



Universidade Federal
de Campina Grande

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA MECÂNICA

CLEITON JHONS DE ANDRADE TRANQUILINO

Relatório de Estágio Obrigatório

Empresa: Suna Engenharia

CAMPINA GRANDE – PB

2023

CLEITON JHONS DE ANDRADE TRANQUILINO

Relatório de estágio obrigatório

Empresa: Suna Engenharia

Relatório de Estágio Obrigatório, realizado na empresa Suna Engenharia, apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências de avaliação da referida disciplina visando a obtenção do título de Graduado Pleno em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Wanderley Ferreira de Amorim Júnior

CAMPINA GRANDE – PB

2023

CLEITON JHONS DE ANDRADE TRANQUILINO

Relatório de estágio obrigatório

Empresa: Suna Engenharia

Relatório de Estágio Obrigatório apresentado à Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, em cumprimento às exigências de avaliação para obtenção de título de Graduado Pleno em Engenharia Mecânica

Relatório submetido e _____ em ____/____/____.

Banca Examinadora:

Prof. DSc. Wanderley Ferreira de Amorim Júnior

UAEM/CCT/UFCG – Orientador

Prof. Me. Jefferson Segundo de Lima

UAEM/CCT/UFCG – Examinador

Prof. Me. Walter Belarmino da Silva Filho

UAEM/CCT/UFCG – Examinador

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Coletor solar funcionando como um dessalinizador.	8
Figura 2: Classificação das Operações Unitárias.....	12
Figura 3: (a) Ensacadeira gravitacional; (b) Ensacadeira por rosca; (c) Ensacadeira por turbina; (d) Ensacadeira pneumática.....	15
Figura 4 - Ensacadeira por rosca	18
Figura 5: Concepção inicial da linha de produção.....	20
Figura 6: Comprimento total em função do tipo de material e da saída da tremonha.	22
Figura 7: Condutor da rosca alimentadora - Concepção 1.....	23
Figura 8: Condutor da rosca alimentadora - Concepção 2.....	24
Figura 9: Rosca sem fim feita no Inventor.	24
Figura 10: Tremonha	25
Figura 11: Tremonha feita no Inventor.....	27
Figura 12: Lateral da tremonha.	27
Figura 13: Caneca do elevador feita no inventor.	30
Figura 14: Parte externa do elevador de canecas.....	30
Figura 15: Montagem da Ensacadeira.	33
Figura 16: Montagem da Ensacadeira junto a outros subsistemas.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados da Empresa	9
Tabela 2: Propriedades dos materiais.	14
Tabela 3: Coeficiente característico abrangente de materiais.	22
Tabela 4: Dimensões da rosca alimentadora – concepção 2.	24
Tabela 5: Relação entre a saída da tremonha e demais propriedades.	26
Tabela 6: Dimensões da tremonha.	26
Tabela 7: Dimensionamento do elevador de canecas.	29
Tabela 8: Dados utilizados na análise de esforços.	31
Tabela 9: Verificação da espessura da parede vertical.	32
Tabela 10: Verificação da espessura da parede da tremonha.	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	A EMPRESA.....	8
2.1.	Apresentação da empresa.....	8
2.2.	Áreas de Atuação	9
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3.1.	Operações Unitárias	11
3.2.	Sólidos Particulados	11
3.3.	Ensacadeira.....	14
4	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	17
4.1.	Projeto Informacional.....	17
4.2.	Projeto Conceitual	20
4.2.1.	Rosca Alimentadora	21
4.2.2.	Tremonha	25
4.2.2.1.	Dimensões da Saída da Tremonha	25
4.2.2.2.	Dimensionamento da Tremonha.....	26
4.2.3.	Elevador de Canecas.....	27
4.2.4.	Cálculo de Esforços.....	30
5	RESULTADOS ALCANÇADOS.....	33
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

O relatório a seguir irá demonstrar a integração entre a formação acadêmica e a experiência de estágio, permitindo a união dos conhecimentos teóricos e práticos, possibilitando o avanço tanto no âmbito acadêmico quanto profissional, contribuindo para o desenvolvimento completo do estagiário.

A indústria de mineração desempenha um papel estratégico no cenário econômico, sendo responsável pela extração e processamento de minérios essenciais para diversos setores da economia. Dessa forma, a utilização de máquinas se torna indispensável para a realização de tarefas complexas e de grande escala, como a perfuração, o transporte, o beneficiamento e o ensacamento dos minérios. As máquinas desempenham um papel crucial na automação e otimização dos processos, permitindo aumentar a produtividade, reduzir custos operacionais e garantir a segurança dos trabalhadores.

Nesse contexto, destaca-se o uso da ensacadeira automática, um equipamento essencial na etapa de ensacamento de minérios. A ensacadeira automática oferece benefícios significativos, como maior velocidade de ensacamento, precisão na dosagem, redução de erros operacionais e aprimoramento da qualidade das embalagens. Por meio do projeto adequado dessa máquina, é possível integrá-la de forma eficiente ao processo produtivo, contribuindo para a produtividade, eficiência e competitividade da indústria de mineração.

Destarte, durante o meu estágio, fui incumbido de projetar uma ensacadeira automática para uma indústria de minério, com o fim de realizar o ensacamento de calcário utilizado na nutrição de aves. Aplicando as etapas de projeto informacional, conceitual e dimensionamento, foi possível desenvolver a máquina adequada para sua aplicação.

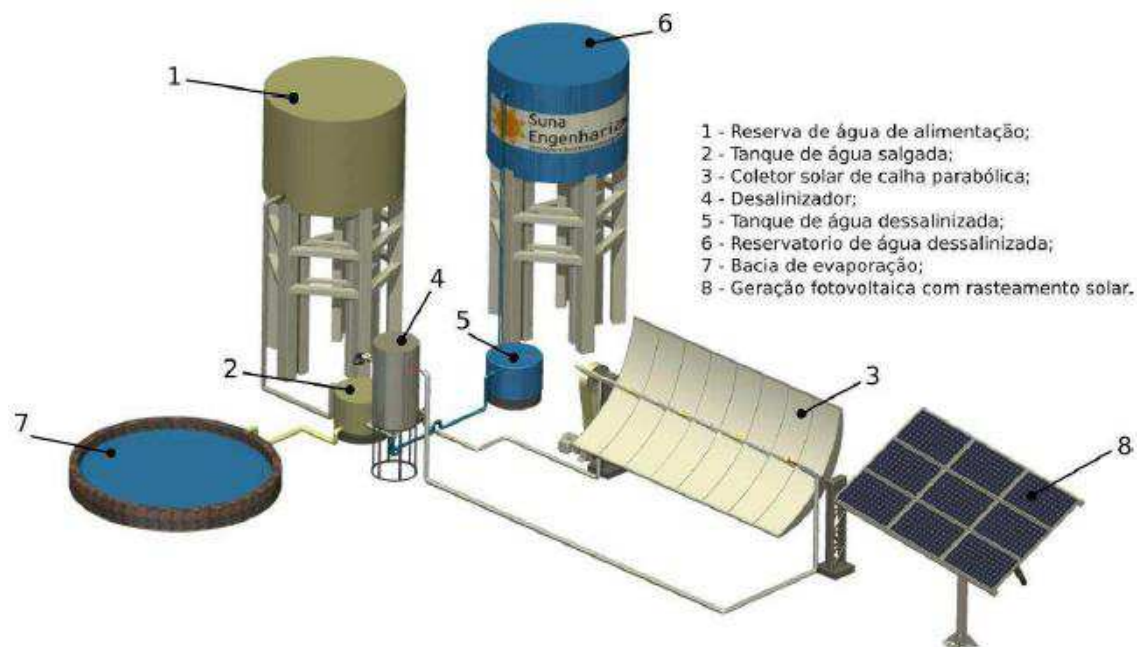
2 A EMPRESA

2.1. Apresentação da empresa

A Suna Engenharia é uma empresa de consultoria e projetos, que tem se destacado nos últimos anos. Ela foi fundada no início de 2012, de caráter inovador, comprometida com os valores éticos e morais. A empresa iniciou-se com o objetivo de permitir que o agricultor conviva com a seca, utilizando-se da tecnologia para esse fim.

Para isso o fundador da empresa Sebastião de Araújo Coutinho, engenheiro químico, criou um Concentrador de Sólidos Solúvel, que é um equipamento que promove a separação de um líquido dos sólidos dissolvidos através do processo de umidificação e desumidificação com reaproveitamento do calor latente de vaporização. Esse equipamento possui várias aplicações, sendo nesse projeto utilizado como dessalinizador. Na figura 1 é apresentada uma representação desse equipamento funcionando como dessalinizador. Além disso, para que ele funcionasse em regiões onde não possui rede elétrica, acrescentou-se ao projeto a energia solar como fonte não convencional, por meio de um softstarter projetado pela própria Suna Engenharia.

Figura 1: Coletor solar funcionando como um dessalinizador.



Na tabela 1, está apresentado algumas informações sobre a empresa.

Tabela 1: Dados da Empresa

SUNA ENGENHARIA		
Endereço: Rua Vereador Pero Sabino de Farias, 138		
Bairro: Jardim Quarenta	Cidade: Campina Grande	Estado: Paraíba
CEP: 58416-020	CNPJ: 17.042.744/0001-71	
Telefone: (83) 98104-3707		

2.2. Áreas de Atuação

A Suna Engenharia atua nas seguintes áreas:

Pesquisa e Desenvolvimento

- Estudo da viabilidade técnica e econômica;
- Criação de protótipo.

Patentes

- Busca;
- Redação.

Sistemas Fotovoltaicos

- Dimensionamento;
- Montagem;
- Manutenção.
- Automação
- Auditoria de malhas de controle;
- Sintonia de controladores;
- Auditoria de válvula de controle utilizando o software de gerenciamento de malhas de controle da Matrikon;
- Configuração do SDCD CS3000 da Yokogawa;
- Configuração do Batch3000 da Yokogawa;
- Configuração do historiador de dados de processos InfoPlus21;
- Programação de CLP.

Instrumentação

- Calibração de instrumentos de campo e de laboratório;
- Configuração e parametrização de controladores, transdutores e conversores;
- Manutenção e calibração de válvulas de controle;

- Manutenção de cromatógrafo e analisador de líquido e de gás de processo.

Elétrica e Eletrônica

- Montagem e manutenção de painéis de comando;
- Manutenção de sistemas controlados por CLPs;
- Manutenção de retificadores e UPSs;
- Manutenção de sistemas de Proteção Catódica;
- Manutenção elétrica predial.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Operações Unitárias

Operações unitárias são etapas individuais e distintas que compõem os processos industriais. Essas etapas são responsáveis por transformar matérias-primas em produtos acabados ou intermediários, envolvendo diferentes processos físicos, químicos ou biológicos. Cada operação unitária tem seu propósito específico e contribui para a realização de uma determinada função dentro do processo global.

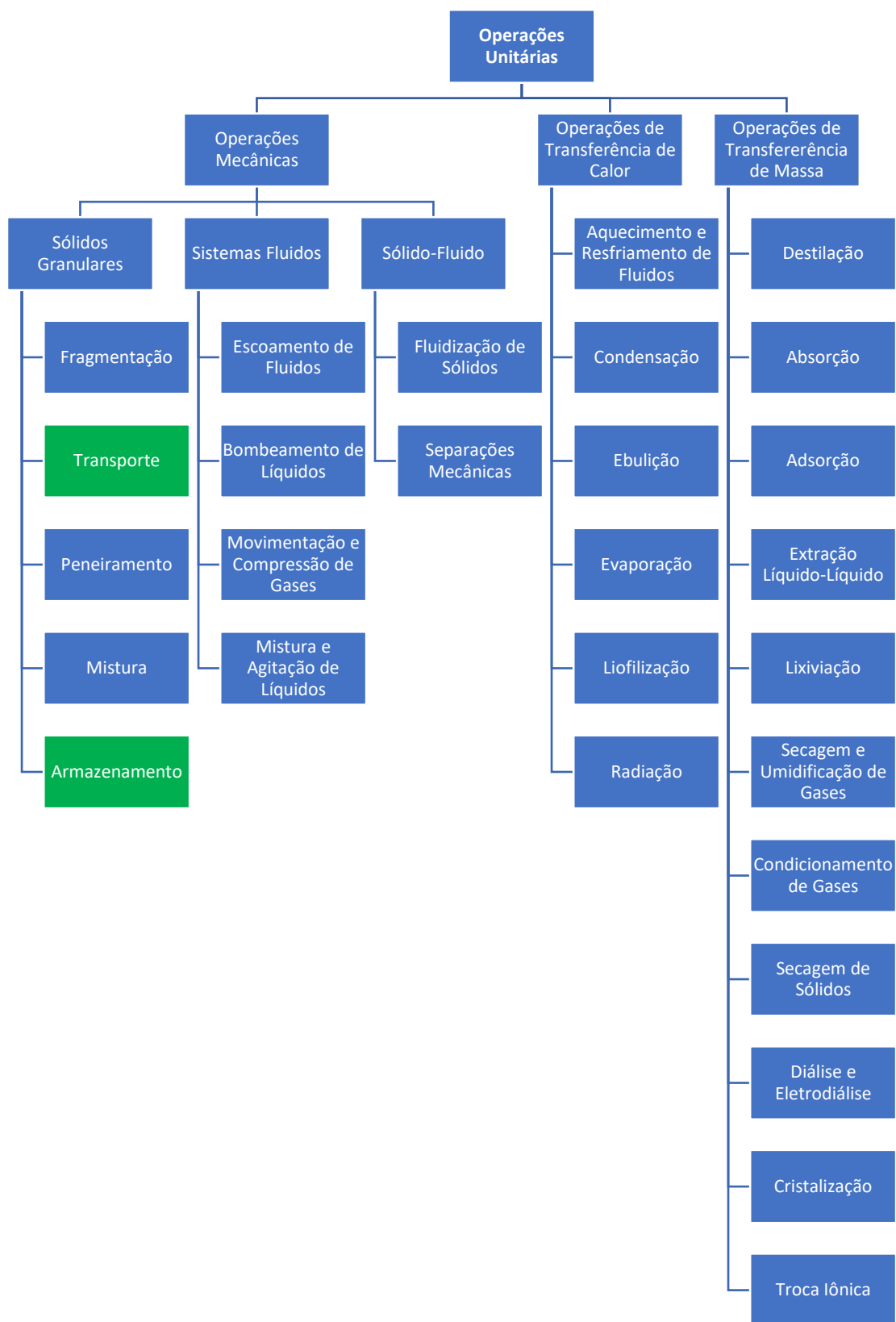
Segundo Gomide (1980), as operações unitárias são fundamentalmente operações físicas, e tem por objetivo reduzir o tamanho dos sólidos que serão processados, transportá-los, separar componentes de misturas ou aquecer e resfriar sólidos e fluidos. Dentre alguns exemplos dessa operação estão o britamento, a destilação e o armazenamento.

Ainda de acordo com Gomide (1980), as operações podem ser classificadas em operações mecânicas, operações de transferência de calor e operações de transferência de massa. Dentre essas classificações, existem outras subcategorias que estão classificadas de acordo com a figura 2. Dentre elas, destaca-se as operações mecânicas de transporte e armazenamento. Essas operações se referem ao transporte, armazenamento e manuseio de materiais dentro de um processo industrial, que pode envolver o uso de sistemas de transporte, como esteiras empilhadeiras, silos e tanques de armazenamento.

3.2. Sólidos Particulados

O estudo dos sólidos particulados envolve aspectos teóricos e práticos relacionados à caracterização, manuseio, transporte, armazenamento, processamento e controle desses materiais. O estudo e a compreensão desses elementos são essenciais na concepção de equipamentos de processamento, no dimensionamento de sistemas de transporte e no armazenamento. Além disso, é fundamental para garantir o desempenho adequado dos processos industriais que envolvem esse tipo de sólido e para promover a eficiência, segurança e qualidade nos diferentes setores da indústria.

Figura 2: Classificação das Operações Unitárias



Fonte: Gomide.

Dessa forma, antes de projetar qualquer máquina que trabalhe com esses sólidos, é necessário conhecer as propriedades do material (Tabela 2) que está sendo trabalhado. Dentre as propriedades, podemos destacar:

1. **Ângulo de repouso:** O ângulo de repouso é o declive do cone formado quando um material sólido não consolidado é vertido livremente por um tubo para uma superfície horizontal (Leite, 2008). Isso significa dizer que o ângulo de repouso é uma medida que descreve a inclinação máxima em que um material granular ou particulado pode se manter estável antes de começar a deslizar ou se espalhar. O conhecimento do ângulo de repouso é importante em diversas aplicações, como no projeto de silos e funis para evitar o entupimento ou fluxo inadequado de materiais granulares.
2. **Compressibilidade:** é uma medida da variação de volume do material armazenado causada por uma mudança no sistema de forças atuantes (Leite, 2008). Materiais que possuem alta compressibilidade podem sofrer redução significativa de volume quando submetidos à pressão, podendo afetar o desempenho do processo e a eficiência da operação.
3. **Porosidade:** se define pela relação entre o volume de vazios da amostra e o volume total. Ela influencia diretamente na densidade aparente do material.
4. **Densidade:** é a massa específica do material. Através dela, podemos dividir os materiais em: leves, como a serragem; médios, como areia, minérios; muito pesados, como os minérios de ferro ou chumbo (Gomide, 1980). A densidade é uma propriedade física que descreve a "compactação" de uma substância. A unidade de medida mais comum para densidade é quilograma por metro cúbico (kg/m^3).
5. **Densidade aparente:** é uma medida da massa de um material por unidade de volume, levando em consideração o espaço ocupado pelos vazios entre as partículas. É calculada dividindo-se a massa total de um material pelo volume total que ele ocupa, incluindo os espaços vazios entre as partículas. A densidade aparente é influenciada pela forma, tamanho, distribuição das partículas e pela presença de espaços vazios entre elas.

Tabela 2: Propriedades dos materiais.

Type of particulate solid ^{d, e}	Unit weight ^b		Angle of repose ϕ_r	Angle of internal friction ϕ_i		Lateral pressure ratio K		Wall friction coefficient ^c μ ($\mu = \tan \phi_w$)				Patch load solid reference factor C_{op}
	γ_c	γ_u		Mean ϕ_{im}	Factor a_ϕ	Mean K_m	Factor a_K	Wall type D1	Wall type D2	Wall type D3	Factor a_μ	
	Lower kN/m ³	Upper kN/m ³	degrees									
Default material ^a	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0
Aggregate	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4
Alumina	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Animal feed mix	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0
Animal feed pellets	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,28	0,37	1,20	0,7
Barley	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5
Cement	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Cement clinker	15,0	18,0	47	40	1,20	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7
Coal	7,0	10,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,44	0,49	0,59	1,12	0,6
Coal, powdered	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Coke	6,5	8,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6
Flyash	8,0	15,0	41	35	1,16	0,46	1,20	0,51	0,62	0,72	1,07	0,5
Flour	6,5	7,0	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6
Iron ore pellets	19,0	22,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,5
Lime, hydrated	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,36	0,41	0,51	1,07	0,6
Limestone powder	11,0	13,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Maize	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9
Phosphate	16,0	22,0	34	29	1,18	0,56	1,15	0,39	0,49	0,54	1,12	0,5
Potatoes	6,0	8,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5
Sand	14,0	16,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4
Slag clinkers	10,5	12,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,48	0,57	0,67	1,16	0,6
Soya beans	7,0	8,0	29	25	1,16	0,63	1,11	0,24	0,38	0,48	1,16	0,5
Sugar	8,0	9,5	38	32	1,19	0,50	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4
Sugarbeet pellets	6,5	7,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,35	0,44	0,54	1,12	0,5
Wheat	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5

Fonte: Eurocode.

3.3. Ensacadeira

Uma ensacadeira é um equipamento utilizado para empacotar ou ensacar produtos em embalagens específicas, como sacos ou sacolas. Ela automatiza o processo de enchimento dos recipientes, permitindo o controle preciso da dosagem do produto a ser embalado. As ensacadeiras podem ser projetadas para diferentes tipos de materiais, como grãos, pós, líquidos ou produtos granulados, e desempenham um papel fundamental na indústria de embalagens, garantindo eficiência e precisão no ensacamento dos produtos.

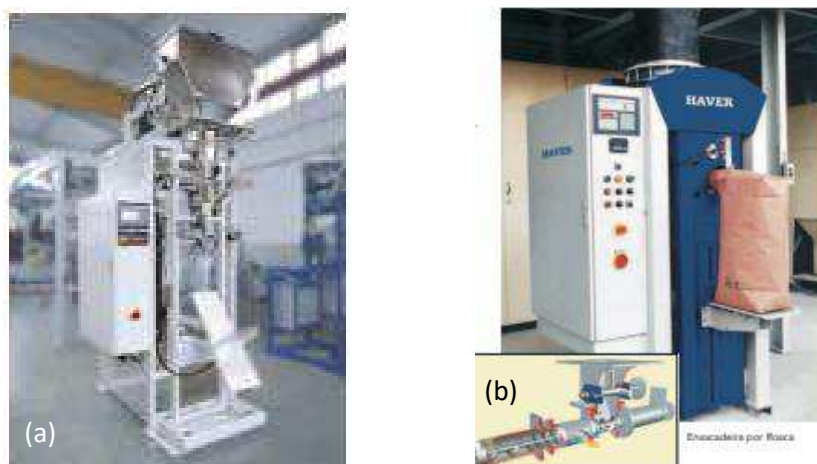
As ensacadeiras podem ser classificadas de acordo com as características do saco. Nesse caso, elas podem ser de boca aberta ou valvulada. As ensacadeiras do tipo boca aberta realizam o ensaque em sacos de boca aberta, ou seja, sacos sem nenhum tipo de sistema de fechamento prévio. Essas ensacadeiras realizam o enchimento dos sacos por meio de uma abertura

ampla, permitindo um fluxo contínuo do material a ser ensacado. Já as ensacadeiras do tipo valvulada são adequadas para ensacar produtos que são alimentados por meio de uma válvula ou bocal. Essas ensacadeiras possuem um bico ou bocal estreito que se conecta à válvula do saco, permitindo um enchimento mais preciso e controlado.

Outra forma de classificar as ensacadeiras é através do mecanismo de funcionamento. As principais são:

- Ensacadeira gravimétrica: utilizam o princípio da gravidade para o descarregamento do material nos sacos. Por esse motivo, é recomendado para materiais que possuem boa fluidez na forma de grãos.
- Ensacadeira por rosca sem fim: essas ensacadeiras utilizam uma rosca sem fim, chamada de rosca alimentadora, com a finalidade de realizar o enchimento contínuo e controle de dosagem do material. São recomendadas para materiais de escoamento difícil.
- Ensacadeira por turbina: utiliza uma turbina na horizontal ou na vertical que lança o material para dentro do saco. São utilizadas para produtos de difícil ensacamento e para capacidade alta de trabalho.
- Ensacadeira pneumática: é utilizado para ensaque de produtos em pó e granulados, com aplicação ideal para produtos mistos, contendo componentes finos e grossos.

Figura 3: (a) Ensacadeira gravitacional; (b) Ensacadeira por rosca; (c) Ensacadeira por turbina; (d) Ensacadeira pneumática.





Fonte: Haver & Boecker

4 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

O primeiro contato com a empresa Suna Engenharia foi fundamental para conhecer sua origem, o local de trabalho e as pessoas que compõem a empresa. Nos primeiros dias, a empresa recebeu a missão de desenvolver uma ensacadeira automática para uma indústria de minério. Para isso, junto com Edjan, engenheiro mecânico da Suna Engenharia, definimos que o projeto deverá seguir as etapas abaixo:



Fonte: Autoria Própria

4.1. Projeto Informacional

Na primeira reunião do projeto na empresa, foi realizada uma apresentação sobre ensacadeiras, com o objetivo de obter uma visão geral das diferentes opções disponíveis no mercado. O foco principal dessa reunião era a classificação e definição das ensacadeiras, a fim de compreender as características e os princípios de funcionamento de cada uma delas.

No início da apresentação, foram abordados os diferentes tipos de ensacadeiras existentes, incluindo as ensacadeiras gravimétricas, ensacadeiras por rosca, ensacadeiras por turbina e ensacadeiras pneumáticas. Essa classificação proporcionou uma base sólida para a compreensão das peculiaridades de cada tipo de máquina.

Durante a apresentação, foram destacados pontos essenciais para o projeto, como a importância da precisão na dosagem dos produtos, a necessidade de sistemas de abertura e fechamento de sacos eficientes, e a relevância da selagem adequada para garantir a integridade dos produtos ensacados.

Além disso, foram identificados os principais desafios relacionados ao projeto de uma ensacadeira automática para a indústria de minério. Entre eles, incluíram-se a necessidade de adaptar a máquina às características específicas do minério, como granulometria, densidade e fluxo, bem como as demandas de produção da empresa.

Ao final da reunião, foi fornecida a informação de que o minério a ser ensacado era o calcário utilizado na alimentação de aves. Essa informação serviu como ponto de partida para a tomada de decisões no projeto da ensacadeira automática. Foram definidos os próximos passos para o desenvolvimento do projeto, incluindo a análise mais detalhada das necessidades específicas da empresa.

Com base nas características específicas do calcário utilizado na alimentação de aves e na necessidade de um controle preciso da dosagem, a ensacadeira por rosca foi selecionada como a escolha mais adequada. A capacidade de ajustar a velocidade da rosca e obter uma dosagem precisa torna esse tipo de ensacadeira ideal para materiais granulados, como o calcário. Além disso, a ensacadeira por rosca oferece um controle mais refinado sobre o fluxo do material, permitindo um ensacamento mais consistente e confiável.

Buscou-se algumas soluções existentes no mercado que pudesse ser aplicável ao projeto. A melhor solução encontrada está na Figura 4, na qual uma ensacadeira por rosca realiza o ensacamento de produtos em pó, sendo totalmente fechada para não causar poeira excessiva que cause prejuízo à saúde do trabalhador.

Figura 4 - Ensacadeira por rosca



Fonte: Metalúrgica Gravino.

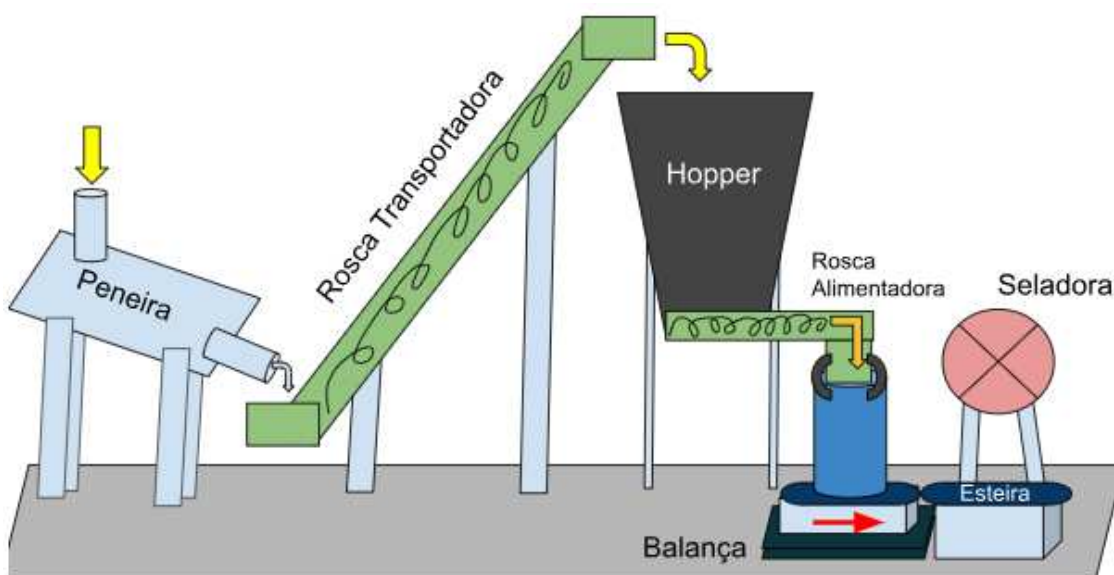
Diante dessa solução, baseamos nosso projeto, fazendo algumas adaptações. Inicialmente, a rosca alimentadora foi projetada na horizontal, para não haver perda na eficiência devido a inclinação.

Posteriormente, em uma conversa com o Sebastião, dono da empresa, foi apresentada toda a linha de produção para a análise dos subsistemas. Os subsistemas em análise foram:

- **Rosca Transportadora:** é um dispositivo mecânico composto por uma hélice helicoidal que gira dentro de um tubo, utilizado para transportar materiais a granel de um ponto para outro. A rotação da rosca cria um movimento de arrasto, impulsionando o material ao longo do seu comprimento.
- **Tremonha:** é um reservatório utilizado para armazenar e regular o fluxo de material a granel. Geralmente possui uma abertura na parte inferior, conectada à rosca transportadora ou rosca alimentadora, permitindo que o material seja transferido de forma controlada.
- **Rosca Alimentadora:** também conhecida como dosadora ou dosadora de rosca, é um tipo específico de rosca transportadora projetada para dosar e alimentar materiais em processos industriais. A velocidade de rotação da rosca alimentadora pode ser ajustada para controlar a quantidade de material que é liberada.
- **Fixadores:** possuem a função de fixar a boca do saco à saída do condutor da rosca alimentadora, a fim de que o enchimento seja feito corretamente.
- **Esteira:** são duas esteiras, uma ficará sobre a balança para que seja feita a pesagem, sendo acionada quando a dosagem for concluída; enquanto a outra fará a translação do saco cheio até a seladora.
- **Balança:** A balança fará a pesagem do saco. Cada saco de calcário terá capacidade de 50 kg.
- **Seladora:** ao final do processo, fará o fechamento do saco. Não será projetada, mas sim, adquirida pela própria indústria.

O primeiro conceito está apresentado na figura 4. A peneira não faz parte do projeto da ensacadeira, tratando-se de um projeto à parte.

Figura 5: Concepção inicial da linha de produção.



Fonte: Autoria própria.

Também fui informado de que a indústria de minério produz o calcário em duas granulometrias diferentes. O produto principal é o calcário com grãos entre 2,0 e 2,5 milímetros, e equivale a aproximadamente 30% da capacidade produtiva total da indústria. O produto secundário é o calcário em pó, com granulometria menor que 2,0 milímetros, que equivale a quase 70% da capacidade produtiva. A capacidade produtiva total informada pela indústria é de 6 toneladas por hora. Isso quer dizer que em 1 hora é produzido cerca de 1,8 toneladas do calcário em grãos, e 4,2 toneladas de calcário em pó. Diante disso, ficou decidido projetar uma ensacadeira para o produto principal, aproveitando boa parte do projeto conceitual para a outra ensacadeira que irá ensacar o calcário em pó.

4.2. Projeto Conceitual

Definido a linha de produção, deu-se início à fase conceitual do projeto. Decidiu-se projetar “de trás pra frente”, ou seja, do final do processo ao começo, devido a importância de manter o envase atingindo a capacidade de trabalho exigida. Logo, o projeto teve início na rosca alimentadora.

4.2.1. Rosca Alimentadora

A rosca transportadora é o subsistema responsável pelo envaze do calcário nos sacos. Esse subsistema também realiza o controle da dosagem, sendo desligado automaticamente após o saco atingir 50kg.

O projeto da rosca transportadora inclui a rosca sem fim e o condutor externo, que deve ser totalmente fechado para não causar poeira.

- Concepção 1

Dessa forma, deu-se início ao projeto conceitual da rosca alimentadora. O projeto consiste em uma rosca alimentadora horizontal que fará o enchimento dos sacos de calcário. Essa rosca deverá atender à capacidade de 1,8 toneladas por hora, devendo ter uma sobra caso haja parada no envaze e o reservatório fique cheio, exigindo que a rosca aumente a velocidade de envaze.

Com isso, decidiu-se dimensionar para uma capacidade de até 4 toneladas por hora. A estimativa da capacidade no tempo de uma rosca contínua é dada pela seguinte equação:

$$Q = V\gamma = 60 \frac{\pi D^2}{4} S n \psi \gamma C \text{ (t/h)}$$

Sendo D = diâmetro em m; S = passo da rosca em m; N – Velocidade de rotação em rpm; Ψ = a eficiência da capacidade da área da seção transversal da área da rosca; V = capacidade em m³/h; γ = peso do material em t/m³; C = fator de inclinação do transportador.

Para uma capacidade de 4 toneladas por hora, e considerando que o passo da rosca é igual ao seu diâmetro (S=D), e uma rotação máxima de 60 RPM, temos o seguinte diâmetro:

$$D^3 = \frac{4Q}{60\pi n \psi \gamma C} \rightarrow D = 83 \text{ mm}$$

Considerando agora as propriedades do material, utilizamos a seguinte equação para determinar o diâmetro da hélice:

$$D = K \cdot \sqrt[2.5]{\frac{Q}{\varphi \gamma C}}$$

Considerando a tabela 3, temos que, para o calcário, o valor de K (coeficiente característico abrangente de materiais) para o calcário é 0,0537. Substituindo na equação, para uma vazão de 4 t/h, temos:

$$D = 65,3 \text{ mm}$$

Portanto, concluímos que $65 \text{ mm} < D < 83 \text{ mm}$.

Para calcular a potência requerida, utilizaremos a seguinte equação:

$$N_0 = \frac{Q L w_0}{367}, \text{ kW}$$

Sendo:

w_0 = o coeficiente resultante de atrito (obtido de forma experimental – fabricantes).

- Para materiais com carvão, argila seca: valor de 2,5

- Para materiais como argila seca fina; areia mais grossa, cimento: valor de 4,0.

$H = 0$, para roscas horizontais e;

L = valor linear da trajetória a ser percorrida, m.

Fonte: Silveira.

Tabela 3: Coeficiente característico abrangente de materiais.

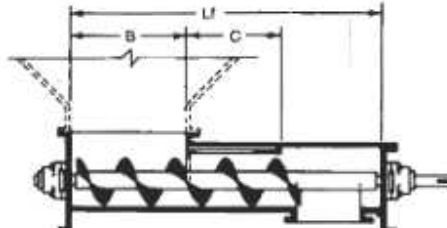
The Lumpiness of the Material	The Abrasive Cut of Material	Application	K Value
The powdery	There was no grinding cut Half a mill cut	Flour, Graphite Lime, Soda ash	0.0415
The powdery	Grinding cut sex	Dry furnace powder, Cement, Gypsum powder	0.0565
Granular	There was no grinding cut Half a mill cut	Grain, Sawdust, Coal slime, Granular salt	0.0439
Granular, Small block < 60 mm	Grinding cut sex There was no grinding cut	Molding soil, Molding sand, Coal, Limestone	0.0600 0.0537

Fonte: Tianqi Liu

Porém, como estamos dimensionando uma rosca alimentadora que utiliza até 95% da sua capacidade, o L não será o comprimento da rosca, mas sim, calculado pela seguinte relação:

Figura 6: Comprimento total em função do tipo de material e da saída da tremonha.

Type of Material	Screw Type Under Feed Opening	Lf Value
Fines or Pulverized	Tapered	$L_f + B + C$
	Regular or Straight	$L_f + 2B + C$
Under 1/2" Size	Tapered	$L_f + 2B + C$



Fonte: Continental.

Portanto, considerando um comprimento de rosca de 1 m, abertura do cone igual a 50 cm e uma abertura de 30 cm para a saída do calcário para o saco, temos que o valor de L será:

$$L = L_f + 2B + C = 1,3 + 2(0,5) + 0,5 = 2,8 \text{ m}$$

Substituindo na fórmula para encontrar a potência, obtemos

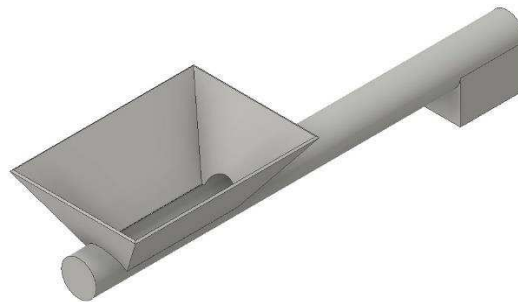
$$N_0 = \frac{QLw}{367} = 4 \times 2,8 \times \frac{4}{367} = 122W$$

Considerando um rendimento do redutor de aproximadamente 70%, a potência requerida do motor será:

$$N = \frac{N_0}{\eta} = \frac{122}{0,7} = 174W$$

A potência foi solicitada a fim de que a indústria pudesse adquirir o motor necessário. Foi recomendado a compra de um motor de 0,25 cv e 44 RPM, facilmente encontrado em lojas especializadas. No entanto, esse valor sofrerá alterações na segunda concepção. Com as dimensões obtidas, foi realizado o desenho no Inventor da concepção do condutor da rosca alimentadora.

Figura 7: Condutor da rosca alimentadora - Concepção 1



Fonte: Autoria própria.

- **Concepção 2**

Como a ensacadeira ficou com uma altura muito elevada, decidiu-se fazer uma alteração na rosca alimentadora, que é a responsável pelo controle de saída do material para o saco. Enquanto na primeira concepção a ensacadeira foi dimensionada para operar na horizontal, a segunda concepção é de uma ensacadeira operando com uma inclinação, a fim de diminuir a altura final da ensacadeira.

A inclinação definida para a rosca alimentadora trabalhar é de 25° com a horizontal, visto que a eficiência da rosca diminui conforme se aumenta o ângulo de inclinação. O comprimento total do condutor da rosca será igual a 2 metros, possibilitando que o envase seja feito adequadamente.

Nessa ocasião, iremos refazer o dimensionamento para os novos parâmetros. Os dados foram inseridos numa planilha de cálculos, que nos forneceu os valores necessários. Veja na Tabela 4:

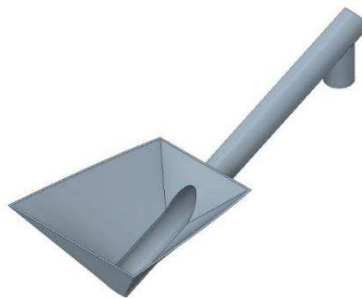
Tabela 4: Dimensões da rosca alimentadora – concepção 2.

Dados de Entrada	Capacidade de Trabalho (t/h)	4,00		
	Velocidade máx de rotação (RPM)	60,00		
	Passo da Rosca (m)	0,10		
	Densidade Aparente (t/m ³)	2,58		
	Eficiência da Área da Rosca	0,95		
	Coefficiente Característico K	0,0537		
	Comp. Total do Eixo (m)	2,00		
	Comp. Total da Rosca (m)	1,70		
	Comp. da Rosca em contato com o material (m)	0,50	Diâmetro da Rosca (m)	0,099
	Comp. da Rosca que não está em contato com o material (m)	1,20	Diâmetro da Rosca* (m)	0,080
	Fator de Inclinação	0,60	Potência (W)	0,185
			Potência com Fator de Seg (cv)	1,716

Fonte: Autoria própria.

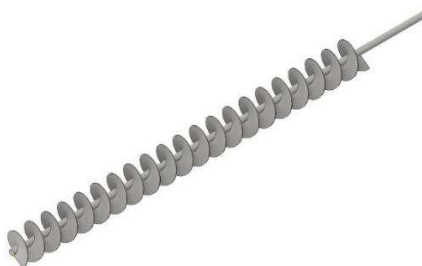
Comparando com a primeira concepção, vemos um leve aumento nas dimensões da rosca e na potência. No entanto, essa inclinação resultou em uma redução de quase 1 metro na altura da ensacadeira, sendo, portanto, essa concepção a mais adequada. Foi durante essa concepção que foi encontrada a recomendação dada por Gomide, no qual ele recomenda que, quando o carregamento de uma rosca alimentadora for feito por gravidade, deve-se adicionar entre $\frac{1}{2}$ e 1 cv de potência. Dessa forma, a potência do motor para esse projeto ficou em torno de 1,5 cv.

Figura 8: Conductor da rosca alimentadora - Concepção 2



Fonte: Autoria própria.

Figura 9: Rosca sem fim feita no Inventor.

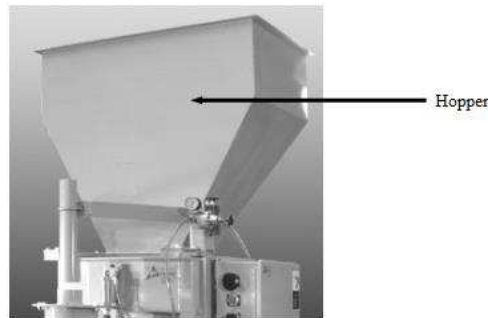


Fonte: Autoria própria.

4.2.2. Tremonha

Após o projeto conceitual da tremonha, deu-se início ao projeto conceitual da tremonha. A tremonha, também chamada de hopper, moega, ou até mesmo de funil de carga, é o reservatório onde fica o material que está prestes a ser ensacado. O projeto da tremonha envolve o seu formato, o volume, as dimensões e o material que ele será construído.

Figura 10: Tremonha



Fonte: Magnum Systems.

4.2.2.1. Dimensões da Saída da Tremonha

A região de saída da tremonha é mais importante do que qualquer outra região, pois é nela que se determina como ocorrerá o escoamento. No nosso caso, quando somente a gravidade atua, as partículas escoam do topo da tremonha até a saída, porém o escoamento só ocorre de fato quando a rosca alimentadora é acionada.

Para dimensionarmos a abertura de saída da tremonha, devemos considerar o diâmetro da hélice da rosca alimentadora, para que a largura não fique desproporcional a esse diâmetro. Para uma tremonha em forma de cunha, o recomendado é que o comprimento do orifício de saída seja pelo menos três vezes maior que a largura, se as paredes finais forem paralelas. Caso elas sejam convergentes, o comprimento de saída deverá ser pelo menos três vezes maior (Dr. McGlinchey). Seguindo a tabela 5, a largura de saída da tremonha é igual a 15 cm. Esse valor foi escolhido relacionando a sua densidade aparente, que está acima de 1200 kg/m^3 . O comprimento é igual a 50 cm, respeitando a relação dada anteriormente. O formato da tremonha escolhido é a forma de cunha, pois é mais recomendada em aplicações de pequenas capacidades de armazenamento.

Tabela 5: Relação entre a saída da tremonha e demais propriedades.

Flow	Wall friction (degree)	Bulk density (kg/m ³)	Shear strength (N/m ²)	Hausner ratio (-)	Outlet size (cm)	Mass flow wall angle (degree)
Easy	<20	1200	300	1.1	15	65
Moderate	25	800	1000	1.25	50	73
Poor	>30	400	2000	1.5	100	80

Fonte: Dr. McGlinchey

4.2.2.2. Dimensionamento da Tremonha

Foi solicitado que a tremonha possua uma capacidade de pelo menos meio dia de trabalho. A indústria possui uma carga horária de oito horas por dia, então a tremonha deve possuir uma capacidade volumétrica equivalente a quatro horas de produção. Sabe-se que a capacidade de trabalho por hora para o produto principal é de 1,8 toneladas, então, em quatro horas são produzidas 7,2 toneladas. Considerando que a densidade aparente do calcário seja de 2000 kg/m³, o volume calculado é igual a 3,6 m³.

De acordo com Gomide, o ângulo de saída deve ser maior que o ângulo de repouso, para que o material escoe (Gomide, 1980). Além disso, este ângulo pode variar devido a alguns fatores como granulometria, a forma e a umidade do material. Logo, é recomendável que se trabalhe com uma margem de segurança. O ângulo de repouso para o calcário é em torno de 40 - 45° com a horizontal. Logo, é recomendável que o ângulo de saída seja maior que 50°.

Foi feita uma planilha de cálculo para realizar o cálculo de área e volume da tremonha. As dimensões obtidas estão na tabela 6. Perceba que a altura total da ensacadeira ficará em torno de 3,8 metros, pois foi adicionado a esse cálculo a altura da estrutura que suportará a ensacadeira. Com essa altura, viu-se a necessidade de uma solução para diminuí-la, pois ela foi considerada muito alta para a sua aplicação.

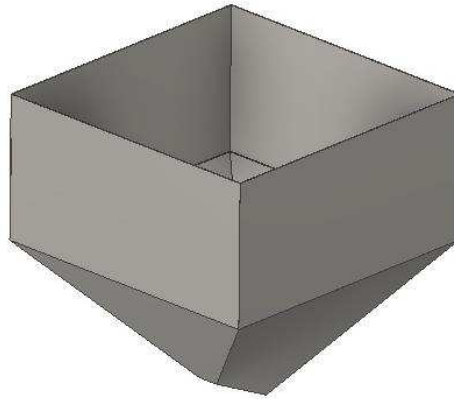
Tabela 6: Dimensões da tremonha.

Largura Superior (mm)	2.000,00		
Comprimento Superior (mm)	2.000,00		
Largura Inferior (mm)	150,00		
Comprimento Inferior (mm)	500,00		
Ângulo de Inclinação (graus)	55,00		
Altura Pirâmide (mm)	1.321,04		
Volume Pirâmide (m ³)	2,04		
Largura Secção Quadrada (mm)	2.000,00	Altura Total (mm)	3.821,04
Comprimento Secção Quadrada (mm)	2.000,00	Volume Total (m ³)	6,04
Altura Secção Quadrada (mm)	1.000,00	Capacidade Total (ton)	12,07
Volume Secção Quadrada (m ³)	4,00		

Fonte: Autoria própria

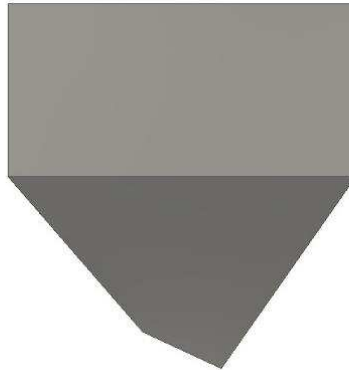
A partir da segunda concepção da rosca alimentadora, a tremonha foi projetada com uma inclinação na saída, a fim de que ela ficasse paralela ao eixo da rosca alimentadora. Com isso, obteve-se o conceitual da tremonha desenhada no inventor conforme a Figura 11 e 12.

Figura 11: Tremonha feita no Inventor.



Fonte: Autoria própria.

Figura 12: Lateral da tremonha.



Fonte: Autoria própria.

4.2.3. Elevador de Canecas

Após ser feito o conceitual da tremonha, foi necessário encontrar a melhor solução para transportar o calcário que sai da peneira para a tremonha. Alguns requisitos de projeto para realizar essa alimentação da tremonha são:

- Ser totalmente fechada, para não espalhar o pó;
- Transportar 1800 kg/h do produto principal;
- Não ocupar muito espaço horizontal, o que significa dizer que ela deverá ser bem inclinada;

Inicialmente, optou-se pela rosca transportadora. Para dimensionar uma rosca transportadora que cumpra os requisitos mencionados, são feitas algumas recomendações. Dentre elas, deverá ser utilizado um tubo cilíndrico com folga entre a hélice e o tubo bastante limitada. A helicóide precisa ser bastante polida para diminuir o atrito. A elevação máxima é de 12 metros (GOMIDE, 1980). Após dar início ao dimensionamento da rosca, concluiu-se que a inclinação acentuada da rosca transportadora diminuiria muito a sua eficiência de transporte, tornando-se uma solução pouco viável.

A outra solução encontrada para transportar o calcário da esteira para a tremonha é através de um elevador de canecas, ideal para transportar na posição vertical ou muito inclinada. Esses elevadores são construídos com canecas fixadas sobre correias ou correntes que se movimentam entre uma polia superior e outra inferior que gira livremente.

Para escolher entre o uso de correia ou o uso de corrente no elevador, deve-se considerar a vantagem de cada componente. A correia permite um transporte com maior velocidade (descarga centrífuga), porém possui custo mais alto de aquisição e manutenção. A corrente, por outro lado, apresenta uso simples, duradouro, resistente e de baixo custo. Entretanto, exige baixa velocidade durante a operação de transporte e não deve ser utilizado em transportadores muito altos.

Os engenheiros da Suna Engenharia decidiram comprar o elevador de canecas de uma outra empresa especializada nesse equipamento, e que ficou responsável também de realizar o dimensionamento de acordo com a capacidade de trabalho exigida e com a altura da ensacadeira. No entanto, foi solicitado que o dimensionamento não deixasse de ser feito também na Suna Engenharia, para fins de conhecimento da máquina que está sendo adquirida.

Para o dimensionamento, as equações necessárias foram colocadas em uma planilha, a fim de que, com os dados de entrada, todos os outros parâmetros fossem calculados.

A capacidade pode ser relacionada com as demais variáveis pela seguinte expressão empírica (Gomide, 1980):

$$C = \frac{0,0035 \ell w^2 V \rho}{d}$$

$$Q = \frac{0,0035 \ell w^2 V}{d}$$

onde C = capacidade (t/h); Q = capacidade volumétrica (m³/h); l = comprimento das canecas (cm); w = largura das canecas (cm); V = velocidade (m/min); ρ = densidade aparente (t/m³); d = distância entre as canecas (cm).

O cálculo da potência consumida é feito através da fórmula recomendada por Perry, adaptada para unidades métricas, que fornece diretamente a potência do motor (HP) necessário.

$$P = \frac{CH}{152}$$

Dessa forma, as equações foram inseridas em uma planilha, que calcula de acordo com os dados de entrada fornecidos. Os dados obtidos pela planilha de cálculo estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Dimensionamento do elevador de canecas.

Dados de Entrada	Velocidade de Transporte (m/min)	25,00
	Capacidade de Trabalho (t/h)	1,80
	Densidade Aparente (ton/m ³)	2,00
	Capacidade Volumétrica (m ³ /h)	3,60
	Elevação (m)	4,00
	Raio da Polia (m)	0,20
Dimensões das Canecas	Comprimento (cm)	12,83
	Largura (cm)	6,41
	Altura (cm)	4,49
	Distância entre Canecas (cm)	30,34
	Potência Requerida (cv)	0,05
	Número de Canecas por metro	3,00
	Número Total de Canecas	27,77

Fonte: Autoria própria.

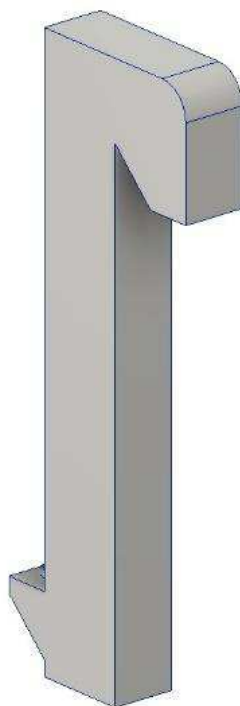
Com as dimensões das canecas e com o valor da altura da estrutura do elevador de canecas, foi realizado o desenho no Inventor. Na Figura 13 está o desenho conceitual da caneca, e na Figura 14 está o desenho conceitual do elevador de canecas.

Figura 13: Caneca do elevador feita no inventor.



Fonte: Autoria própria.

Figura 14: Parte externa do elevador de canecas



Fonte: Autoria própria.

4.2.4. Cálculo de Esforços

Na última semana de estágio, foi solicitado fazer uma análise de tensão na tremonha, a fim de determinar a espessura da chapa para a fabricação. Dessa forma, utilizando as equações contidas em “Silos Metálicos”, de Luís Miguel de Oliveira Leite, foi elaborada uma planilha de cálculos (Tabela 8) que, ao ser alimentada pelas constantes de entrada, realiza as equações necessárias.

Tabela 8: Dados utilizados na análise de esforços.

Material de construção	ASTM A36
Módulo de Elasticidade (E)	2,00E+08
Coefficiente de Poisson (ν)	0,3
Altura das Paredes Verticais	1,00
Altura da Tremonha	1,30
Lado da Secção Quadrática	2,00
Lado da Secção da Base da Tremonha	15,00
Coefficiente de Atrito	0,40
K	0,71
Área da Secção do Silo	4,00
Perímetro interno da Secção do Silo	8,00
Peso Volúmico do Material	20,00
Ângulo de Inclinação com a vertical w	0,61
Ângulo de repouso	0,42
Ângulo de Fricção Interna	0,52
Teoria de Walker (Parâmetro) Estático	149,6°
Sobrecarga Est. vertical na tremonha	0,44
Teoria de Walker (Parâmetro) Dinâmico	78,4°
$2e + 2w$	2,2067
Densidade do Calcário (kg/m ³)	2000
Densidade do Aço	7850
Volume da Tremonha (m ³)	1,6
Força causada pelo peso do material (kN)	123,21
Peso da própria tremonha (kN)	9,36
Ca	0,25

Coeficientes Dinâmicos	
n_i	0,5197
K2	0,3102
c	0,9821
K1	0,68
K3	1,9489
K	4,61
K4	0,3825

Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, foi calculada as pressões de enchimento e de esvaziamento nas paredes verticais e nas paredes da tremonha, pressões estáticas, pressões máximas e forças de projeto. Logo após, aplicou-se a teoria das pequenas deformações e a teoria das grandes deformações, para definir a espessura mínima para a chapa. Os cálculos foram feitos considerando a utilização de reforços. Calculada a espessura, fez-se a verificação de acordo com as solicitações da tremonha, para a validação da espessura calculada. As espessuras calculadas para as paredes verticais e para as paredes da tremonha são, respectivamente, 6 e 10 mm. Os resultados estão representados nas tabelas 9 e 10.

Tabela 9: Verificação da espessura da parede vertical.

Verificação	
Menor espessura (mm)	6
S (kN/mm)	116,76
Se	39.044,59
Inércia	18,00
Momento M	0,68
Tensão Máxima MPa	132,06
A espessura para a parede é suficiente	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 10: Verificação da espessura da parede da tremonha.

Verificação	
Menor espessura (mm)	10
S (kN/mm)	545,81
Se	903.809,93
Inércia	16,67
Momento M	1,06
Tensão Máxima MPa	118,21
A espessura para a parede é suficiente	

Fonte: Autoria própria.

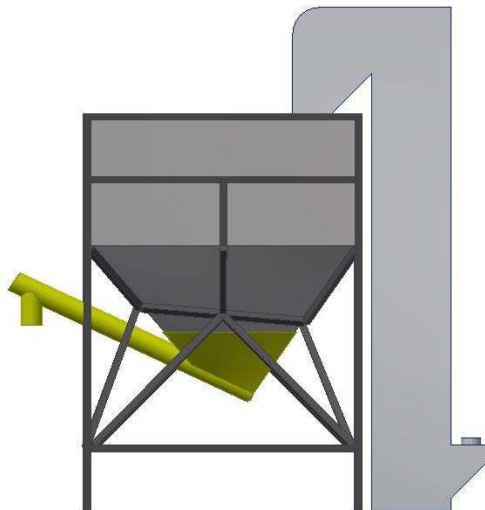
5 RESULTADOS ALCANÇADOS

Ao final do estágio pode-se ver que os resultados alcançados foram satisfatórios. As soluções escolhidas e as decisões tomadas mostraram-se adequadas para realizar o ensacamento do calcário. O projeto da ensacadeira, desenvolvendo cada subsistema, selecionando a melhor solução e realizando o dimensionamento atingiu as expectativas, sendo uma solução prática e aplicável.

Na Figura 15, está apresentado na imagem a montagem da ensacadeira, composta pela tremonha, pela rosca transportadora dentro do condutor, e o elevador de caneca desenhado no inventor. Na Figura 16, também feito no inventor, apresenta-se a montagem da ensacadeira em chão de fábrica, junto com outros componentes.

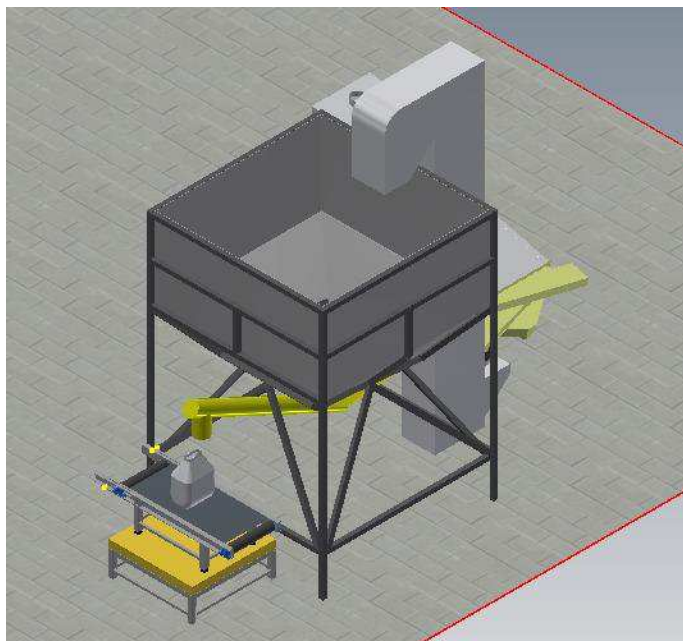
Com isso a empresa Suna Engenharia dará continuidade ao projeto, realizando o projeto detalhado e fabricação do equipamento. Algumas informações solicitadas à indústria ainda ficaram pendentes, como as dimensões do saco de calcário, para definir a altura da esteira que fará o transporte do saco para a máquina seladora, além de ser importante para a seleção dos fixadores que irão fixar o saco à saída do condutor da rosca alimentadora.

Figura 15: Montagem da Ensacadeira.



Fonte: Autoria própria.

Figura 16: Montagem da Ensacadeira junto a outros subsistemas.



Fonte: Autoria própria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O período de estágio na Suna Engenharia foi uma oportunidade única de adquirir experiência no campo da engenharia. As atividades realizadas durante o projeto me proporcionaram um conhecimento prático e a oportunidade de aplicar os conceitos teóricos aprendidos durante a formação acadêmica.

A integração entre teoria e prática foi um aspecto fundamental dessa experiência. Durante o estágio, realizei pesquisas detalhadas, consultei catálogos e analisei diferentes tipos de ensacadeiras. Essa abordagem permitiu-me compreender a importância de uma base teórica sólida para orientar as decisões de projeto e desenvolver soluções eficientes.

Por fim, o estágio proporcionou uma valiosa experiência prática, integração entre a teoria e a prática, superação de desafios e contribuição para a empresa.

REFERÊNCIAS

CONTINENTAL. **Screw Conveyor Catalogue and Engineering Manual**. Catálogo, 1966.

EUROCÓDIGO 1, Parte 4 - **Silos e reservatórios** (versão Setembro 2002). Disponível em: <<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.4.2006.pdf>>

GOMIDE, Reynaldo. **Operações Unitárias**: operações com sistemas sólidos granulares. v. 1. São Paulo: Edição do autor, 1980.

HARVER & BOECKER. **Soluções em Ensacamento, Paletização e Carregamento**. São Paulo: Harver Brasil, 2020. Disponível em: <https://haverbrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/11/paletizacao-3-1503497300.pdf>

LEITE, Luís Miguel de Oliveira. **Silos Metálicos**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2008. Disponível em <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57667/1/000129225.pdf>>

LIU, T. et al. **Design and Experiment of Substrate Grass Seed Blanket Extrusion Device**. Sustainability 2022, 14, 11046. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/14/17/11046/pdf>>

MAGNUM SYSTEMS. Electronic Impeller Packer Model IPV. Operation and Maintenance Manual. Parsons: Magnum Systems, 2019. Disponível em: <https://www.magnumsystems.com/wp-content/uploads/2019/06/Impeller-Packer-Manual-Revision-005.pdf>

MCGLINCHEY, D. **Bulk Solids Handling: equipment, selection and operation**. Blackwell Publishing, 2008.

Metalúrgica Gravino. **Ensacadeira por Rosca**. Disponível em: <https://www.metalurgicagravino.com.br/ensacadeira-rosca>. Acesso em: 13/05/2023.

SILVEIRA, Zilda de Castro. **Roscas Transportadoras**. 2019. Projeto Mecânico. Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4650271/mod_resource/content/0/Aula_Rosca_Transportadora_2019_Zilda.pdf. Acesso em: 20/04/2023.