



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

NATANAEL EXPEDITO DE CARVALHO MENDES

DIMENSIONAMENTO DE UMA PENEIRA APLICADA A INDÚSTRIA SALINEIRA

MOSSORÓ

2020

NATANAEL EXPEDITO DE CARVALHO MENDES

DIMENSIONAMENTO DE UMA PENEIRA APLICADA A INDÚSTRIA SALINEIRA

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Zoroastro Torres Vilar, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2020

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

Md Mendes, Natanael Expedito de Carvalho.
 DIMENSIONAMENTO DE UMA PENEIRA APLICADA A
 INDÚSTRIA SALINEIRA / Natanael Expedito de
 Carvalho Mendes. - 2020.
 45 f. : il.

 Orientador: Zoroastro Torres Vilar.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
 Mecânica, 2020.

 1. Sal. 2. Peneira Vibratória. 3. Sal Moído. 4.
 Peneiramento Industrial. I. Vilar, Zoroastro
 Torres, orient. II. Título.

BIBLIOTECÁRIO-DOCUMENTALISTA
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)

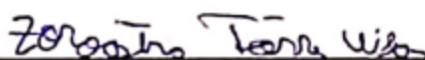
NATANAEL EXPEDITO DE CARVALHO MENDES

DIMENSIONAMENTO DE UMA PENEIRA APLICADA A INDÚSTRIA SALINEIRA

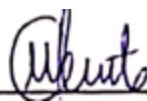
Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Defendida em: 07 / 02 / 2020.

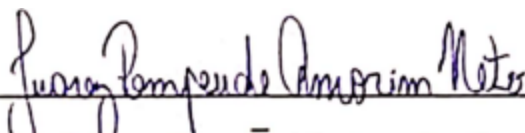
BANCA EXAMINADORA



Zoroastro Torres Vilar, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Fabrício Cavalcante Nóbrega, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Juarez Pompeu de Amorim Neto, Prof.
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por sua infinita bondade, permitindo-me concluir mais uma importante etapa de minha vida.

Agradeço aos meus pais João Batista Mendes Carvalho e Francisca Cleide de Carvalho por todo amor, apoio e motivação para que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço à minha companheira, Antônia Laisa Oliveira da Silva por ser o meu porto-seguro, por seus cuidados, por estar me apoiando desde o início e por ser uma das melhores pessoas que conheci na minha vida.

Agradeço ao meu irmão Manoel Lucas Mendes Neto por ter sempre me ajudado de várias formas, por sempre ter me motivado e por acreditar em mim.

Agradeço aos meus demais familiares e amigos.

Agradeço ao Prof. Dr. Zoroastro Torres Vilar por sua orientação, por seus ensinamentos e paciência.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes”

Isaac Newton

RESUMO

As peneiras vibratórias estão presentes em vários setores industriais, sendo uma das principais operações de uma linha de produção. A separação de elementos quanto a sua granulometria se faz essencial no processo de produção do sal, já que o mesmo é classificado segundo a sua granulometria. O sal é um dos principais ramos industriais do estado do Rio Grande do Norte, sendo este o maior produtor brasileiro de sal, e o Brasil ocupa a quinta colocação do ranking mundial. Neste trabalho foi definido o material da peneira bem como foi realizado o dimensionamento dos elementos estruturais da peneira, assim como a superfície de peneiramento, a velocidade de rotação e seleção dos acionamentos. De modo geral, o trabalho traz uma proposta de peneira aplicado ao setor salineiro para a produção de sal moído.

Palavras-chave: Sal. Peneira Vibratória. Sal Moído. Peneiramento Industrial.

ABSTRACT

Vibrating screens are present in several industrial sectors, being one of the main operations of a production line. The separation of elements in terms of their granulometry is essential in the salt production process, since it is classified according to its granulometry. Salt is one of the main industrial branches of the state of Rio Grande do Norte, which is the largest Brazilian salt producer, and Brazil occupies the fifth place in the world ranking. In this work, the sieve material was defined as well as the sizing of the structural elements of the sieve, as well as the sieving surface, the rotation speed and selection of the drives were carried out. In general, the work brings a proposal for a sieve applied to the salt sector for the production of ground salt.

Keywords: Salt. Vibrating Screen. Ground Salt. Industrial sieving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de produção do sal	16
Figura 2 – Ciclo de produção do sal.....	16
Figura 3 – Estocagem do sal	17
Figura 4 – Processo de beneficiamento.....	18
Figura 5 – Esquema básico de peneiramento.....	20
Figura 6 – Comportamento coletivo no peneiramento.....	21
Figura 7 – Comportamento individual das partículas.....	22
Figura 8 – Tipos de peneiras.....	23
Figura 9 – Exemplo de peneira vibratória.....	23
Figura 10 – Movimento da partícula na peneira horizontal.....	24
Figura 11 – Diagrama de corpo livre de uma viga qualquer.....	27
Figura 12 – Distribuição de esforços (a) cortante e (b) fletor.....	28
Figura 13 – Tabela com fatores de segurança.....	29
Figura 14 – Componentes da caixa da peneira.....	29
Figura 15 – Atuação do peso do sal na tela da peneira.....	33
Figura 16 – Reações nas longarinas e cantoneiras.....	33
Figura 17 – Esforços ao longo da longarina.....	33
Figura 18 – Diagramas de (a) esforço cortante e (b) momento fletor na longarina.....	34
Figura 19 – Reações no tubo de sustentação.....	35
Figura 20 – Diagramas de esforço cortante e momento fletor no tubo de sustentação.....	35
Figura 21 – Simulação da carga crítica na estrutura da peneira.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características da malha selecionada.....	31
Tabela 2 – Características de alimentação da peneira.....	31
Tabela 3 – Fatores de correção k_i	31
Tabela 4 – Força dinâmica exercida pelo sal.....	32
Tabela 5 – Massa dos elementos dimensionados.....	37

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	13
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Gerais	14
2.2 Específicos	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 O sal	15
3.2 O Processo produtivo	15
3.3 A produção de sal e o Rio Grande do Norte	18
3.4 Classificação do sal.....	19
3.5 O peneiramento	19
3.6 Equipamentos de peneiramento	22
3.7 Movimento Vibratório	24
4 METODOLOGIA.....	24
4.1 Dimensionamento da superfície de peneiramento	24
4.2 Fundamentos do projeto.....	26
4.2 Fator de Segurança.....	28
4.3 Elementos da peneira	29
5 RESULTADOS	31
5.1 Superfície de peneiramento.....	31
5.2 Esforços e dimensionamentos dos elementos estruturais	32
5.3 A escolha do motovibrador	38
6 CONCLUSÕES	40
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXOS	43

1 INTRODUÇÃO

O sal trata-se de um elemento indispensável para os animais (DINIZ, 2013). A presença desse se dá não apenas na vasta lista de alimentos, bem como em outros setores industriais, como o de detergentes em pó e na indústria têxtil. O Brasil, no ano de 2017, ocupava a quinta colocação entre os países que mais produziam sal no mundo. No país, há produção de sal nos estados da Bahia, Rio de Janeiro, Ceará, Maranhão, Sergipe e no Rio Grande do Norte, sendo o RN responsável por cerca de 95% de toda a produção de sal brasileira (Maia, 2017). A grande quantidade de ventos, temperatura da água e a chuva escassa fortalecem o estado potiguar para a produção do sal. O estado possui cerca de 35 salinas em atividade.

No ano de 2019, o sal representou 6,2% de toda a exportação do município de Mossoró, com o valor de exportação de US\$ 6,58 mi, superando os valores do ano anterior em 56% (Ministério da Economia, 2020). O setor salineiro além de possuir sua colaboração significativa na economia do estado do Rio Grande do Norte também gera mais de 70 mil empregos diretos ou indiretos (NICÁCIO, 2017).

Há duas indústrias relacionadas à produção do sal como ele é popularmente conhecido e utilizado. A salina é a primeira delas, sendo responsável pelo bombeamento da água do mar, colocar em cristalizadores, conhecidos como baldes, realizar a extração dos cristais de cloreto de sódio e realizar a lavagem para que diminua a quantidade de magnésio. A segunda, trata-se do beneficiamento do sal, essa é responsável por moer, refinar, secar e classificar o sal. Em seguida do beneficiamento há o transporte e distribuição para vários setores.

Assim como outros produtos a granel o sal pode ser classificado de acordo com a sua granulometria. O Decreto N° 75.697 apresenta as dimensões em que cada tipo deve se enquadrar. Essa classificação é realizada em uma das etapas principais da moagem e refino de sal, o peneiramento. Nesta etapa o produto irá ser classificado de acordo com o que delimita o decreto citado.

O peneiramento ocorre por meio de um equipamento, denominado peneira que possui uma superfície que serve de gabarito para poder realizar a seleção dos produtos, havendo apenas duas classes do produto, o retido que se trata dos grãos que não passar pela tela e os passantes, que passam pelo gabarito. Para que aja um peneiramento adequado deve-se projetar

uma máquina que relaciona características do produto e a quantidade de produto a ser separada.

1.1 Justificativa

O beneficiamento do sal no estado do Rio Grande do Norte vem crescendo a cada ano, gerando emprego para milhares de pessoas de forma direta ou indireta. Por ser o estado do Brasil responsável pela maior parcela da produção desse elemento, faz-se necessário que pesquisadores e instituições voltem seus olhares para avançar a tecnologia nesse setor. Muitas máquinas que hoje estão no setor são adaptadas de outros setores, dessa forma é interessante que seja realizada uma pesquisa a fim de propor uma máquina projetada para refinarias. O presente trabalho propõe trazer um dimensionamento de uma peneira vibratória para a separação do sal moído, um dos tipos de sal mais comercializados.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

O objetivo geral do trabalho é dimensionar uma peneira vibratória para a classificação do sal moído.

2.2 Específicos

- a) Dimensionar a superfície de peneiramento, amplitude de peneiramento, inclinação da peneira, frequência do peneiramento;
- b) Dimensionar os elementos da peneira, longarinas, tubos de sustentação, caixa vibrante;
- c) Especificar o motovibrador adequado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O sal

O sal trata-se de um elemento indispensável para os animais (DINIZ, 2013). O Cloreto de Sódio (NaCl) está presente em diversas partes do mundo, é uma das substâncias mais abundantes na natureza (MEDEIROS JR., 2011). Os seres humanos estão rodeados por produtos que utilizam o sal em sua composição, tais como a indústria alimentícia, a têxtil, a de produtos de limpeza e higiene, como o detergente em pó. O próprio corpo humano possui uma quantidade de sal que saem dele por algumas formas como na lágrima, no suor e na urina, daí vem a necessidade do ser humano consumir esse elemento. Segundo Medeiros Jr. (2011), através de informações fornecidas pela indústria salineira Norsal, o sal oferece mais de 14.000 aplicações em diversas formas, sendo a indústria química a maior responsável pela utilização.

É um produto que está presente na sociedade há muito tempo, no Brasil na época em que os portugueses chegaram os mesmos ainda não possuíam conhecimento da riqueza do mineral no país e todo o sal por eles consumido era trazido de diversas partes do mundo. Ao explorarem o território litoral brasileiro, na região do Rio Grande do Norte, observou-se que havia baldes naturais que surgiam do acúmulo de água marinha, que quando havia a evaporação da mesma restava o sal. Desde então foi iniciado o processo de produção de sal marinho no RN (GALVÃO, 2016).

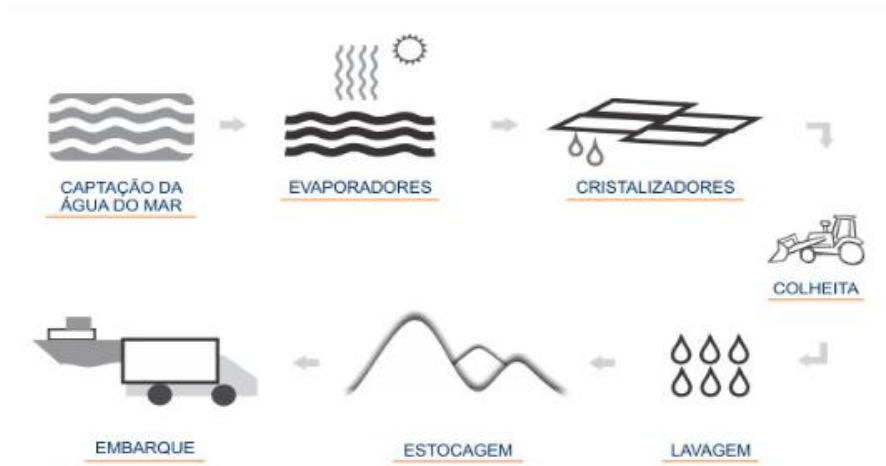
3.2 O Processo produtivo

3.2.1 Salina

O ciclo de produção do sal marinho leva cerca de oito meses para se completar, o processo é influenciado pelo clima, deve ser programado de acordo com o período de seca e chuvas da região (HENRIQUELAGE, 2020). O processo de produção do sal marinho é baseada no princípio de evaporação natural da água, onde o que resta são as “impurezas” contidas na água, sendo uma delas o sal. Há também o método de evaporação por combustão, onde há uma evaporação forçada da água

O processo de produção do NaCl, representado na Figura 1, é iniciado com a captação da água marinha para dentro de extensos tanques, nomeados de evaporadores através de bombeamento.

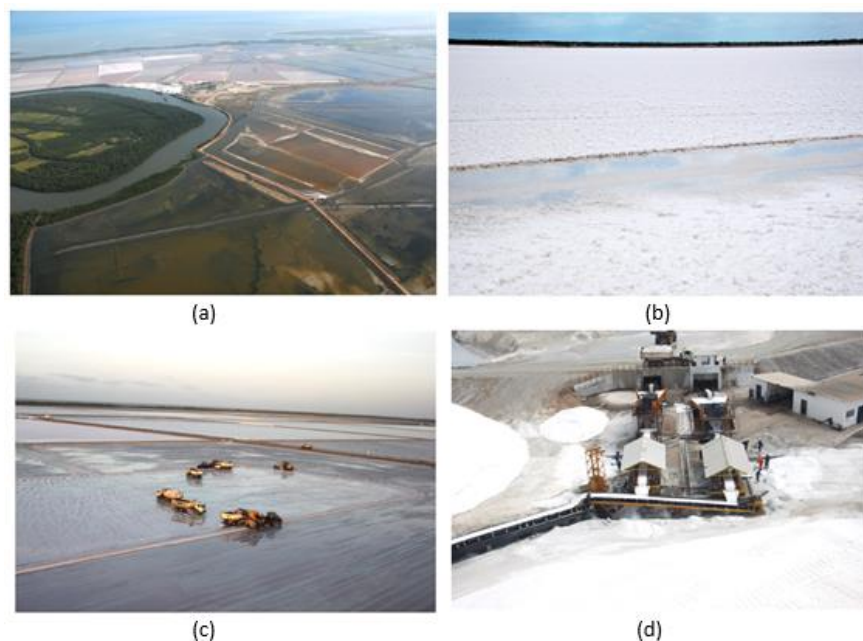
Figura 1: Fluxograma de produção do sal



Fonte: HENRIQUE LAGE, 2020.

A água fica exposta ao sol e ao vento para que ocorra gradativamente o processo de evaporação natural como pode ser observado na Figura 2(a), as águas chegam aos tanques com uma salinidade entre 3,5 e 4° Baumé, que sob ações meteorológicas favoráveis podem chegar a 23° Baumé. Alguns destes tanques existentes no RN podem chegar a 2 km² (DINIZ, 2013).

Figura 2: Ciclo de produção do sal.



Fonte: Adaptado - HENRIQUE LAGE, 2020.

Em seguida, a salmora é transferida para tanques menores, Figura 2(b), agora os de cristalização, onde irá ocorrer a precipitação do sal, que deve ocorrer até atingir uma salinidade de aproximadamente 29° Baumé, acima disso o sal iria sofrer perdas. Em aproximadamente um período de três meses a camada do sal precipitado chega medir uma altura de 18 cm, segundo informações adquiridas no site da Henrique Lage (2020), a água então é drenada e a colheita pode se iniciar, como é mostrado na Figura 2(c). O processo final antes do sal ser armazenado e posteriormente transportado, há a necessidade de realizar uma limpeza no sal, a sua lavagem, como pode ser visto na Figura 2(d).

Por fim o sal é empilhado por um empilhador de correias, de modo que fique exposto ao sol e vento afim de que esses elementos naturais o auxiliem na secagem, baixando a sua umidade. A tradicional pilha de sal pode ser observada na Figura 3 a seguir.

Figura 3: Estocagem do sal



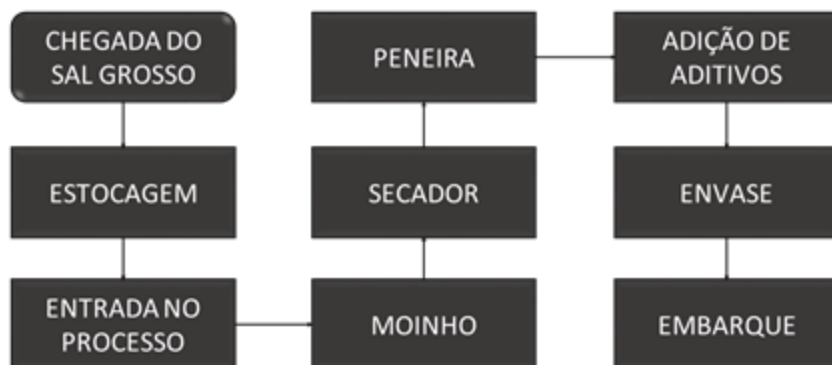
Fonte: HENRIQUE LAGE, 2020

3.2.2 Beneficiamento

Após o processo de estocagem há o transporte para as refinarias de beneficiamento do sal. A Figura 4, a seguir, ilustra a sequência do processo de moagem do sal. Inicialmente, há o recebimento e triagem da matéria-prima, o sal grosso. Em seguida o sal deve ser estocado, afim de diminuir a sua umidade e ter o sal de reserva para ser beneficiado a qualquer instante. Seguindo o fluxograma, há a entrada no processo que é realizada por uma pá mecanizada e

operada por uma pessoa. Em seguida haverá então a moagem, onde o sal grosso será triturado a grãos bem pequenos, que se aproximam aos do especificado.

Figura 4: Processo de beneficiamento



Fonte: Autoria Própria, 2020.

Ainda na sequência do fluxograma, há o momento da secagem onde ocorre a torra do sal, deixando-o seco da maneira que ele é comercializado para consumo humano e industrial. O peneiramento vem em seguida afim de classificar o sal por granulometria é aí onde o sal é classificado como moído, refinado, granulado ou de churrasco. Em seguida ocorre a adição de aditivos (Iodato de Potássio e Ferrocianeto de Sódio), o sal é então embalado e levado para o setor de embarque.

3.3 A produção de sal e o Rio Grande do Norte

O Brasil é o quinto maior produtor de sal do mundo. No país, há produção de sal em alguns estados, são eles: Rio de Janeiro, Ceará, Maranhão, Sergipe, Bahia e Rio Grande do Norte. Sendo o RN o maior produtor de sal brasileiro, responsável por cerca de 95% do sal produzido no Brasil. Mais de 500 mil toneladas de sal saem do estado com destino a vários países ao redor do mundo (Maia, 2017).

De acordo com Nicácio (2017), através de dados fornecidos pelo Sindicato das Indústrias de Extração de Sal do Estado, o setor salineiro gera mais de 70 mil empregos, diretos ou indiretos. Cerca de 80 a 85% do sal produzido no estado tem destino no próprio país, de um total de 6 milhões de toneladas.

Segundo dados do Sebrae (2019) o sal marinho é o 3º produto mais exportado do RN, mostrando um crescimento do ano de 2018 (383 mil toneladas) para 561,8 mil toneladas o ano de 2019, o que equivale a US\$ 12 milhões.

3.4 Classificação do sal

A classificação do sal é definida pelo Decreto N° 75.697, de 6 de Maio de 1975, esse aprova os padrões de identidade e qualidade do sal destinado ao consumo humano. Segundo ele, o sal pode ser classificado quanto a sua composição entre:

- Sal comum: Sal tipo I e Sal tipo II;
- Sal refinado: Sal refinado extra, Sal refinado e Sal refinado, úmido.

O parágrafo único deste documento define que o sal comum será classificado em quatro tipos de acordo com as suas características granulométricas em:

- Sal grosso;
- Sal peneirado;
- Sal triturado;
- Sal moído.

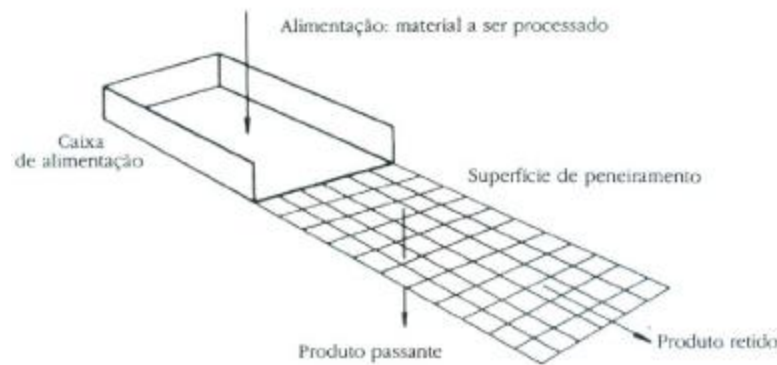
No Art 5°, item IV, indica que o sal moído deverá ter retenção máxima de 5% na peneira n° 18, com 1 mm de abertura.

3.5 O peneiramento

O peneiramento trata-se de uma operação de classificação de uma população quanto a sua granulometria, por meio de uma superfície com aberturas pré-determinadas, de forma que há apenas duas possibilidades para as partículas a de passar e a de ficar retida (Iizuka, 2006). Esses produtos separados são nomeados de retido (ou *oversize*) o que não passa pelo gabarito e passante (ou *undersize*) aquele que consegue passar. A superfície de peneiramento, a malha, pode ser quadradas ou retangulares, de arame de aço, poliuretano ou borracha (BOAVENTURA, 2015).

O material a ser peneirado possui várias dimensões, na indústria de minério podem haver partículas de 0,130 mm a partículas superiores a 2000 mm, de acordo com o que relata Iizuka (2006). A Figura 5, a seguir, mostra o esquema básico de peneiramento, onde o material entra na tela por meio de uma caixa de alimentação, onde tem sua velocidade vertical diminuída e deve se espalhar por toda a superfície de peneiramento, para que se aproveite ao máximo o espaço de peneiramento.

Figura 5: Esquema básico de peneiramento.



Fonte: Iizuka (2006)

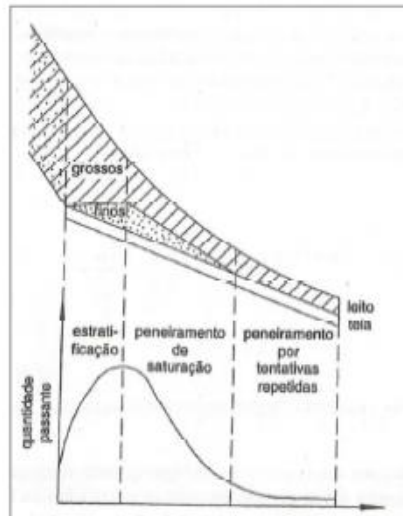
Devido a vibração forçada o material a ser peneirado tende a desenvolver uma camada fluidizada, onde ocorre a estratificação. Chaves e Peres (2003) recomenda analisar o comportamento individual e o coletivo das partículas. O comportamento coletivo das partículas devem ocorrer três ações independentes exercidas pela peneira.

- a) O transporte do material peneirado;
- b) A estratificação do material peneirado;
- c) O peneiramento propriamente dito.

3.5.1 Comportamento coletivo

A estratificação é o processo de que de acordo com o movimento vibratório, as partículas menores tendem a passar por espaços que ficam entre as partículas maiores, formando uma camada inferior de *undersize* e uma camada superior de *oversize*. Esse comportamento é ilustrado por Chaves e Peres (2009), na Figura 6, abaixo.

Figura 6: Comportamento coletivo no peneiramento



Fonte: Chaves e Peres, 2009.

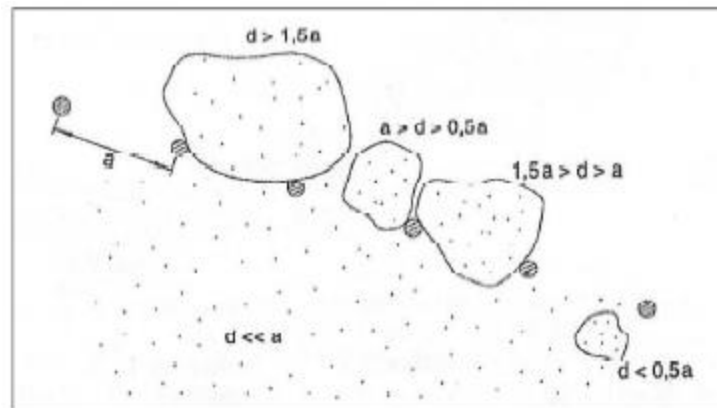
Na Figura 6 também é ilustrado as três etapas do peneiramento, a primeira já descrita aqui que é a estratificação, a segunda é o peneiramento de saturação onde o material já se encontra estratificado, a quantidade de passantes diminui gradativamente. Por fim, a etapa de peneiramento por tentativas repetidas, as partículas atingem a superfície de peneiramento por diversas vezes até conseguir passar, há aqui uma baixa probabilidade de passagem.

Devido a terceira etapa a tela deveria ter um comprimento bastante grande para que houvesse 100% de separação, valores entre 90 e 95% já são aceitáveis. Seguindo esse raciocínio, quanto mais extensa for a peneira, maior a sua eficiência e quanto maior a sua largura, maior será sua capacidade de produção (Iizuka, 2006).

3.5.2 Comportamento individual

O comportamento individual está diretamente ligado a relação entre o tamanho da partícula com um diâmetro (d) e a abertura da malha (a). A Figura 7 abaixo mostra as possibilidades que podem ocorrer, de acordo com o tamanho da partícula.

Figura 7: Comportamento individual das partículas

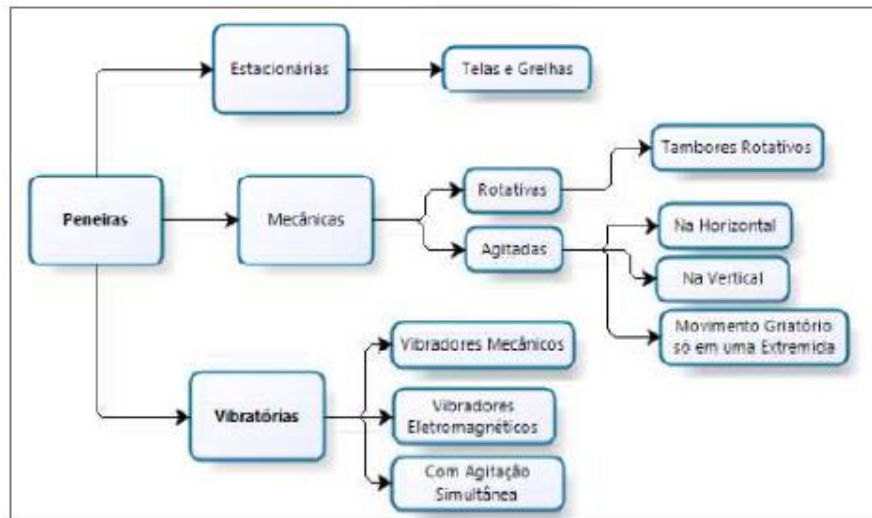


Fonte: Chaves e Peres, 2009.

- $d > 1,5 a$: Não há problemas com esse tipo de partícula, elas simplesmente escoam para o *oversize*. O único problema é a possível danificação da tela dependendo do peso dessa partícula.
- $1,5 a > d > a$: O tamanho dessa partícula é parecido com o tamanho da malha, levando essa partículas a tentar várias vezes passar pela malha e ao tentar passar poderá ficar na abertura da malha, necessitando de um auxílio externo para sair de lá.
- $a > d > 0,5 a$: Essa partícula traz uma diminuição do rendimento da peneira, tendo em vista que que necessitam de várias tentativas para poderem passar pela peneira, essa faixa de tamanho é chamada de crítica.
- $d < 0,5 a$: Assim como primeira, essa partícula não acarreta problemas ao processo, só que elas são diretamente encaminhadas para o *undersize*.
- $d \ll a$: Apesar de parecer que são as partículas que não apresentariam problemas, essa faixa costuma se agregar as partículas maiores o que inviabiliza o peneiramento delas, passando diretamente, algumas vezes para o retido.

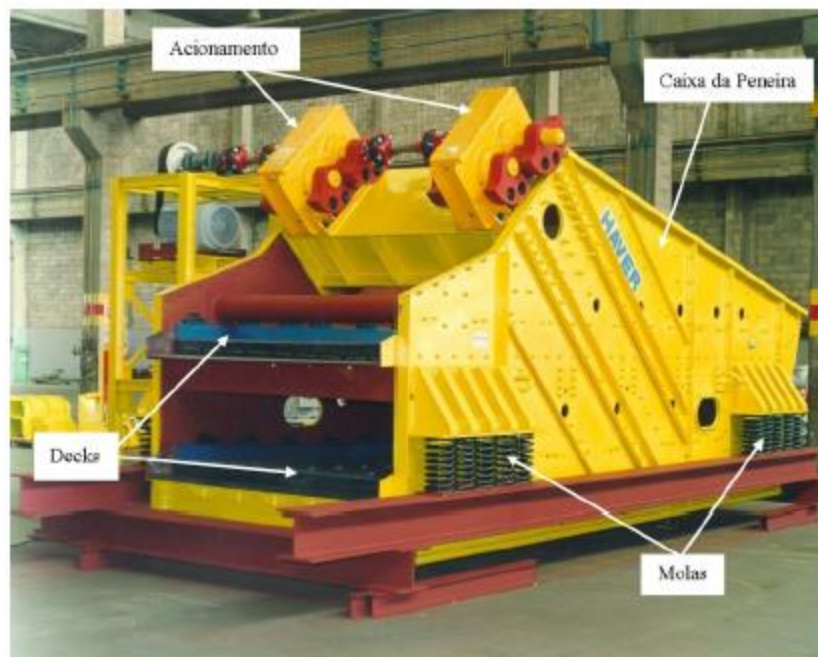
3.6 Equipamentos de peneiramento

São diversos os equipamentos que podem realizar o peneiramento, na Figura 7 podem ser classificadas

Figura 8: Tipos de peneiras

Fonte: BOAVENTURA, 2015.

O foco desse trabalho se dá na terceira família de peneiras mostradas na imagem anterior, as vibratórias, mais especificamente as de vibradores mecânicos. As peneiras vibratórias são compostas basicamente pela caixa vibrante, que é uma estrutura robusta, apoiadas sobre molas e que possuem um sistema de vibração. A Figura 9 mostra um exemplo de peneira e seus principais componentes.

Figura 9: Exemplo de peneira vibratória

Fonte: Iizuka, 2006.

3.7 Movimento Vibratório

Esse movimento é realizado por meio dos motovibradores, que são motores que giram a uma certa rotação, que na extremidade do eixo, possuem massas desbalanceadas que causam o movimento vibratório. Para esse tipo de peneiramento há dois tipos de movimentos: circular (peneiras inclinadas ou peneiras circulares) ou com movimento linear (peneiras horizontais ou lineares) (Iizuka, 2006). As peneiras horizontais, o movimento dos motovibradores possui a capacidade de transportar o material sem o auxílio da gravidade. A força age na direção a 45° da superfície de peneiramento. A Figura 10, abaixo ilustra o movimento da partícula.

Figura 10: Movimento da partícula na peneira horizontal



Fonte: Faço, 2004.

4 METODOLOGIA

O dimensionamento da peneira bem como os seus componentes foram realizado baseando-se no trabalho de Luz e Carvalho (2005) e nos livros de Hibbler (2009) e Norton (2004). Inicialmente foi realizado o dimensionamento da superfície de peneiramento, onde foi nortado o tamanho da peneira, para posteriormente ser realizado um estudo quando as cargas que atuam na peneira sendo elas dinâmicas e estáticas. Em seguida foram dimensionados as longarinas e cantoneiras, posteriormente os tubos de sustentação e os perfis que compõe a caixa vibrante, por fim, foi selecionado o motovibrador adequado para o sistema e por fim dimensionadas as molas.

4.1 Dimensionamento da superfície de peneiramento

Essa etapa do trabalho foi baseada no trabalho de Luz e Carvalho (2005), onde é apresentado o dimensionamento clássico de peneiras vibratórias. Segundo eles, a grande maioria das metodologias para dimensionamento das superfícies de peneiramento são variantes do método Allis-Chalmers, que é visto a seguir. Que em seu uso generalizado foi obtido através de uma análise criteriosa de valores tabelados em manuais de dimensionamento de peneiras. A Equação 1 representa o método clássico:

$$S = \frac{\frac{Q_a}{\rho_{ap}} \times F_p}{Q_{bas} \times \prod k_i} \quad (1)$$

Onde:

Q_a (t/h): Vazão mássica de alimentação;

F_p (-): Fator de projeto;

Q_{bas} ((m³/h)/m²): Capacidade específica do peneiramento;

$\prod k_i$ (-): Fator de correção;

ρ_{ap} (t/m³): Massa específica aparente do material.

A capacidade básica de peneiramento é função da abertura da malha, em milímetros, e dada por:

$$Q_{bas} = 0,36423 \times \sqrt{a^2 + 251,28 \times a} \quad (2)$$

O fator de correção ($\prod k_i$), é produto de oito fatores, que serão mostrados a seguir, juntamente com as suas respectivas equações. O primeiro fator se trata de um fator de correção em função do fator m (fator estatístico relacionado com o tamanho das partículas), em milímetros e é dado pela Equação 3.

$$k_1 = \sqrt{4,815 \times \frac{m^2}{1000} + 0,193} \quad (3)$$

O segundo fator possui relação com a fração retida, é nomeado de “fator de grossos”, K_2 . Na Equação 4, o item s é um outro fator estatístico que está relacionado com a parcela de grossos do material.

$$k_2 = -2,72 \times (1 - e^{(-0,08 \times (90,1 - s))}) + 3,7 \quad (4)$$

O fator K_3 é o fator relacionado com o formato do tipo de abertura da malha, adota-se valores 1 para a malha quadrada e 0,8 para malhas redondas. Para o caso de malhas com abertura retangular o fator é definido pela equação 5, a seguir, onde k_d é a razão entre as dimensões da abertura da malha.

$$k_3 = 0,274 \times (1 - e^{(-0,738 \times (k_d - 1))}) + 1 \quad (5)$$

O formato da partícula influencia a área de peneiramento através do fator k_4 , onde para partículas cúbicas, tem-se 1 e para partículas lamelares, 0,9. O fator k_5 é o fator de eficiência da abertura da malha, sendo igual a 1 para peneiramento a seco ou dado pela Equação 6 para o peneiramento úmido.

$$k_5 = -0,04x\sqrt{a-3,37} + 1,407 \quad (6)$$

O fator de umidade, k_6 possui valor de 1, para umidade abaixo de 3%, valor igual a 0,85 para umidade que varia entre 3 e 6% e 0,75 para umidade na faixa de 6 a 9%. O fator da área efetiva, k_7 , é calculado em função do *deck*.

- $K_7=0,9$ – Primeiro *deck*;
- $K_7=0,8$ – Segundo *deck*;
- $K_7=0,7$ – Terceiro *deck*;

Por fim, o fator k_8 é o fator da área aberta, que é função da abertura da malha e dado pela Equação 7.

$$k_8 = \frac{34x(1 - e^{(-0,05x(a-1,9))}) + 40}{50} \quad (7)$$

O trabalho de Luz e Carvalho também propõe equações para a inclinação da peneira e também para a velocidade angular. A seguir as equações da inclinação e rotação, respectivamente, possuem influência da abertura da malha. A Equação 10 mostra a relação entre a abertura da peneira a (mm) e a amplitude de vibração A (mm), essa equação é proposta por Teixeira e Galery (2013).

$$\alpha = 4,82x\ln(a) - 2,4 \quad (8)$$

$$N = 1695,4x(a)^{-0,1651} \quad (9)$$

$$A = 1,1243xa^{0,3646} \quad (10)$$

As equações acima servem para nortear o projetista quanto a inclinação e rotação, já que esses são parâmetros de escolha do projetista (Luz e Carvalho, 2005).

4.2 Fundamentos do projeto

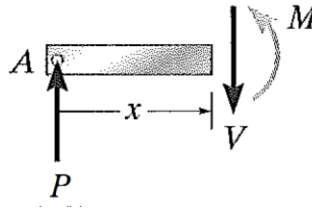
Nessa etapa, será discutido sobre a tensão de cisalhamento e flexão, que são os principais esforços sofridos em estruturas metálicas sob ação de uma força normal. O projeto da máquina deverá satisfazer aos requisitos de separação, mas também deve suportar as solicitações a qual a máquina está sujeita. Através do estudo desses esforços, é função do engenheiro dimensionar os componentes a fim de que o equipamento funcione e de maneira segura.

Segundo Boaventura (2015), o projeto mecânico que funcione de maneira eficiente deve ter uma interação entre três variáveis importantes, as solicitações, material e geometria. Quando há a informação sobre elas, ou alguma delas, as outras podem ser manipuladas de forma a resultar em um projeto mecânico de qualidade.

4.2.1 Esforços

Para uma viga apoiada com forças ou momentos atuando sobre ela, o diagrama de corpo livre pode ser representado de acordo com a Figura 10.

Figura 11: Diagrama de corpo livre de uma viga qualquer



Fonte: HIBBELER, 2010.

Há dois esforços principais que ocorrem na viga solicitada, a Flexão que é causada por uma tensão normal (σ) resultante do momento aplicado M e a tensão de cisalhamento (τ) que é influenciada pelo esforço cortante V .

A tensão a ser usada para o projeto das vigas é a tensão admissível tanto de flexão quanto de cisalhamento. A tensão admissível é um parcela da tensão de escoamento do material. Essas tensões podem ser encontradas através de ensaios mecânicos, entretanto, quando não há a possibilidade de realizar os ensaios, segundo Critério de Escoamento de Tresca, onde é afirmado que os materiais dúcteis falham por cisalhamento (HIBBELER, 2010). A tensão máxima de cisalhamento deve ser metade da tensão de escoamento descoberto através de um ensaio simples de tração.

$$\tau = \frac{\sigma_{máx}}{2} \quad (11)$$

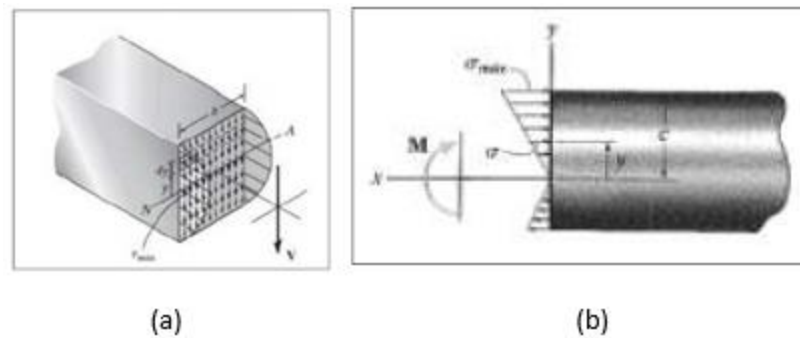
Sabe-se que a tensão de cisalhamento não possui uma uniformidade por toda a seção da viga, ela varia de acordo com a geometria do elemento solicitado. A Equação 12 mostra como é calculada a tensão de cisalhamento em uma seção qualquer. A tensão normal causada por momento fletor possui uma distribuição linear que está relacionada com a inércia da seção e com a distância entre a linha neutra e o ponto de análise, é representada pela Equação 13.

$$\tau = \frac{QxV}{Ixt} \quad (12)$$

$$\sigma = \frac{Mxc}{I} \quad (13)$$

A distribuição de ambos os esforços na seção em ambos os casos é mostrada a seguir na Figura 11.

Figura 12: Distribuição de esforços (a) cortante e (b) fletor.



Fonte: HIBBELER, 2010.

4.1 Fator de Segurança

Todo material pode apresentar falhas em sua fabricação e composição, sabendo disso, é necessário que o projetista se atente a escolher um fator que previna eventuais falhas no projeto. Geralmente o coeficiente de segurança é a razão entre duas grandezas de mesma unidade, dessa forma ele é adimensional.

Quando um elemento está sujeito a falhar por mais de uma forma distinta, pode haver mais de um coeficiente de segurança N . Sendo o menor valor entre eles será o mais importante, já que ele prevê a falha mais provável de acontecer. Se o coeficiente de segurança for igual a 1, tem-se que a carga aplicada é igual a carga que irá causar a falha, consequentemente, a falha ocorre. Por esse motivo o interessante é que $N > 1$.

Quanto maior o coeficiente de segurança, menos propício a falha irá está o elemento projetado, em contra partida, o elemento vai estar muito superdimensionado elevando custos e aumentando muito a massa do elemento, inviabilizando certas aplicações.

A Figura 13 abaixo, retirada do livro projeto de máquinas de Norton (2013), pode-se determinar um coeficiente de segurança contendo algumas informações acerca do material usado na construção da máquina. As informações que o projetista deve saber é se as propriedades usadas foram obtidas através de testes, quais as condições ambientais nas quais o elemento irá operar e sobre os modelos analíticos de forças e tensões.

Figura 13: Tabela com fatores de segurança

Fatores utilizados para determinar um coeficiente de segurança para materiais dúcteis		
Informações	Qualidade das informações	Fator
Dados das propriedades dos materiais disponíveis a partir de testes	O material realmente utilizado foi testado	<i>F1</i> 1,3
	Dados representativos de testes do material estão disponíveis	2
	Dados razoavelmente representativos de testes do material estão disponíveis	3
	Dados insuficientemente representativos de testes do material estão disponíveis	5+
Condições ambientais nos quais será utilizado	São idênticas às condições dos testes de materiais	<i>F2</i> 1,3
	Essencialmente igual ao ambiente de um laboratório comum	2
	Ambiente moderadamente desafiador	3
	Ambiente extremamente desafiador	5+
Modelos analíticos para forças e tensões	Os modelos foram testados em experimentos	<i>F3</i> 1,3
	Os modelos representam precisamente o sistema	2
	Os modelos representam aproximadamente o sistema	3
	Os modelos são aproximações grosseiras	5+

Fonte: Norton, 2013.

Norton recomenda que para materiais dúcteis o coeficiente de segurança seja dado pela Equação 14, a seguir. Onde $N_{dúctil}$ será o maior coeficiente das três informações analisadas. Para materiais frágeis, o coeficiente de segurança será o dobro do coeficiente máximo das três informações, o que apresenta a Equação 15.

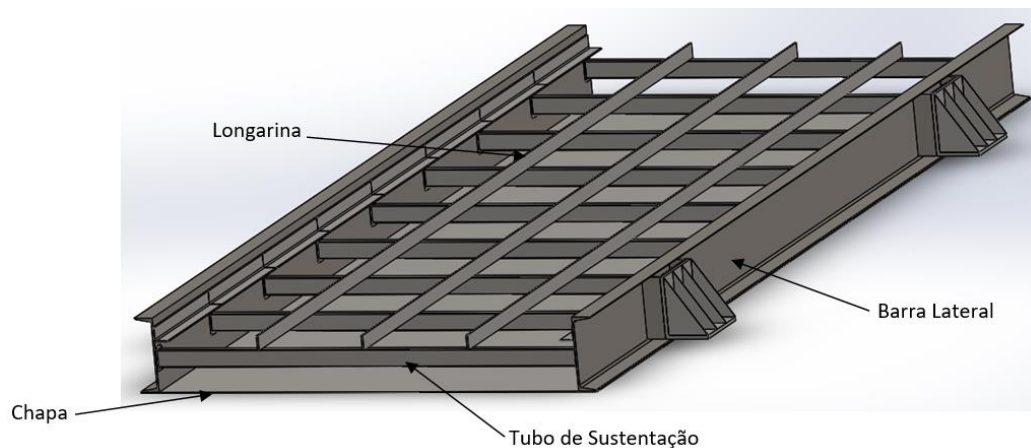
$$N_{dúctil} = \text{MAX}(F1, F2, F3) \quad (14)$$

$$N_{frágil} = \text{MAX}(F1, F2, F3) \quad (15)$$

Norton alerta que esse método para determinar o coeficiente de segurança, trata-se apenas de um ponto de partida para o projetista, é de responsabilidade deste a garantia de que o projeto é seguro. Em algumas circunstâncias um coeficiente maior do que qualquer um da Figura 13 é apropriado.

4.2 Elementos da peneira

Aqui serão mostrados os elementos da peneira que foram dimensionados e a forma construtiva da peneira.

Figura 14: Componentes da caixa da peneira

Fonte: Autoria Própria, 2020.

As longarinas são barras longitudinais que possuem a função de sustentar a tela de peneiramento, é recomendado que nestas sejam utilizadas borrachas de proteção para evitar o contato metal-metal, que acarreta o rompimento a tela. A barra lateral juntamente com a chapa inferior forma a caixa vibrante, o perfil lateral irá sustentar os tubos e a cantoneira, já a chapa inferior é a superfície por onde o passante vai ser transportado até o seu destino. Os tubos de sustentação possuem a função de manter o equilíbrio e a rigidez da caixa vibrante, além de sustentar as longarinas.

Como a caixa está diretamente em contato com o sal, é necessário que se utilize um material próprio para o setor alimentício, o aço inoxidável apresenta boas propriedades mecânicas e possui a vantagem de ser resistente à corrosão, dessa forma, será escolhido para ser o material que irá compor as longarinas, a tela, as cantoneiras e os tubos de sustentação. Já as barras laterais que basicamente não entra em contato com o alimento será adquirida em aço ASTM-A36. A união entre todos citados será por meio de fixação de parafusos, por haver a possibilidade de desmontagem e por facilitar a substituição desses componentes.

4.2.1 Análise dos esforços dos elementos estruturais

As solicitações que a estrutura irá receber são dois tipos, os esforços dinâmicos e estáticos. A peneira, quando em funcionamento este vibrando continuamente, mas para que se analise os esforços, será imaginado que a peneira está estática e que a carga de sal que está se movendo/vibrando sobre ela, logo, o esforço dinâmico estará relacionado com a amplitude de movimento, a frequência de funcionamento, a capacidade de alimentação, a quantidade de passantes e com a massa específica do material. Pode ser vista na Equação 16.

$$F_{Din} = A_v \times f \times Q_a \times n \times \rho_{ap} \quad (16)$$

Onde:

F_{Din} (N): Força dinâmica;

A_v (mm): Amplitude vertical;

f (hz): Frequência de rotação;

Q_a (m³/h): Capacidade de alimentação;

n (-): Porcentagem do material, passante ou retido;

ρ_{ap} (t/m³): Massa específica aparente.

O esforço estático irá simular um caso que ocorre com frequência no setor salineira, que é o entupimento do sistema, ou seja, por algum motivo a máquina que receberia o sal da peneira parou de funcionar e a peneira acumula uma quantidade de sal na sua tela, já que o mesmo não tem por onde sair. O acúmulo do material possui aproximadamente o formato da peneira, retangular, com uma espessura que varia de acordo com que o operador percebe.

Dessa forma, o acúmulo de material está relacionado com a massa específica do sal, a dimensão da peneira e com a altura da camada acumulada, pode ser escrita na forma da Equação 17.

$$P_{\text{acumulado}} = S \times \rho_{\text{ap}} \times g \times H_{\text{sal}} \quad (17)$$

Onde:

$P_{\text{acumulado}}$ (N): O peso do sal acumulado;

S (m²): Área de peneiramento;

ρ_{ap} (t/m³): Massa específica aparente;

g (m/s²): Aceleração gravitacional;

H_{sal} (m): Espessura da camada de sal acumulado.

5 RESULTADOS

5.1 Superfície de peneiramento

De acordo com o que é determinado como padrão de qualidade do sal, o sal moído deve possuir uma retenção máxima de 5% na peneira nº 18, com abertura de 1mm, como visto na seção 3.4. Foi então selecionada uma tela de aço inoxidável AISI 304, da Steel Mesh as características da mesma estão apresentadas na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1: Características da malha selecionada.

Especificações Técnicas			
Malha	Ø do Arame (mm)	Abertura da Malha (mm)	Área Aberta (%)
18	0,4	1,01	51

Fonte: Adaptado - Steel Mesh, 2020.

Com as características da malha em mãos é possível dimensionar a área de peneiramento. As informações de partida para o dimensionamento estão listadas abaixo na Tabela 2.

Tabela 2: Características de alimentação da peneira.

Q_a (t/h)	15
F_p (-)	1,5
ρ_{ap} (t/m ³)	2,17
Q_{bas} ((m ³ /h)/m ²)	5,79

Fonte: Autoria Própria, 2020.

A capacidade de alimentação da peneira é de 15 t/h, a peneira suporta uma ampliação de capacidade para até 22,5 t/h, que deverá suportar o aumento da capacidade, devido ao fator de projeto aplicado. A capacidade básica de peneiramento foi obtido através da Equação 2.

Para que a superfície de peneiramento seja dimensionada, ainda se faz necessário determinar os coeficientes de correção, a Tabela 3 abaixo mostra qual o coeficiente que está sendo calculado e qual a justificativa foi usada, a equação utilizada e o valor do coeficiente.

Tabela 3: Fatores de correção k_i

Coeficiente	Equação	Justificativa	Valor
K_1	3	-	0,44
K_2	4	-	0,98
K_3	5	-	1
K_4	-	Partículas cúbicas	1
K_5	6	-	1
K_6	-	Umidade < 3%	1
K_7	-	Primeiro <i>Deck</i>	0,9
K_8	7	-	0,77
$\prod k_i$			0,30

Fonte: Autoria Própria, 2020.

O sal quando moído possui partículas que mais se assemelham a uma geometria cúbica, por esse motivo foi determinado o valor de k_3 com sendo 1. Como visto na Figura 4, o sal que entra na peneira é proveniente do secador, ou seja, ele já chega seco na peneira, com uma umidade baixa. Nesse trabalho, há apenas um *deck*, isso justifica o valor de k_6 . Os demais fatores foram obtidos por meio das respectivas equações. Por fim, foi calculado o valor do coeficiente geral de correção.

Agora já é possível obter a área de peneiramento, utilizando a Equação 1,

$$S = 6,00m^2$$

Com a área dimensionada, cabe ao projetista determinar a largura e comprimento da peneira, vale lembrar que uma maior largura da peneira ela poderá receber uma maior carga de alimentação, por outro lado, quanto maior o comprimento mais eficiente ela será. Levando também em consideração que a largura máxima da peneira acionada por motovibradores é de 1800 mm (Iizuka, 2005), adotou-se uma largura de 1500 mm e consequentemente, um comprimento de 4000 mm.

Outros dois fatores são de fundamental importância para o projeto da peneira, a amplitude A (mm) e a velocidade angular (rpm), que possuem os respectivos valores 1,12 e 1695,4.

5.2 Esforços e dimensionamentos dos elementos estruturais

5.2.1 Esforços dinâmicos

Como foi visto na seção 4.4.1, na Equação 16, foi possível calcular a carga dinâmica que é devido aos passantes e aos retidos, que pode ser observado na Tabela 4, a seguir. A

porcentagem de cada tipo foi considerada a descrita no Decreto N° 75.697, já comentado neste trabalho.

Tabela 4: Força dinâmica exercida pelo sal

	%	F _{Din} (N)
Passante	95	131,23
Retido	5	7,16

Fonte: Autoria Própria, 2020.

5.2.2 Esforços estáticos

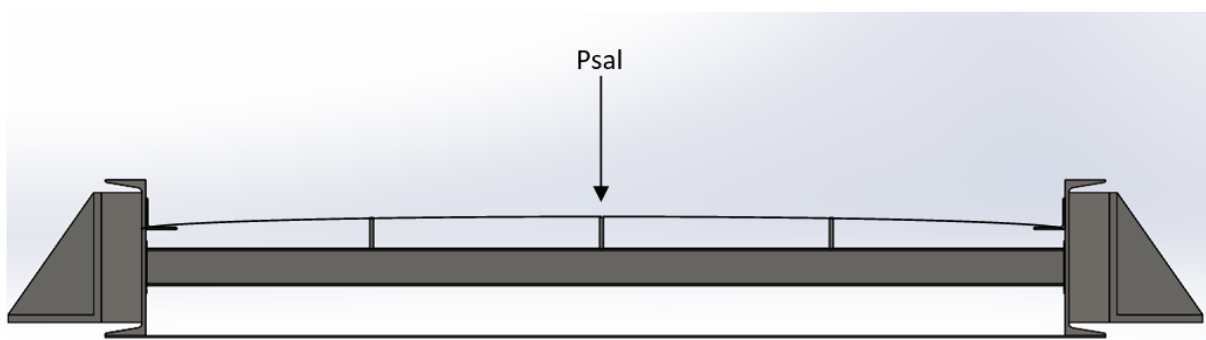
Como citado na seção 4.4.1, o esforço estático é considerado como sendo o acúmulo do sal em um caso extremo, em que o sistema produtivo teve uma interrupção e o sal não conseguia sair da peneira. Foi considerado que o acúmulo resultaria em uma camada de 10 cm de altura. Dessa forma, utilizando a Equação 17, obteve-se:

$$F_{est} = P_{acumulado} = 12,77kN$$

Note que o esforço dinâmico chega a ser apenas 1,03% do esforço estático, dessa forma, o projeto deve ser realizado levando em consideração o esforço estático que atua na peneira.

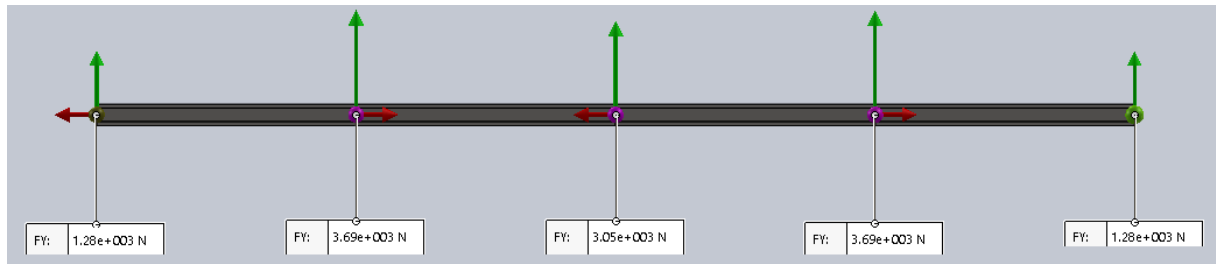
A Figura 15 mostra a vista frontal da peneira, onde é possível observar que o peso do sal irá agir de forma direta nas longarinas e nas cantoneiras e posteriormente nos tubos de sustentação por meio das longarinas e por fim nos perfis laterais por meio das cantoneiras e dos tubos de sustentação.

Figura 15: Atuação do peso do sal na tela da peneira



Fonte: Autoria Própria, 2020.

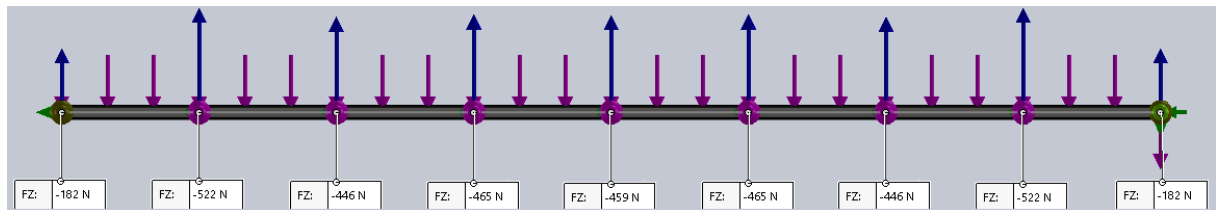
Com o auxílio do *software SolidWorks*, foi possível determinar a carga em cada uma das longarinas, assim como nas cantoneiras. O que pode ser observado na Figura 16.

Figura 16: Reações nas longarinas e cantoneiras

Fonte: Autoria Própria, 2020.

5.2.3 Dimensionamento da Longarina

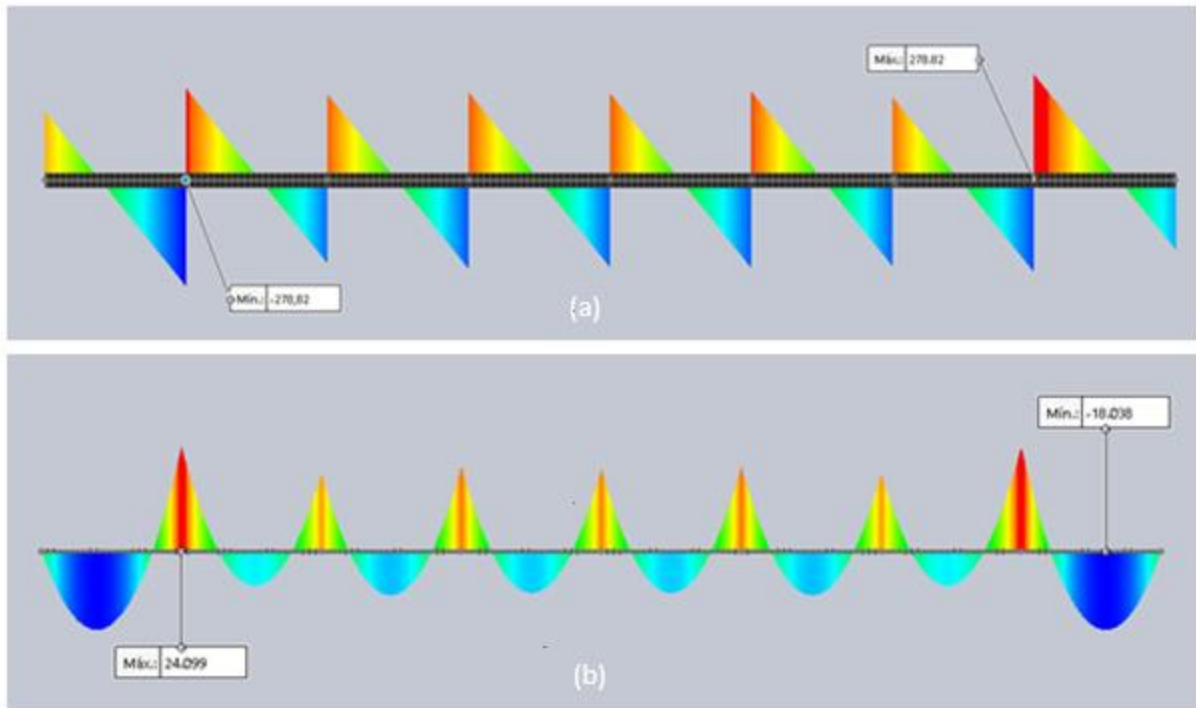
As forças que atuam nas cantoneiras possuem uma magnitude de 1,28kN, enquanto na longarina central é 3,05kN e nas demais longarinas a carga é de 3,69kN. Dessa form, as longarinas serão dimensionadas de acordo com as que estão sendo mais solicitadas. A força que está sendo mostrada é a total, sendo necessário ter uma visão lateral da peneira, onde essa carga está agindo com maior intensidade, para que seja dimensionada a sua seção. A Figura 17 mostra onde está localizada a seção crítica.

Figura 17: Esforços ao longo da longarina.

Fonte: Autoria Própria, 2020.

Percebe-se que o segundo e o penúltimo esforço são os mais acentuados, com uma magnitude de 522N, o que equivale a 14,15% da carga total. Para que a seção seja projetada, deverão ser analisados os esforços cortantes e momento fletor, afim de determinar se haverá falha ou não do componente. A Seguir, na Figura 18(a) está representado o diagrama de esforço cortante e na Figura18(b) o de momento fletor.

Figura 18: Diagramas de (a) esforço cortante e (b) momento fletor na longarina



Fonte: Autoria Própria, 2020.

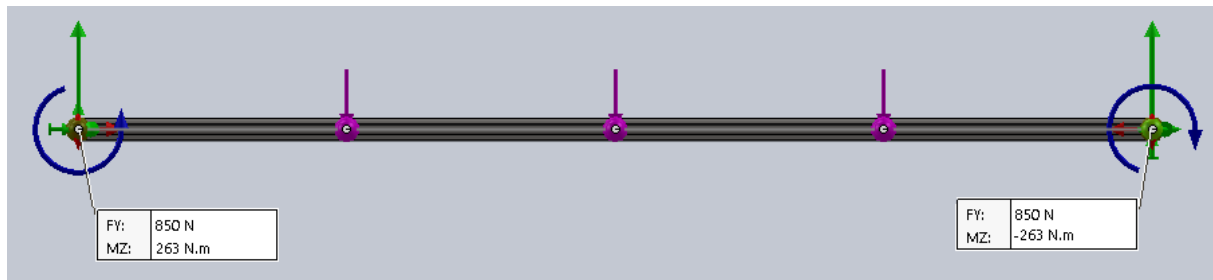
Observa-se que os valores máximos de esforço cortante é 278,82N e de momento fletor de 24,099 Nm. A partir dessas magnitudes e utilizando o catálogo de barra chata disponível no site da Sid Aço Inox, o material utilizado foi o aço inoxidável AISI304, foi possível elaborar uma planilha onde o valor da tensão de cisalhamento está em função da área da seção transversal, como é mostrada no Anexo I, assim como uma tabela que foi elaborada para dimensionar a seção transversal quanto a flexão, disponível no Anexo II. A longarina escolhida foi a de altura de 2" com espessura de 1/4".

5.2.4 Dimensionamento do tubo de sustentação

De maneira semelhante, os esforços no tubo de sustentação foram encontrados utilizando o *solidworks* para encontrar os esforços mais críticos e dimensionar a seção transversal do mesmo. Lembrando que na análise anterior, foi visto que o tubo de sustentação que recebia a maior solicitação era responsável por suportar 14,15% da carga das longarinas, dessa forma foi utilizado essa mesma porcentagem de cada longarina para calcular os esforços do tubo. A Figura 19 mostra as reações do tubo.

O material também utilizado foi o aço inoxidável AISI 304, da mesma fornecedora da longarina.

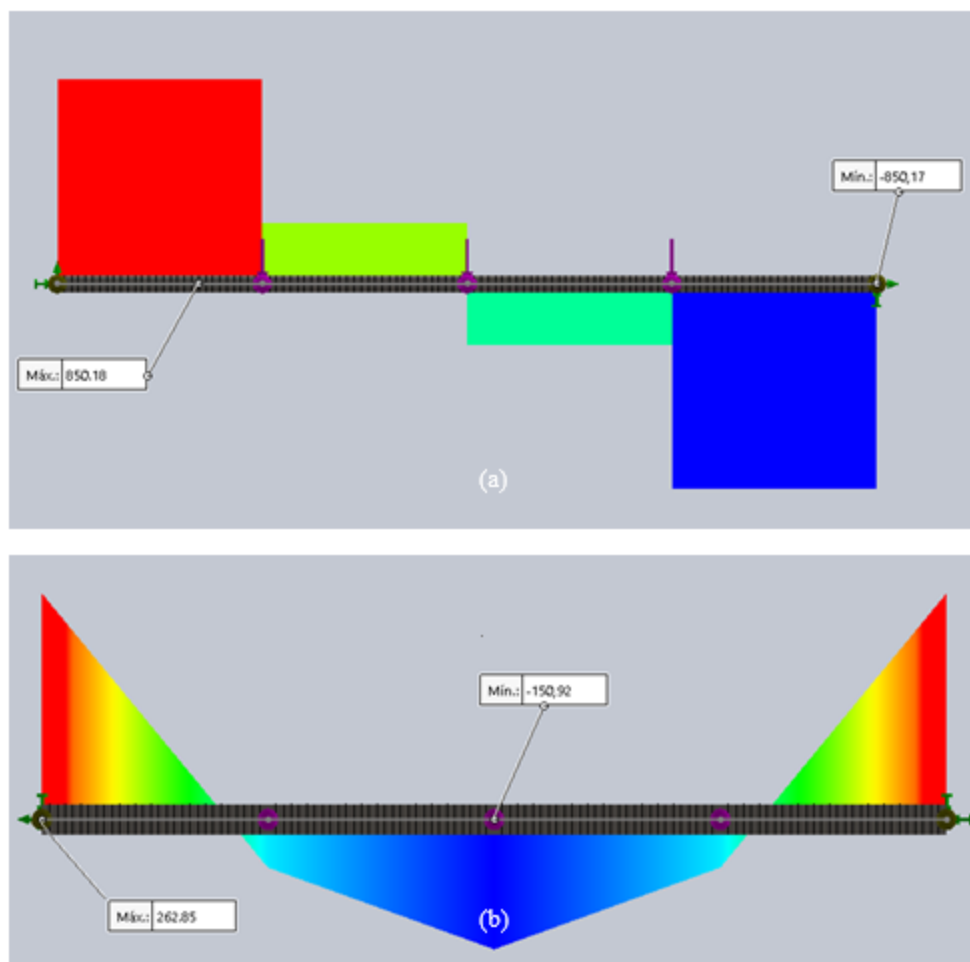
Figura 19: Reações no tubo de sustentação



Fonte: Autoria Própria

De forma semelhante, será traçado o diagrama de esforço cortante e momento fletor. Afim de determinar as seções críticas e selecionar a partir do catálogo da Sid Aço Inox o tubo retangular ideal para a aplicação.

Figura 20: Diagramas de esforço cortante e momento fletor no tubo de sustentação.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

Obteve-se os valores máximos de esforço cortante de 850,18 N e 262,85 Nm de momento fletor. Ambos os valores foram adicionados respectivamente nas Tabelas 3 e 4 do Anexo I. Comparando o valores, percebeu-se que alguns dos elementos do catálogo não suportariam os esforços, foi escolhido então o tubo retangular de 60mm de altura, largura de 30mm e uma espessura de 2mm. O perfil se encontra em uma zona confortável com relação ao limite de escoamento.

5.2.4 Dimensionamento da cantoneira

A Figura 16 mostra o esforço sofrido pela cantoneira, de forma que o seu dimensionamento será realizado baseando-se nesse esforço. A cantoneira pode ser encarada como uma viga em balanço com a extremidade engastada. O esforço cisalhantes que age sobre ela é o já visto na figura citada, 1,28 kN. Isolando a espessura na equação do cisalhamento máximo para uma seção retangular, encontra-se a Equação 17 a seguir.

$$e = \frac{1,5 \times V_{MÁX}}{\tau_{adm} \times l} \quad (17)$$

Onde:

e (mm): Espessura da cantoneira;

$V_{MÁX}$ (N): Esforço cortante máximo;

τ_{adm} (Mpa): Tensão de cisalhamento admissível;

l (mm): Comprimento da cantoneira.

A tensão máxima admissível pode ser encontrada através da Equação 11, utilizou-se um fator de segurança de 3, de acordo com a Figura 13. A tensão de escoamento do aço é de 240 Mpa (Sid Aço Inox, 2020). Encontra-se uma espessura mínima de 0,012mm para que não ocorra o cisalhamento, fez-se então a opção por adotar uma espessura de 1/8" do catálogo de cantoneiras de aço inoxidável da Sid Aço Inox, com largura de 2". Realizando o cálculo para saber se o elemento iria suportar a carga de flexão, obteve-se um coeficiente de segurança de 49,6, o que prova a resistência do elemento quanto as solicitações.

5.2.5 Dimensionamento dos perfis laterais

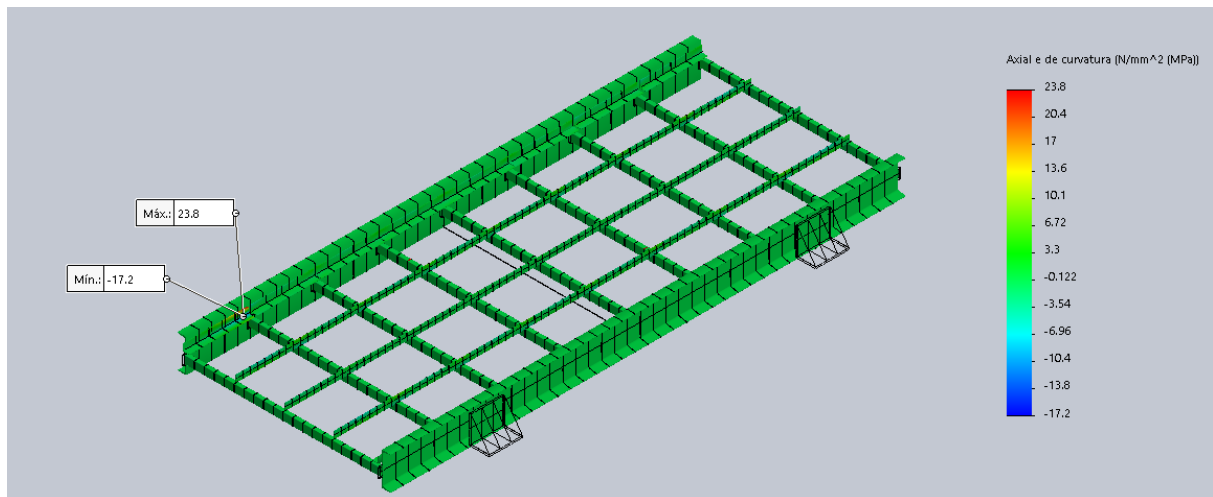
O perfil U, que faz parte da caixa vibrante deverá ser verificado para ter a certeza que o mesmo irá suportar as solicitações. O perfil escolhido é o perfil U 10" com espessura da alma de a escolha se deu devido à restrição geométrica, onde dentro da altura do perfil deve estar a longarina 50,8mm, o tubo de sustentação 60mm e 100mm para que o acúmulo de sal não ultrapasse essa medida, isso dá um total de 210,8mm. Há duas opções no catálogo da Gerdau (2020) acima dessa dimensão, o perfil de 10" e o perfil de 12", porém, se houver um acúmulo de matéria na chapa inferior, é mais interessante que aja pouco espaço para não sobrecarregar a estrutura, dessa forma, o primeiro perfil seria o mais adequado.

Inicialmente será testado o cisalhamento na aba inferior, onde poderá ocorrer um acúmulo de sal de semelhante ao que ocorre acima da superfície de peneiramento. Logo, haverá uma carga de 6,4 kN atuando sobre uma distância de 66,04 mm, o que resulta em uma tensão de cisalhamento máxima de 0,22Mpa, o que é desprezível. Deve-se então testar a tensão de flexão, utilizando a espessura da aba de 11,1 mm, obteve-se um valor bastante inferior ao limite de escoamento, apenas 2,6Mpa. Dessa forma, o perfil escolhido está aprovado para ser utilizado.

5.2.6 Avaliação Estática

A seguir, na Figura 21 é a representação de uma simulação estática onde foi aplicada a força crítica aqui relatada, pode ser observado que a estrutura não sofreu grandes esforços, o que faz com que aja uma validação do projeto dos elementos estruturais.

Figura 21: Simulação da carga crítica na estrutura da peneira.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

5.3 A escolha do motovibrador

Alguns fatores influenciam na escolha do motovibrador. Como o modelo de peneira deste projeto se trata de uma peneira horizontal de movimento linear, o sistema de acionamento é feito aos pares de moto vibradores. Na seção 5.1 foram determinados parâmetros importantes para a seleção do motovibrador, rotação e amplitude. Para determinar o toque estático do acionador deve-se fazer o produto entre a amplitude e a massa total da caixa vibrante. A amplitude, como já calculado é equivalente a 1,12mm. A massa da caixa é composta pela massa dos perfis, da cantoneira, longarinas e dos tubos de sustentação, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5: Massa dos elementos dimensionados.

Item	Massa (kg)
Longarina	30,48
Cantoneira	19,68
Tubos de Sustentação	28,22
Perfil U	182,16
Chapa	152,60
Tela	9,78
Total (kg)	422,92

Fonte: Autoria Própria, 2020.

A cada ciclo de vibração a quantidade de massa transportada é dada pela razão entre a capacidade de alimentação e a frequência de vibração, e a quantidade de ciclos de vibração necessários para percorrer toda a peneira é dado pela razão entre o comprimento total da peneira e a distância percorrida em cada oscilação. Obtém-se então que o sal que está sendo transportado tem uma massa de 1000 kg, logo a massa total, ainda sem a massa dos motovibradores é 1422,92 kg. O torque necessário é o produto da amplitude com a massa total, logo: 1593,6 kg.mm. Como são dois vibradores, então: 796,8 kg.mm.

O catálogo da Itavibras não possui um módulo vibrador com tal torque, então será adotado o superior mais próximo, que tem um torque de 858 kg.mm e uma massa de 73,5 kg. Realizando o novo teste para o acréscimo dos motovibradores, será necessário um torque de 879,6 kg.mm. Dessa forma não poderá ser escolhido esse. Logo será escolhido o novo acionador, o que possui um torque de 1034kg.mm e uma massa de 110kg. Novamente realizando os cálculos, foi obtido um torque de 920,04 kg.mm, logo o acionador satisfaz a necessidade.

O motovibrador selecionado é um trifásico com um momento estático de 1034 kg.mm, com frequência de 60Hz, uma massa de 110 kg, uma potência de 2500 W e rotação de 1800 rpm.

6 CONCLUSÕES

Foi possível realizar o dimensionamento da peneira, bem como a seleção dos materiais da mesma com o intuito de amenizar a corrosão dos elementos. A simulação estática traz uma certa confiabilidade no dimensionamento analítico dos componentes da peneira. Utilizando as equações foi possível ainda determinar o motovibrador adequado para o sistema. O trabalho baseou-se em catálogos afim de associar ainda mais as teorias com o setor prático da engenharia. Os resultados condizem com as peneiras vistas no mercado, o que traz também um ponto a acrescentar positivamente na aprovação do projeto.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOAVENTURA, A. I. **Projeto de uma peneira vibratória para classificação de noz peça.** 2015. 175 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

CHAVES, A. P.; PERES, A. E. C. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – Britagem, Peneiramento e Moagem**, 4th ed. São Paulo, 2009.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7th ed. São Paulo: Pearson, 2009.

IIZUKA, E. K. **Análise de Tensões em Peneiras Vibratórias através de Modelagem Numérica Utilizando o Método dos Elementos Finitos e Experimentalmente por Extensometria**. 2006. 203 f. Dissertação – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

BRASIL. Decreto n. 75.697, de 06 de mai. de 1975. **Aprova padrões de identidade e qualidade para o sal destinado ao consumo humano**, Brasília,DF, mai 1975.

GUALBERTO, V. S. **Projeto preliminar de transportador helicoidal aplicado à indústria salina de Mossoró e região**. 2019. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

NORTON, R. L., **Projeto de máquinas – Uma abordagem Integrada**, 4th ed. Porto Alegre: Bookman, 2013).

MEDEIROS JR., E. **Controle de estoques de sal: Uma inovação na quantificação e no gerenciamento dos recursos naturais da indústria mineral**. 2011. 118 f. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

Boletim dos Pequenos Negócios do RN. Rio Grande do Norte: SEBRAE, 2019.

LUZ, J. A. M., CARVALHO, S. C. **Modelamento matemático de peneiramento vibratório (Parte 1): dimensionamento clássico**. Ouro Preto: 2005.

GERDAU. **Catálogo de Perfil I e U Gerdau**. Disponível em <<https://www2.gerdau.com.br/produtos/perfil-u-gerdau>>. Acesso em 10 de Janeiro de 2020.

Sid Aço Inox. **Catálogo de Tubos Retangulares.** Disponível em < <http://sidacoinox.com.br/produtos/padrao-3/>>. Acesso em: 27 de Dezembro de 2019.

Sid Aço Inox. **Catálogo de Cantoneiras.** Disponível em < <http://sidacoinox.com.br/produtos/laminado-quente/>>. Acesso em: 28 de Dezembro de 2019>.

Sid Aço Inox. **Catálogo de Barras.** Disponível em < <http://sidacoinox.com.br/produtos/barra-chata/>>. Acesso em 28 de Dezembro de 2019.

Sid Aço Inox. **Catálogo de Propriedades de Aço Inoxidável.** Disponível em < <http://sidacoinox.com.br/tabela-de-propriedades/>>. Acesso em 29 de Dezembro de 2019.

ITALVIBRAS. **Catálogo de Motovibradores.** Disponível em < http://www.italvibras.it/wp_ita/wp-content/themes/constre-1/pdf/ITA/mvsi/2.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

MINÉRIO TELAS. **Recomendações para substituição de telas de peneiramento de aço.** Disponível em < <http://mineriotelas.com.br/2018/08/15/recomendacoes-para-a-substituicao-de-telas-de-peneiramento-de-aco/>>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2020.

STEEL MESH. **Especificações técnicas de Malhas.** Disponível em < <http://www.steelmesh.com.br/tabela-malhas>>. Acesso em: 22 de Janeiro de 2020.

NICÁCIO, R. **Rn produz milhões de toneladas de sal ao ano, mas atividade ainda é pouco valorizada.** 2017. Disponível em < <https://oportaln10.com.br/rn-produz-milhoes-de-toneladas-de-sal-ao-ano-mas-atividade-ainda-e-pouco-valorizada-70252/>>. Acesso em: 19 de Janeiro de 2020.

MAIA, F. **Sal da terra potiguar.** 2017. Disponível em < <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/sal-da-terra-potiguar/379250>>. Acesso em 20 de janeiro de 2020.

HENRIQUE LAGE. **Produção.** Disponível em <<http://www.henriquelage.ind.br/processos.html>>. Acesso em 17 de janeiro de 2020.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Comex Vis: Municípios - Mossoró.** 2020. Disponível em < <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-municipio?municipio=2408003>>. Acesso em: 12 de Janeiro de 2020.

ANEXOS

Anexo I: Cálculo das tensões de cisalhamento nas longarinas (Autoria Própria, 2020)

Altura (pol)	Espessura – Valor								
	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"
1/2"	10372124,7	6914749,8	5186062,4	4148849,9	-	-	-	-	-
5/8"	8297699,8	5531799,9	4148849,9	3319079,9	2765899,9	-	-	-	-
3/4"	6914749,8	4609833,2	3457374,9	2765899,9	2304916,6	1728687,5	-	-	-
7,8"	5926928,4	3951285,6	2963464,2	2370771,4	1975642,8	1481732,1	-	-	-
1"	5186062,4	3457374,9	2593031,2	2074424,9	1728687,5	1296515,6	1037212,5	864343,7	648257,8
1.1/4"	4148849,9	2765899,9	2074424,9	1659540,0	1382950,0	1037212,5	829770,0	691475,0	518606,2
1.1/2"	3457374,9	2304916,6	1728687,5	1382950,0	1152458,3	864343,7	691475,0	576229,2	432171,9
1.3/4"	2963464,2	1975642,8	1481732,1	1185385,7	987821,4	740866,1	592692,8	493910,7	370433,0
2"	2593031,2	1728687,5	1296515,6	1037212,5	864343,7	648257,8	518606,2	432171,9	324128,9
2.1/4"	2304916,6	1536611,1	1152458,3	921966,6	768305,5	576229,2	460983,3	384152,8	288114,6
2.1/2"	2074424,9	1382950,0	1037212,5	829770,0	691475,0	518606,2	414885,0	345737,5	259303,1
2.3/4"	1885840,9	1257227,2	942920,4	754336,3	628613,6	471460,2	377168,2	314306,8	235730,1
3"	1728687,5	1152458,3	864343,7	691475,0	576229,2	432171,9	345737,5	288114,6	216085,9
3.1/4"	1595711,5	1063807,7	797855,7	638284,6	531903,8	398927,9	319142,3	265951,9	199463,9
3.1/2"	1481732,1	987821,4	740866,1	592692,8	493910,7	370433,0	296346,4	246955,4	185216,5
3.3/4"	1382950,0	921966,6	691475,0	553180,0	460983,3	345737,5	276590,0	230491,7	172868,7
4"	1296515,6	864343,7	648257,8	518606,2	432171,9	324128,9	259303,1	216085,9	162064,4
4.1/4"	1220250,0	813500,0	610125,0	488100,0	406750,0	305062,5	244050,0	203375,0	152531,2
4.1/2"	1152458,3	768305,5	576229,2	460983,3	384152,8	288114,6	230491,7	192076,4	144057,3
5"	1037212,5	691475,0	518606,2	414885,0	345737,5	259303,1	207442,5	172868,7	129651,6
5.1/2"	942920,4	628613,6	471460,2	377168,2	314306,8	235730,1	188584,1	157153,4	117865,1
6"	864343,7	576229,2	432171,9	345737,5	288114,6	216085,9	172868,7	144057,3	108043,0

Anexo II: Tensões de Flexão nas longarinas (Autoria Própria, 2020).

Largura (pol)	Espessura								
	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"
1/2"	1,28024E-07	2,88054E-07	5,12096E-07	8,0015E-07	-	-	-	-	-
5/8"	1,6003E-07	3,60067E-07	6,4012E-07	1,00019E-06	1,44027E-06	-	-	-	-
3/4"	1,92036E-07	4,32081E-07	7,68144E-07	1,20022E-06	1,72832E-06	3,07257E-06	-	-	-
7,8"	2,24042E-07	5,04094E-07	8,96168E-07	1,40026E-06	2,01638E-06	3,58467E-06	-	-	-
1"	2,56048E-07	5,76108E-07	1,02419E-06	1,6003E-06	2,30443E-06	4,09677E-06	6,4012E-06	9,21772E-06	1,63871E-05
1.1/4"	3,2006E-07	7,20135E-07	1,28024E-06	2,00037E-06	2,88054E-06	5,12096E-06	8,0015E-06	1,15222E-05	2,04838E-05
1.1/2"	3,84072E-07	8,64162E-07	1,53629E-06	2,40045E-06	3,45665E-06	6,14515E-06	9,6018E-06	1,38266E-05	2,45806E-05
1.3/4"	4,48084E-07	1,00819E-06	1,79234E-06	2,80052E-06	4,03275E-06	7,16934E-06	1,1202E-05	1,6131E-05	2,86774E-05
2"	5,12096E-07	1,15222E-06	2,04838E-06	3,2006E-06	4,60886E-06	8,19353E-06	1,2802E-05	1,84354E-05	3,27741E-05
2.1/4"	5,76108E-07	1,29624E-06	2,30443E-06	3,60067E-06	5,18497E-06	9,21772E-06	1,4403E-05	2,07399E-05	3,68709E-05
2.1/2"	6,4012E-07	1,44027E-06	2,56048E-06	4,00075E-06	5,76108E-06	1,02419E-05	1,6003E-05	2,30443E-05	4,09677E-05
2.3/4"	7,04132E-07	1,5843E-06	2,81653E-06	4,40082E-06	6,33718E-06	1,12661E-05	1,7603E-05	2,53487E-05	4,50644E-05
3"	7,68144E-07	1,72832E-06	3,07257E-06	4,8009E-06	6,91329E-06	1,22903E-05	1,9204E-05	2,76532E-05	4,91612E-05
3.1/4"	8,32156E-07	1,87235E-06	3,32862E-06	5,20097E-06	7,4894E-06	1,33145E-05	2,0804E-05	2,99576E-05	5,3258E-05
3.1/2"	8,96168E-07	2,01638E-06	3,58467E-06	5,60105E-06	8,06551E-06	1,43387E-05	2,2404E-05	3,2262E-05	5,73547E-05

3.3/4"	07 9,6018E-07	06 2,1604E-06	06 3,84072E-06	06 6,00112E-06	06 8,64162E-06	05 1,53629E-05	05 2,4004E-05	05 3,45665E-05	05 6,14515E-05
4"	1,02419E-06	2,30443E-06	4,09677E-06	6,4012E-06	9,21772E-06	1,63871E-05	2,5605E-05	3,68709E-05	6,55483E-05
4.1/4"	1,0882E-06	2,44846E-06	4,35281E-06	6,80127E-06	9,79383E-06	1,74113E-05	2,7205E-05	3,91753E-05	6,9645E-05
4.1/2"	1,15222E-06	2,59248E-06	4,60886E-06	7,20135E-06	1,03699E-05	1,84354E-05	2,8805E-05	4,14798E-05	7,37418E-05
5"	1,28024E-06	2,88054E-06	5,12096E-06	8,0015E-06	1,15222E-05	2,04838E-05	3,2006E-05	4,60886E-05	8,19353E-05
5.1/2"	1,40826E-06	3,16859E-06	5,63305E-06	8,80165E-06	1,26744E-05	2,25322E-05	3,5207E-05	5,06975E-05	9,01289E-05
6"	1,53629E-06	3,45665E-06	6,14515E-06	9,6018E-06	1,38266E-05	2,45806E-05	3,8407E-05	5,53063E-05	9,83224E-05

Anexo III: Tensão de cisalhamento tudo de sustentação (Autoria Própria, 2020)

H X B (mm x mm)	Espessuras (mm)							
	1	1,2	1,5	2	2,5	3	4	5
20 x 10	26919386	22671073	18422351	-	-	-	-	-
20 x 15	25797800	21713031	17628268	13542111	-	-	-	-
25 x 10	21836490	18360841	14885454	11409708	-	-	-	-
25 x 15	20897525	17559336	14221287	10882879	-	-	-	-
30 x 10	18425793	15475856	12526377	9577377	-	-	-	-
30 x 15	17628987	14796480	11964171	9131926	-	-	-	-
30 x 20	17109841	14355948	11602252	8848692	7196319	6094140	-	-
35 x 20	14824174	12428082	10032152	7636394	6198895	5240295	-	-
40 x 10	14105778	11830074	9554828	7280372	5916300	5007208	-	-
40 x 15	13511700	11324779	9138072	6951681	5640000	4765498	-	-
40 x 20	13103139	10978550	8854103	6729846	5455348	4605588	-	-
40 x 30	12577688	10534783	8492013	6449450	5224024	4407067	-	-
50 x 10	11463216	9604631	7746412	5888880	4774980	4032822	-	-
50 x 20	10673729	8935384	7197157	5459123	4416437	3721364	-	-
50 x 25	104257	872595	702627	532673	430710	362737	-	-

	26	4	2	3	2	2		
50 x 30	102324 07	856296 8	689361 0	522438 1	422293 0	355532 2	-	-
50 x 40	995054 6	832574 7	670103 3	507646 2	410182 9	345213 1	-	-
60 x 10	967044 1	809695 2	652374 4	495108 0	400800 0	337968 2	-	-
60 x 20	903248 1	755701 2	608164 2	460644 8	372148 0	313159 4	-	-
60 x 30	865661 5	724008 7	582361 7	440724 7	355750 1	299104 3	-	-
60 x 40	-	-	565451 5	427746 0	345129 8	290056 3	221217 3	-
70 x 20	-	-	527580 0	399187 8	322166 5	270828 9	206674 2	-
70 x 40	-	-	490417 0	370604 3	298722 0	250803 8	190909 9	-
80 x 20	-	-	466448 5	352644 5	284374 5	238870 7	182009 3	-
80 x 30	-	-	447148 1	337792 5	272185 4	228451 8	173792 0	-
80 x 40	-	-	433814 5	327578 5	263841 2	221352 6	168246 2	136383 7
80 x 50	-	-	424051 2	320123 3	257770 4	216204 5	164251 1	133080 8
80 x 60	-	-	416593 5	314442 2	253155 4	212300 3	161236 3	130600 6
100 x 40	-	-	340354 83	267471 45	223684 21	194162 44	155268 72	127500 00
100 x 50	-	-	338329 05	266049 32	222676 06	193476 60	155062 02	127500 00
100 x 60	-	-	336961 36	265092 69	222000 00	193017 83	154924 14	127500 00
100 x 80	-	-	335232 04	263887 14	221150 44	192442 60	154751 71	127500 00
120 x 40	-	-	278614 14	217329 55	180596 17	156031 47	124701 81	104398 95
120 x 60	-	-	275206 43	214857 08	178739 02	154636 15	124003 51	104192 49
120 x 80	-	-	273457 20	213595 36	177796 29	153931 10	123653 02	104089 19
150 x 50	-	-	-	168499 59	139090 91	119501 51	949162 3	798091 6
150 x 100	-	-	-	165420 98	136701 03	117605 23	937254 9	791379 3
160 x 80	-	-	-	154803 62	127637 09	109567 17	869828 3	732627 3
200 x 100	-	-	-	120860 21	990743 2	845822 6	665123 3	556690 1

Anexo IV: Tensão de flexão nos tubos de sustentação (Autoria Própria, 2020)

H X B (mm x mm)	Espessuras (mm)						
	1	1,2	1,5	2	2,5	3	4
20 x 10	9,46E+08	8,18E+08	6,92E+08	-	-	-	-
20 x 15	7,14E+08	6,15E+08	5,17E+08	4,21E+08	-	-	-
25 x 10	6,7E+08	5,76E+08	4,83E+08	3,92E+08	-	-	-
25 x 15	5,18E+08	4,44E+08	3,7E+08	2,98E+08	-	-	-
30 x 10	5,02E+08	4,3E+08	3,58E+08	2,88E+08	-	-	-
30 x 15	3,96E+08	3,38E+08	2,8E+08	2,24E+08	-	-	-
30 x 20	3,27E+08	2,79E+08	2,3E+08	1,83E+08	1,55E+08	1,37E+08	-
35 x 20	2,62E+08	2,23E+08	1,84E+08	1,45E+08	1,22E+08	1,07E+08	-
40 x 10	3,14E+08	2,67E+08	2,21E+08	1,75E+08	1,48E+08	1,31E+08	-
40 x 15	2,56E+08	2,17E+08	1,79E+08	1,41E+08	1,19E+08	1,04E+08	-
40 x 20	2,16E+08	1,83E+08	1,51E+08	1,18E+08	991089	864960	-
40 x 30	1,65E+08	1,39E+08	1,14E+08	892857	744229	646255	-
50 x 10	2,16E+08	1,83E+08	1,51E+08	1,18E+08	993233	867734	-
50 x 20	1,55E+08	1,31E+08	1,07E+08	837025	696304	603476	-
50 x 25	1,36E+08	1,15E+08	938287	729917	605758	523729	-
50 x 30	1,21E+08	1,02E+08	833351	647111	536050	462598	-
50 x 40	989336	835067	681024	527440	435761	375045	-
60 x 10	1,58E+08	1,34E+08	1,1E+08	855822	712884	618765	-
60 x 20	1,17E+08	989768	808043	626960	518972	447552	-
60 x 30	931097	785362	639820	494674	407993	350554	-
60 x 40	-	-	529571	408486	336117	288111	228665
70 x 20	-	-	632273	488747	403046	346271	276145
70 x 40	-	-	426195	327760	268881	229784	181275

80 x 20	-	-	509250 13	392490 45	322709 70	276426 01	219127 71	-
80 x 30	-	-	416138 01	319868 32	262282 82	224043 34	176595 40	-
80 x 40	-	-	351812 11	269924 46	220916 55	188350 89	147890 18	123886 16
80 x 50	-	-	304710 49	233470 63	190820 97	162468 03	127212 10	106262 63
80 x 60	-	-	268731 88	205691 58	167942 13	142839 30	111607 14	930287 4
100 x 40	-	-	5,78E+ 08	4,9E+0 8	4,43E+ 08	4,17E+ 08	3,97E+ 08	3,95E+ 08
100 x 50	-	-	4,66E+ 08	3,94E+ 08	3,56E+ 08	3,34E+ 08	3,18E+ 08	3,16E+ 08
100 x 60	-	-	3,9E+0 8	3,29E+ 08	2,97E+ 08	2,79E+ 08	2,65E+ 08	2,63E+ 08
100 x 80	-	-	2,94E+ 08	2,48E+ 08	2,23E+0 8	2,1E+08	1,99E+0 8	1,97E+0 8
120 x 40	-	-	4,49E+ 08	3,74E+ 08	3,32E+ 08	3,07E+ 08	2,82E+ 08	2,75E+ 08
120 x 60	-	-	3,05E+ 08	2,52E+ 08	2,23E+0 8	2,06E+0 8	1,89E+0 8	1,83E+0 8
120 x 80	-	-	2,31E+0 8	1,91E+0 8	1,68E+0 8	1,55E+0 8	1,42E+0 8	1,38E+0 8
150 x 50	-	-	-	2,2E+08	1,91E+0 8	1,73E+0 8	1,53E+0 8	1,45E+0 8
150 x 100	-	-	-	1,13E+0 8	976082 47	880010 71	773671 00	725517 24
160 x 80	-	-	-	1,29E+0 8	1,11E+0 8	995269 63	868177 82	807780 91
200 x 100	-	-	-	775841 72	658357 24	582219 07	492337 26	444507 04