E_{md}: Energia produzida por um módulo em kW.h=1.350,65W.h/dia

$N_{módulos}$: Número de módulos do arranjo

$$\therefore N_{módulos} = \frac{E_{CS}}{E_{md}} \Rightarrow N_{módulos} = \frac{5.281{,}080}{1.350{,}65} \Rightarrow N_{módulos} = 3{,}910 \qquad (47)$$
$$\therefore arredonda\quad ndo\ \ tem-se,\ N_{módulos} \cong 4\ módulos$$

Após ter sido determinado o número de módulos, deve-se equacionar a distribuição dos módulos em um arranjo que atinja o valor de tensão de entrada mínimo requerida pelo regulador de carga. Obedecendo as seguintes características:

Em um primeiro caso, se o controlador de carga tiver a tecnologia MPPT (maximum power point tracking ou rastreamento do ponto de máxima potência), a tensão elétrica do arranjo fotovoltaico deve ser maior do que 25% (vinte e cinco porcento) da tensão elétrica do arranjo de baterias.

Já no segundo caso se o controlador de carga for do tipo PWM((Pulse With Modulation ou Modulação por Largura de Pulso) sem a tecnologia MPPT, a tensão elétrica do arranjo fotovoltaico, deve ser 50%(cincoenta porcento) maior do que a tensão elétrica do banco de baterias.

Para efeito de observar melhor rendimento do sistema, foi aplicado o uso do regulador do primeiro caso. No exemplo seguinte tem-se:

Onde:

V_{BB}: Tensão do banco de baterias= 24 Vcc

V_{MP}: Tensão por módulo=18 Vcc

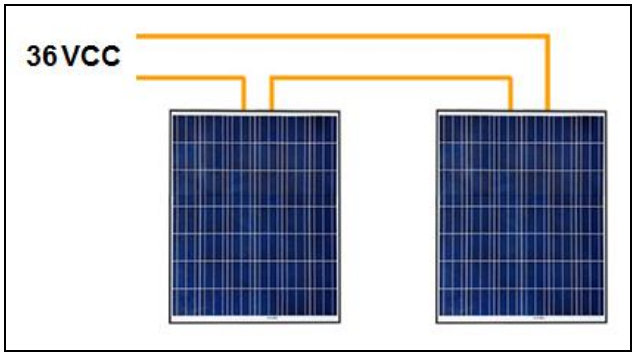
F_{CVA}%: Fator de correção da tensão elétrica do arranjo=25%

V_{ER}: Determinando de tensão de entrada do regulador, pela equação 48

$$\therefore V_{ER} = V_{BB} \times F_{CVA} \Rightarrow V_{ER} = 24 \times 1{,}25 \Rightarrow V_{ER} = 30\ Vcc \qquad (48)$$

Neste exemplo cada um dos módulo possui uma tensão máxima igual a 18 Volts, sua conexão em paralelo não irão atingir o valor mínimo da tensão de entrada do regulador de carga, a solução é, colocar dois módulos em série, desta forma cada ramal atingirá uma tensão de 36 volts que é maior do que a tensão mínima do banco de baterias suprindo o valor de tensão de entrada do controlador de carga (ver figura 47)

Figura 47-Módulos fotovoltaicos em Série.

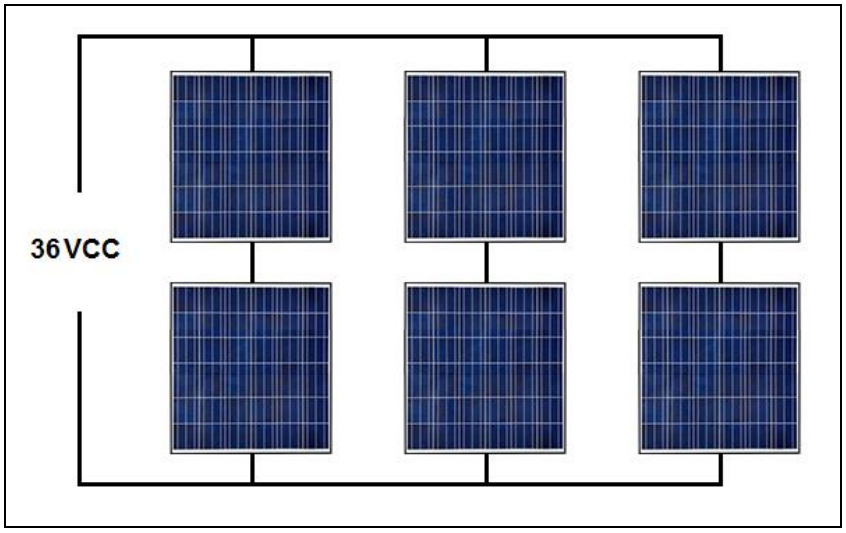


Fonte: Autor 2023

Neste exemplo, tem-se ainda a seguinte característica do arranjo, há um total de 4,43 módulos, não bastando arredondar pra cinco unidades, logo, o correto seria, montar um sistema com 6 unidades, para que se mantenha o nível de tensão

desejada. Neste exemplo a configuração do arranjo ficará da seguinte forma (ver figura 48).

Figura 48-Módulos fotovoltaicos em arranjo série paralelo



Fonte: Autor 2023

Observação:

É importante saber que, para a boa elaboração de um arranjo fotovoltaico, e este possa atingir os valores mínimos de magnitude de tensão elétrica, o projetista deve realizar a obtenção dos dados presentes diretamente no manual de cada um dos módulos, de acordo com a sua tecnologia.

3.2.3 Seleção do inversor

A potência do inversor tem relação direta com o tipo de regulador de carga, neste caso como o regulador de carga é do tipo MPPT, perda de potência é de 25%, logo o inversor deve possuir 25% mais de potência do que a carga máxima do consumidor, como a carga máxima é 4277,675W, logo a potência elétrica do inversor é a soma desta potência mais 25% do seu valor, dando o valor resultante expresso pela equação 49.

$$\begin{aligned}
&\therefore Pc = P_R + P_{Motor} + P_{Vent.} \Rightarrow Pc = 1500 + 181,07 + 30 \\
&\therefore Pc = 1711W \\
&\therefore P_{inver} = Pc + 25\%Pc \Rightarrow P_{inver} = 1711 + 1711 \times (25/100) \\
&\therefore P_{inver} = 2138,75W
\end{aligned} \tag{49}$$

3.3 Custo do projeto do protótipo e do sistema de geração PV

As informações dos custos do projeto do secador rotativo comercial, estão presentes nas listagens que foram especificadas nas tabelas e sãos as seguintes: materiais de estrutura mecânica, funilaria, componentes eletrônicos/elétricos, projeto de geração fotovoltaica, transporte e mão de obra.

3.3.1 Custo dos componentes eletroeletrônicos do secador comercial, listagem1 (figuras 49).

Figura 49 - Listagem 1- custo dos componentes eletroeletrônicos do secador comercial

Planilha 10-Analise de Custo do Projeto do Secador Rotativo Comercial e Sistema PV (23/07/2023)		
Listagem 1- Custo dos Componentes Elétricos do Secador Rotativo Comercial		
Especificação	**Valor**	
Motor monofásico de tipo gaiola, ¼CV ou 190 W, de 1730 RPM-Loja: Melhor Industria	R$	672,43
Cabos elétricos de 2,5 mm² (R$ 2,5 por metro--12 metros)--Loja: Jurunense	R$	30,00
Cabos elétricos de 4,0 mm² (R$ 3,75 por metro-8 metros)--Jurunense	R$	30,00
Cabo flexivel 6mm²- Verde-Aterramento (o metro R$ 9,86--4mts)--Loja: mercado livre	R$	39,44
Fita Isolante Slim, 18mm X 20m, Preta (Uni. R$ 7,00)--Loja: Amazon	R$	7,00
Fita Isolante Auto Fusão 10m Preta (Uni. R$ 49,90)-Mercado Livre	R$	49,90
Espaguete de Alta Temperatura, cabo 6mm² (uni. R$ 20,0--6 uni)--Loja:mercado livre	R$	120,00
Resistência elétrica alteada de 1500 W/120V (uni. R$ 165,00)--Loja: Mercado Livre	R$	165,00
Potenciômetro Linear 4,7K (uni. R$ 194)--Loja: Mercado Livre	R$	194,00
Disjuntor bifásico 25 Amperes Curva C (uni. 54,90)--Loja: Mercado livre	R$	54,90
Interruptor Diferencial Idr 4p 63a 30ma (uni. 144,90)--Loja: Amazon	R$	144,90
DPS de 175V e 20KA (uni. R$ 41,90--3 uni.)--Loja: Amazon	R$	125,70
Chave Rotativa Transferência Manual 63A-3P (uni. R$ 196,85)--Loja: Mercado livre	R$	196,85
Contator Circuitos Modular 2 Polos 25A, 127V-Relé-(uni. R$79.90--3uni.) Loja: Aamzon	R$	239,70
Temporizador Relé (R$ 99,95 a Unidade) (Mercado Livre)	R$	299,85
Controlador de Temperatura PID/ON-OFF(uni. R$ 198,00)--Loja: automacao.com	R$	198,00
Micro Ventilador Cooler 120x120x38 (110V/220V)--(uni. R$ 107,55--3 uni.) Loja: Magalu	R$	322,50
Potenciômetro Controle de Ventilação (Uni. R$ 8,90)--Loja: eletricaraujo.com.br	R$	8,90
Botoeira de Partida de Motores (PDWM) (Mercado Livre)	R$	291,92
Conector Barra 6mm² com 12 Polos Incolor (uni. R$ 38,00--4 uni.)--Loja: Mercado Livre	R$	152,00
Barramento Terra 10 Terminais Trilho Din (uni. R$ 37,48--6 uni.)--Loja: Amazon	R$	224,38
Trilho de Fixação Montagem Elétrica 35 X 2cm (un. R$ 21,99--6uni.)--Loja: Dimensional	R$	131,94
Caixa de Montagem 50x40x20-Quadro Comando (uni. 296,10)--Loja: Mercado Livre	R$	296,10
Valor Resultante	**R$**	**3.995,41**

Fonte: Autor (2023)

Na Listagem 2 (figuras 50) estão relacionados os materiais e componentes da parte mecânica, funilaria e estrutura metálica.

Figura 50 - Listagem 2-custo com funilaria, mecânica e estrutura metálica.

Listagem 2- Custo da parte mecânica, estrutura e funilaria do Secador Rotativo Comercial		
Especificação	**Valor**	
Correia de borracha em V para polias-(uni. R$ 26,43--2 uni.)--Loja: Amazon	R$	52,86
Tela de Aço Inox 304 (3,00m X 1,00m) (Uni. R$ 692,99)--Loja: Mercado livre	R$	692,99
Polia de maior 30 diametro cm - (Uni. R$ 90--2uni.)--Loja: casa popular	R$	180,00
Polia menor 5cm casa popular- (Uni. R$ 35--2uni.)--Loja: casa popular	R$	70,00
Eixo Retificado Temperado 1"(bitol) de 100cm (Uni.R$ 245)--Loja: mercado livre	R$	245,00
Mancal Com Rolamento Pedestal - 25mm (Uni. R$ 50--5 uni.)--Loja: Mercad Livre	R$	250,00
Metalon Barra de Ferro 30x30X200cm (uni. R$ 170--5 unidades)--Loja: Mercado Livre	R$	850,00
Chapa de Metal 204 (1,2 x 2m) (Uni. R$307,17--3 peças)-loja: loja.arcelormittal.com.br	R$	921,81
Vidro frontal, trazeiro e da Porta Superior --(3 uni. R$ 180)--Loja: fabrica, Guanabara	R$	180,00
Cortador de Vidros Caneta Diamante (Uni. R$ 69,90)--Loja: Mercado Livre	R$	70,00
Borracha de Vedação P/ Alta Temperatura (5m= R$ 160,00)-Mercado Livre (Tadesco)	R$	160,00
Cola Silicone Black Alta Temperatura (tub. de 70g R$ 35,00-4tub)--Loja: Mercado Livre	R$	140,00
Dobradiça Zamac P/ Máquinas Industriais (Uni. R$ 24--3 uni.)-Mercado Livre	R$	72,00
Fecho Engate Rápido Pressão Médio-Aço Inox (Uni. R$ 41,90--3un.)-Mercado Livre	R$	125,70
Caixa de Solda (1 caixa com 259 uni. R$ 149)--Loja: Mercado Livre	R$	149,00
Mão de Obra	R$	2.800,00
Valor Resultante	**R$**	**6.959,36**

Fonte: Autor (2023)

3.3.2 Custo do sistema de geração PV

Todos custo do sistema fotovoltaico, como: materiais, componentes, e mão de obra, são demonstrados listagem 3 parte 1 (ver figura 51).

Figura 51 – Listagem 3 Parte 1- custo da parte de geração PV do secador rotativo comercial

Custo do Sistema de Geração fotovoltaico		
Especificação	**Valor**	
Painel Solar de 330W da marca OSDA(Uni. R$ 659--6 uni.)--Loja: neosolar	R$	2.154,00
Porta Fusível 2 Polos-Solar 1000v Off Grid (Uni. R$ 56.40)--Loja: Mercado Livre	R$	56,40
Disjuntor Dc Cc 20a 1000v -Sistema Off Grid (Uni. 55.80--2 uni)-Loja: Mercado Livre	R$	111,60
Disjuntor Dc Cc 125a 600v Bipolar (Uni. R$ 143,50)--Loja: Magalu	R$	143,50
DPS de 175V e 20KA (uni. R$ 41,90--3 uni.)--Loja: Amazon	R$	125,70
Conector Mc4 P/ Usinas Fotovoltaicas (um par R$ 18,54--5 pares)--Loja: Mercado Livre	R$	92,70
Conector Mc4 Duplo T Ligar Painel Solar (uni. R$ 36,00--10uni.)--Loja Mercado Livre	R$	360,00
Cabo blindado 6mm² - Vermelho e Preto 1,8 kV (R$ 7,29 o metro--32mts)--Loja: neosolar	R$	233,00
Cabo flexivel 6mm²- vermelho e Preto (750V) (R$13,94 o mt--24 mts)--Loja: neosolar	R$	334,56
Cabo flexivel 6mm²- Verde-Aterramento (o metro R$ 9,86--16mts)--Loja: mercado livre	R$	157,76
Cabo flexivel de 16mm²- Vermelho e Preto (1met=R$12,41--8metros)--Loja:Santil.com.br	R$	99,28

Fonte: Autor (2023)

Continuando a especificação dos custos do sistema fotovoltaico na listagem número 3 parte 2 (ver figura 52).

Figura 52 - Listagem 3 parte 2- custo da parte de geração PV do secador rotativo comercial

Listagem 3-Parte 2- Custo do Sistema de Geração fotovoltaico		
Especificação	**Valor**	
Cabo flexivel de 16mm²- Vermelho e Preto (1met=R$12,41--8metros)--Loja:Santil.com.br	R$	99,28
Terminal Sapata 16mm² (uni. R$ 3,5--12 uni.)--Loja: eletricamcdistribuidora.com.br	R$	42,00
Trilho Fixa Placa Painel Solar 1,20m (a uni. R$ 54,83--14uni.)--Loja: Mercado Livre	R$	753,62
Haste de aterramento 2m mais conector (1uni. R$ 42,90)--Loja: Mercado Livre	R$	42,90
Bateria de 12V 150 A.h (uni. R$ 520--10uni.)--Loja:Magalu	R$	5.200,00
Inversor/conversor 12Vcc/120Vac de 4000W (uni. R$ 998,95)--Loja:Neosolar	R$	998,95
Controlador de carga Epever mppt solar 40A (uni. R$ 729)--Loja: NeoSolar	R$	729,00
Sistema de proteção Disjuntor Din 30A (uni. R$ 27,42)--Loja:Mercado Livre	R$	27,42
Eletroduto Corrugado flexivel de 1" Amarelo (25m a peça R$ 71,39)	R$	71,39
Painel Elétrico Quadro Comando (50x40x20cm) (uni. R$ 296,10)--Loja:Mercado Livre	R$	296,10
Montador dos Módulos Fotovoltaicos	R$	500,00
Gastos com Transporte	R$	400,00
Valor Resultante	**R$**	**12.929,88**

Fonte: Autor (2023)

3.3.3 Custo resultante do secador rotativo e o sistema de geração PV

O custo do Resultante do Projeto do secador rotativo comercial é a soma de todos valores de gastos com a implementação tanto do projeto do secador rotativo quanto a implementação do sistema de geração fotovoltaica *off grid*, e a conexão do seu circuito elétrico com o circuito de controle e comando do Secador Rotativo (ver figura 53).

Figura 53 - Custo resultante do sistema de geração PV e do secador rotativo

Custo Secador Rotativo Comercial e o Sistema Fotovoltaico		
Custo do Cirtcuito Eletrico do Secador Rotativo Comercial	R$	3.995,41
Custo da Parte Mecanicado Secador Rotativo Comercial	R$	6.959,36
Custo Total de fabricaçao do Secador Rotativo Comercial	R$	10.954,77
Custo do Sistema Fotovoltaico	R$	12.929,88
Custo Total do Projeto do Secador Comercial	R$	23.884,65

Fonte: Autor (2023)

3.5 Determinação do payback do sistema de geração PV

O cálculo do payback de realizado a seguir, levou-se as seguintes variáveis:

1) Dados do projeto

- Energia consumida por dia=13.688,88 W.h ou 13,688KW.h
- Número de dias= 30 dias
- Valor da tarifa do KW.h da concessionária(01/2023) = R$ 0,8789 (centavos)

$$\therefore\ Cons_{(R\$)} = Tarifa_{(R\$)} . E_{(KWh)} . N_{Dias} \tag{50}$$

Onde:

$Cons_{(R\$)}$: Consumo mensal em Reais;

$Tarifa_{(R\$)}$:Tarifa em reais por KW.h;

$E_{(KW.h)}$: Energia consumida em KW.h;

$N_{(Dias)}$: Número de dias que secador rotativo sendo utilizado.

Calculando na equação 36:

$$\begin{aligned} &\therefore\ Cons_{(R\$)} = Tarifa_{(R\$)} . E_{(KWh)} . N_{Dias} \\ &\therefore\ Cons_{(R\$)} = 0{,}8789.13{,}688.30 \Rightarrow Cons_{(R\$)} = R\$360{,}54 \end{aligned} \tag{51}$$

Determinação do número de meses que o sistema fotovoltaico leva para dar o retorno do valor Investido (ver equação 52).

$$\begin{aligned} &\therefore\ NM = \frac{Custo\ do\ Sistema\ Fotovoltaico\ (R\$)}{Consumo\ em\ 1\ mês\ (R\$)} \\ &\therefore\ NM = \frac{R\$\ 12.929{,}88}{R\$360{,}54} \Rightarrow NM = 35{,}86\ meses\ ou\ 36\ meses \end{aligned} \tag{52}$$

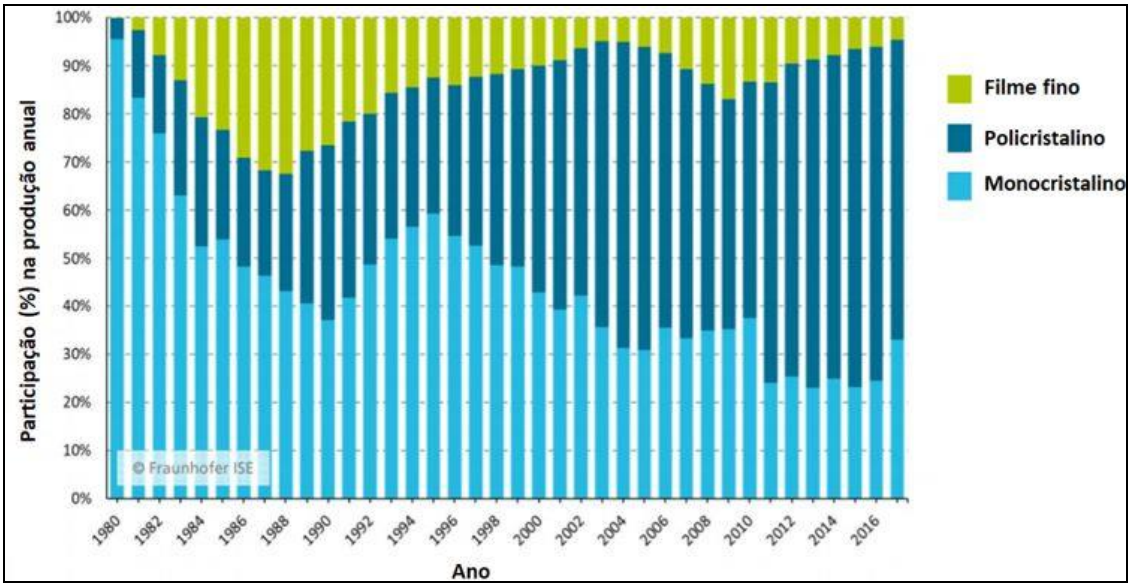
O payback obtido deste projeto é de 3(três) anos, observando este tempo de retorno do valor investido deste sistema fotovoltaico é menor do que com a média nacional, que é um período de 4 anos. Porém outras variáveis devem entrar neste cálculo, como manutenção e troca de componentes defeituosos, o que deve levar o payback para o valor bem próximo de 4 anos.

ANEXO A

Demonstração das mudanças no cenário do mercado mundial das tecnologias de células dos módulos fotovoltaicos, do ano de 2017 até a previsão para ano atual de 2023.

Participação dos diversos tipos de silício no mercado de módulos fotovoltaicos até 2017 (ver gráfico A)

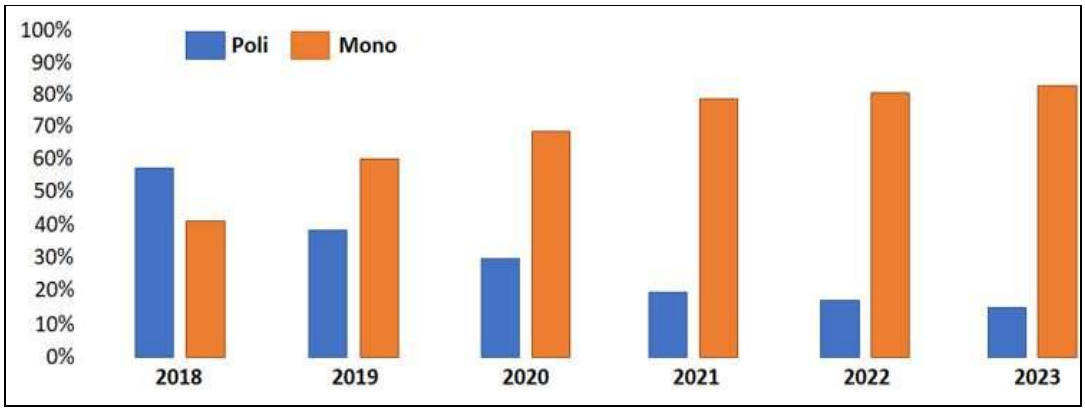
Gráfico A



Fonte: Instituto Fraunhofer

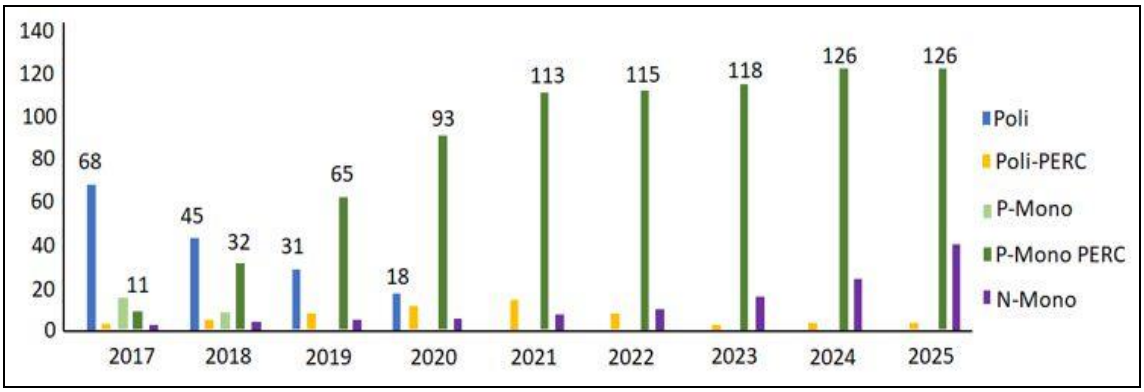
Participação dos diversos tipos de silício no mercado de módulos fotovoltaicos até 2023 (Ver Gráfico B)

Gráfico B



Fonte: PV InfoLink

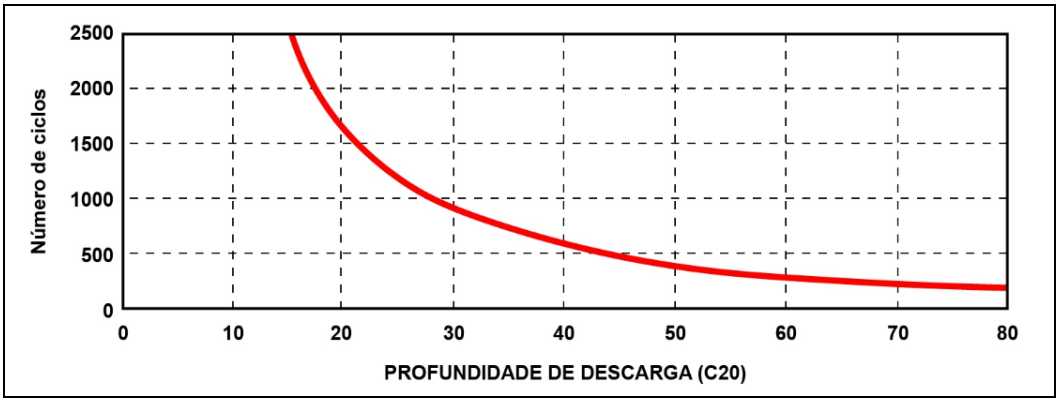
Gráfico C - Participação na geração de energia elétrica mundial dos módulos de silício até 2023



Fonte: PV InfoLink

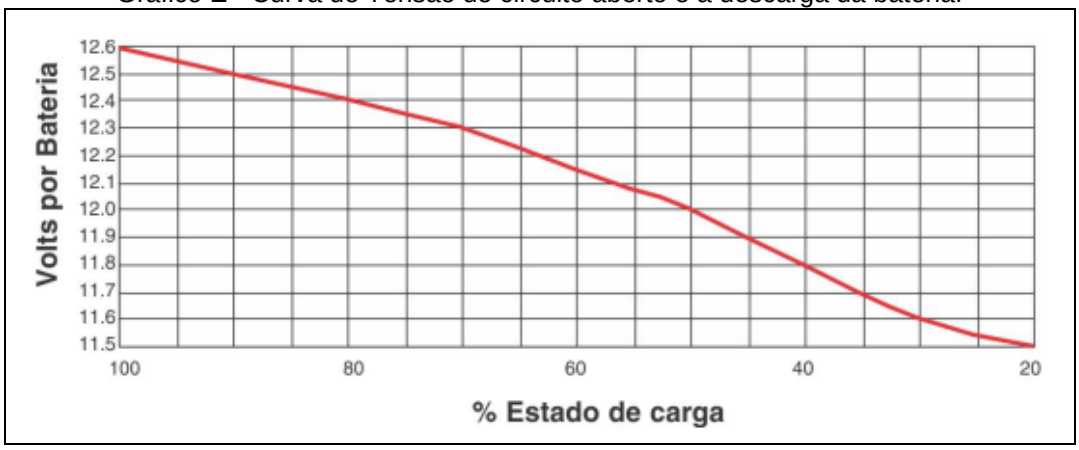
Gráfico D-Profundidade de descarga de no máximo 30% (trinta porcento) da sua carga total.

Gráfico D - Curva de profundidade de descarga de uma bateria estacionária



Fonte: Adaptado do manual das baterias estacionárias

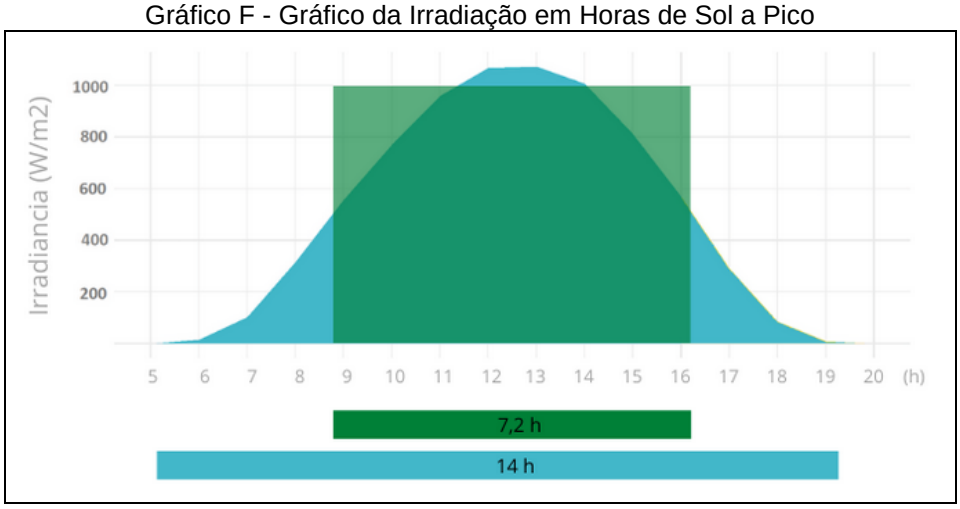
Gráfico E - Curva de Tensão de circuito aberto e a descarga da bateria.



Fonte: Adaptado do manual de baterias estacionárias

O horas de sol a pico (HSP), baseia pela capacidade de irradiaçãodo sol recebida por uma determinada superfície, levando-se em consideração aspectos, como a localização geografica, ângulo de inclinação dos módulos, está irradiação pode ser representa pelo gráfico F, onde a parte demarcada representa a geração fotovoltaica útil em um determinado período de radiação solar.

Gráfico F - Gráfico da Irradiação em Horas de Sol a Pico



Fonte: helioesfera.com

Tabela A.1 - Características técnicas da descarga de baterias elétricas

MODELOS	TENSÃO (V)	CAPACIDADE (Ah) ATÉ 1,75V/CEL @ 25°C			PESO (Kg) ±4%	DIMENSÕES ± 3mm				TERMINAIS	
		10h	20h	100h		COMP.	LARG.	ALT. S/ POLOS	ALT. C/ POLOS	CONFIG.	TIPO
12TE25	12	24,0	25,0	27,0	10,0	196	128	167	187	- +	X
12TE26	12	25,0	26,0	28,0	9,8	205	175	175	175	- +	X
12TE36	12	34,0	36,0	40,0	11,0	205	175	175	175	- +	X
12TE45	12	40,5	45,0	50,0	11,6	205	175	175	175	- +	X
12TE60	12	54,0	60,0	65,0	14,0	242	175	175	175	- +	X
12TE65	12	60,0	65,0	68,0	16,8	287	174	175	175	- +	X

Fonte: Adaptado do catálogo do fabricante