



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

VICTOR SOARES GUALBERTO

**PROJETO PRELIMINAR DE TRANSPORTADOR HELICOIDAL APLICADO À
INDÚSTRIA SALINEIRA DE MOSSORÓ E REGIÃO**

MOSSORÓ-RN

2019

VICTOR SOARES GUALBERTO

**PROJETO PRELIMINAR DE TRANSPORTADOR HELICOIDAL APLICADO À
INDÚSTRIA SALINEIRA DE MOSSORÓ E REGIÃO**

Projeto de Conclusão de Curso apresentada à
Universidade Federal Rural do Semiárido –
UFERSA, Departamento de Engenharia e
Tecnologia para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.
Orientador: Dr. Zoroastro Torres Vilar –
UFERSA

MOSSORÓ-RN

2019

©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.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G899p Gualberto, Victor.
PROJETO PRELIMINAR DE TRANSPORTADOR HELICOIDAL
APLICADO À INDÚSTRIA SALINEIRA DE MOSSORÓ E REGIÃO /
Victor Gualberto. - 2019.
46 f. : il.

Orientador: Zoroastro Vilar.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2019.

1. Transportadores industriais. 2. Sal
refinado. 3. Transportador helicoidal. I. Vilar,
Zoroastro, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

VICTOR SOARES GUALBERTO

**PROJETO CONCEITUAL DE TRANSPORTADOR HELICOIDAL APLICADO À
INDÚSTRIA SALINEIRA DE MOSSORÓ E REGIÃO**

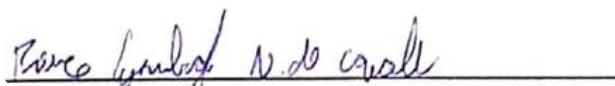
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
ENGENHARIA MECÂNICA.

Defendida em: 15 / FEVEREIRO / 2019.

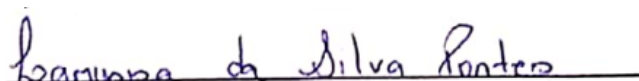
BANCA EXAMINADORA



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



Prince Azsemergh N. de Carvalho, Prof. (UFERSA)
Membro Examinador



Larissa da Silva Pontes, Eng.^a Mecânica
Membro Examinador

*Ao meu irmão Jimmy Soares Gualberto e
a minha avó Maria do Carmo Santiago
(In Memoriam).*

Aos meus pais Ronald Gualberto
e Laura Soares

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus, por ser uma pessoa saudável, viver uma vida confortável e generosa de uma forma como muitos não podem desfrutar.

Agradeço a minha família, meus pais, Ronald Gualberto e Laura Soares por jamais terem me abandonado e sempre terem me apoiado dando todo o amor, carinho e paciência que os pais podem dar a um filho. Sempre se preocuparam com meu bem estar, me oferecendo sempre o melhor que podiam, em termos materiais e sentimentais, colocando sempre a educação como prioridade. A minha irmã Lara Gualberto, por ser compreensível e que sempre esteve do meu lado, me apoiando.

Agradeço também aos meus amigos de Fortaleza Thyson Moreira, por ter me ajudado de forma bastante significativa durante os primeiros meses de moradia em Mossoró, Thais Araújo, Fernando Lima, Cindy Carvalho, e Eduardo.

Agradeço aos amigos de faculdade, Luana Dantas de Araújo, Nádila Regina Cassol, Eduardo Graciliano, Caio Nepomuceno, Amanda Cristine, Raiana Carol, Amanda Pereira, Jonas Rodrigues, Jessica Noberto, Ruan Tavares, Daniel Lima, Maria Marina, Adja Medeiros, Carlos Henrique, Diego Santos, Diego Gomes, Caroliny Martins, Mayla Alencar, Kalyude, Ednardo Oliveira Barbosa, Antônio Segundo, Lorena Soares, Wanderson Borges, Pablo Peterson, Talita Andrade, Bruno Maia, Gelson, Nara, Josimar, Júnior, Daliane, Mariane Holanda, Talles Renan, e Claudia Yanara, por sempre me ajudarem nas matérias durante o curso e em problemas pessoais, com os quais compartilhei incontáveis horas na biblioteca e em salas diversas da UFERSA e que foram fundamentais para a construção do meu conhecimento que adquiri na universidade.

Agradeço em especial a Ednardo Oliveira Barbosa pelo apoio fundamental no desenvolvimento das simulações e nas dúvidas sobre várias cadeiras e assuntos deste trabalho. Agradeço ao orientador professor Dr. Zoroastro Torres Vilar por aceitar me orientar e pelas dicas sobre o trabalho, sempre atencioso e disponível para qualquer dúvida que surgisse, executando um trabalho de excelência comigo.

“Se cheguei até aqui, foi porque me
apoiei em ombros dos gigantes.”
Isaac Newton.

RESUMO

Os transportadores industriais são máquinas de extrema importância para o processo produtivo de uma indústria. A locomoção de produtos possui profunda influência nos custos de confecção. No caso da mercadoria deste trabalho, o sal refinado, é extraído em grande escala nas regiões dos municípios de Mossoró e Areia Branca. Dessa forma, nessa região há uma grande utilização de transportadores no processo de extração e refino de sal. Como a maioria dessas máquinas são fabricadas em metais, as indústrias de sal enfrentam problemas em seus equipamentos devido ao processo de corrosão. Sendo assim, este trabalho leva a proposta de um projeto de um transportador helicoidal projetado com materiais resistentes à corrosão agressiva das salinas, como aço inoxidável e polímero.

Palavras-Chave: Transportadores Industriais; Sal Refinado; Transportador Helicoidal;

ABSTRACT

The industrial conveyors are machines of high importance for an industry productive process. The product locomotion has great influence in final product confection. In the case of this work, the product is refined salt. It is made in high scales in the region of Mossoro and Areia Branca. Due that, on this region are great utilization of conveyors in salt production process. As most machines are made with metals, the producers suffer with corrosion process. In base of it, this work take a suggestion of a helical conveyor made with corrosion material resistant as stainless steel and polymers.

Keywords: Industrial Conveyors; Refined Salt; helical Conveyor.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características gerais do material a ser transportado	24
Tabela 2 - Características do material segundo o Manual Continental	25
Tabela 3 - Dimensões e capacidade do transportador.....	25
Tabela 4- Dimensões do eixo a ser utilizado.....	27
Tabela 5 - Valores de Coeficiente de Enchimento para cada tipo de carga	28
Tabela 6 - Valores de Coeficiente de inclinação em relação ao ângulo de inclinação	29
Tabela 7 - Dados principais do transportador projetado pelo manual	33
Tabela 8 - Dimensões do cano PVC utilizado para revestir o eixo motriz	34
Tabela 9 - Dados dimensionais do transportador helicoidal projetado por equações.....	37
Tabela 10 - Esforços no eixo motor	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Captação da água do mar	15
Figura 2 - Tanque evaporador	16
Figura 3 - Cristalizador e armazenagem de sal cristalizado	17
Figura 4 - Parafuso do transportador helicoidal e eixo motor	19
Figura 5 - Nível de material disposto ao longo do transportador	19
Figura 6 - Mancal de sustentação para evitar deflexão excessiva	20
Figura 7 - Dimensões envolvidas do projeto de um transportador helicoidal e partes do mesmo	22
Figura 8 - Tipos de roscas mais utilizadas em transportadores helicoidais	22
Figura 9 - Seleção do motor acionador do transportador	26
Figura 10 - Diagrama para seleção do diâmetro do eixo do parafuso	27
Figura 11 - Direção e sentido da força de atrito devido a massa de sal	31
Figura 12 – Imagem renderizada do cano PVC com corte que reveste o eixo motriz e suas dimensões	34
Figura 13 - Cano PVC montado no eixo	34
Figura 14 - Helicoide montado no eixo recoberto com PVC	35
Figura 15- Imagem CAD da montagem final do transportador	36
Figura 16 - Imagem renderizada em CAD do transportador	36
Figura 17 - Medição de vazão mássica	40
Figura 18 - Enchimento da seção transversal	41
Figura 19 - Vista Lateral do Transportador	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVOS GERAIS	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 A HISTÓRIA DO SAL MARINHO NO RIO GRANDE DO NORTE	14
3.2 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO SAL	15
3.4 TRANSPORTADORES NAS INDÚSTRIAS	17
3.5 TRANSPORTADOR HELICOIDAL	18
3.6 UTILIZAÇÃO DE REVESTIMENTO POLIMÉRICO PARA PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DO TRANSPORTADOR.....	23
4. METODOLOGIA	24
4.1 UTILIZAÇÃO DE UM MANUAL INDUSTRIAL	24
4.2 UTILIZAÇÃO DE EQUAÇÕES.....	27
5. REUSLTADOS	33
5.1 TRANSPORTADOR HELICOIDAL PROJETADO COM BASE NO MANUAL	33
5.2 TRANSPORTADOR HELICOIDAL PROJETADO ATRAVÉS DE EQUAÇÕES.....	36
5.2.1 – Obtenção Das Dimensões Do Eixo Motor.....	37
5.2.2 – Valor Da Força De Atrito E Esforço No Helicóide	38
5.3 SIMULAÇÃO DE PARTICULADOS	39
6. CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade é uma questão bastante discutida atualmente. Esse tema pode ser tratado tanto em termos de mobilidade urbana como industrial. A logística é muito importante atualmente, onde o tempo é um fator extremamente influente na eficiência produtiva. Enquanto que um produto ou matéria prima está em movimento, a produtividade da linha fabril é reduzida. Quanto mais tempo uma mercadoria gasta em movimento, mais tempo é necessário para chegar ao produto final.

Nas indústrias, os transportadores são utilizados para movimentar desde a matéria-prima até o produto acabado. As máquinas de transporte são peças fundamentais no conjunto produtivo de uma indústria. Um sistema de movimentação define o ritmo da produção e garante que a mesma seja executada sempre em menos tempo, caso fosse utilizada mão de obra humana ou animal (RUDENKO, 1976).

No Rio Grande do Norte há uma grande concentração de indústrias produtoras de sal marinho. Nessas indústrias a necessidade de transportadores é intensificada devido ao tamanho de suas plantas industriais. Em consequência do sal ser abundante nessa região, a produção é feita em grande quantidade durante boa parte do ano.

Para haver o manejo de grande quantidade de sal em uma grande área ocupada, o uso de mão de obra humana seria bastante oneroso e iria proporcionar perda de competitividade em relação às outras salinas existentes, principalmente as do Chile, que vêm ganhando cada vez mais espaço no mercado brasileiro devido aos baixos preços de venda praticados (GALVÃO, 2016).

Dessa forma, os transportadores possuem grande aplicação e importância no setor salineiro. Entretanto, essa importância amplifica com a atmosfera bastante corrosiva presente nas indústrias salineiras. Então, a procura por materiais que permitam a realização do transporte de toneladas de sal e que sejam capazes de suportar os esforços existentes durante o transporte é de extremo interesse nas indústrias salineiras, pois atualmente há uma intensa substituição de peças devido à corrosão. Isso gera altos custos devido ao valor gasto por adquirir os componentes e a parada na produção para a realização da manutenção.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem como objetivo geral propor um projeto conceitual de transportador helicoidal para ser utilizado na indústria salineira.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Dimensionar o eixo do transportador;
- b) Definir um material polimérico a ser usado, considerando a corrosão e os esforços atuantes no processo de transporte do sal refinado;
- c) Fazer desenhos para apresentação do projeto preliminar em CAD;
- d) Realizar simulação com *software* para conhecer a vazão e o comportamento das partículas de sal durante o transporte.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A HISTÓRIA DO SAL MARINHO NO RIO GRANDE DO NORTE

O sal é um produto muito utilizado no mundo todo. Há muito tempo que a humanidade o utiliza para diversos fins, dentre eles pode-se citar o uso para a conservação de alimentos, principalmente da carne. Além disso, o corpo humano necessita de sal. Essa substância é responsável por auxiliar no transporte de oxigênio pelo corpo e na manutenção dos impulsos nervosos.

Assim que os Portugueses chegaram ao Brasil, eles ainda não tinham o conhecimento de que nas terras brasileiras era possível encontrar sal, dessa forma todo o sal consumido no Brasil era trazido pelos portugueses de outras partes do mundo (GALVÃO 2016).

Devido à limitação do transporte de sal, esse alimento era utilizado apenas para conservação de carnes e de animais.

Após um tempo de estudos e exploração das terras brasileiras, foram descobrindo que principalmente no litoral do Rio Grande do Norte e de parte do Ceará, formavam-se salinas naturais devido ao depósito da água marinha em certas localidades e a consequente precipitação do sal.

Com essa descoberta e devido à importância do sal na época, deu-se início a exploração com fins de produção do sal marinho, tendo como iniciativa principalmente os habitantes da região das salinas, principalmente até a década de 60, mas ainda em baixa escala (GALVÃO, 2016).

No final dessa década, grandes grupos internacionais adquiriram as pequenas salinas, trazendo mecanização do processo produtivo, aumento dos lucros e da produção. Em contrapartida, aumentaram a taxa de desemprego e do êxodo na região, trazendo a ascensão de grandes mazelas sociais (JALES, 2014).

Antes da mecanização das salinas, o sal era colhido e transportado por meio de pás e carrinhos de mão. Esse modo de transporte era bastante caro, pois necessitava de muita mão de obra para satisfazer a demanda e além do que causava baixa produtividade.

Com o investimento nacional durante o governo de Juscelino Kubitschek através de incentivos fiscais e da entrada massiva de empresas internacionais capazes de realizar grandes investimentos em melhorias, a mecanização foi inevitável (JALES, 2014).

As empresas internacionais procurando sempre máxima eficiência produtiva iniciaram o processo de mecanização. Durante a produção de sal, um dos principais problemas encontrados era no transporte e armazenamento do mesmo.

Para haver um aumento da eficiência produtiva, foi investido bastante nos equipamentos transportadores, no caso esteiras rolantes e braços mecânicos com pá.

3.2 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO SAL

No Rio Grande do Norte, a principal forma de obtenção do sal é através da extração do mesmo da água marinha. A mesma é captada para os tanques evaporadores e concentradores como mostrado na Figura 1. Nesses tanques a água do mar fica armazenada por um tempo determinado até que os tanques ficam saturados de cloreto de sódio.

Figura 1 - Captação da água do mar



Fonte: Silva, 2001, p.88.

Como esses tanques são abertos propositalmente, a lâmina de água fica exposta ao sol e aos ventos fortes presentes na região. As altas temperaturas e as correntes de ar corroboram significativamente para a evaporação da água. Com a evaporação da água, os tanques possuem aproximadamente 10% de quantidade de água captada, fazendo com que haja uma grande concentração de sal. A Figura 2 apresenta os evaporadores.

Figura 2 - Tanque evaporador



Fonte: Silva, 2001, p.89.

O processo de evaporação funciona também como uma forma natural de purificação do sal. Devido à água salgada permanecer estática nos tanques, ocorre a precipitação de algumas substâncias como sulfato de cálcio. Devido a alta salinidade, também há a purificação em relação a eliminação de matéria orgânica como os micro crustáceos, que são afetados devido a alta salinidade ocasionada pela evaporação da água.

Após a solução de água e sal atingir a concentração desejada pela indústria, a água presente nos evaporadores juntamente com o sal é bombeada para os tanques cristalizadores. Novamente ocorre a evaporação devido a exposição da água ao sol e aos fortes ventos. Como a quantidade de água é baixa, devido a grande parte ter sido evaporada nos tanques evaporadores, o sal inicia o processo de cristalização, formando um piso chamado de “laje”. Após a formação desse piso a água restante é eliminada para o mar a fim de evitar que compostos de magnésio cristalizem juntamente com o sal.

Com o sal cristalizado e a água restante totalmente drenada, inicia o processo de colheita. A colheita é realizada através de tratores e de caçambas. Após a colheita o sal é levado para a lavagem. A Figura 3 apresenta o cristalizador e a armazenagem do sal em pilhas.

Figura 3 - Cristalizador e armazenagem de sal cristalizado



Fonte: Adaptado de Salinor, 2011.

Após a lavagem o sal é empilhado e exposto ao ar livre, sendo esse processo determinado de cura a fim de extrair a umidade presente no mesmo e purificá-lo ainda mais. Após o processo de cura o sal pode ser vendido com sal grosso, sem adição de elementos como iodo, ou pode ser passado par ao refino, onde será moído e enriquecido com substâncias determinadas pelo ministério da saúde (SALINOR, 2011).

3.4 TRANSPORTADORES NAS INDÚSTRIAS

Nas indústrias existem três tipos de instalações de transporte. São elas instalações de transporte interdepartamental, departamental e de transporte interoperacional.

As instalações interdepartamentais movem peças entre os departamentos da empresa. No caso da indústria salineira os transportadores para esses casos seriam utilizados no transporte do sal entre o departamento de cura e o de refino. Já as instalações departamentais movem produtos dentro do próprio departamento, pode-se tomar como exemplo o transporte de produtos por um elevador vertical entre duas esteiras, tendo esse transporte como único objetivo o transporte de elevação na vertical. O transporte interoperacional movendo cargas de uma unidade de processo para outra (RUDENKO, 1976).

Assim como as instalações de transporte são classificadas, as cargas a serem transportadas também possuem classificação. Existem cargas a granel e cargas unitárias. A diferença entre as duas é que as cargas unitárias possuem forma e peso definidos,

diferentemente da granel. Um exemplo de carga a granel é o sal, pois possui um elevado número de partículas com formatos homogêneos e quando aglomerados não possuem forma definida (RUDENKO, 1976).

Devido a importância dos transportadores no processo produtivo e a sua diversificada aplicabilidade, ao longo do tempo foram criados diversos tipos de transportadores, cada um possui uma característica e aplicabilidade que mais se adequam.

Existem transportadores para transportar particulados, transportar pessoas, cargas, veículos, animais, dentre outros. Para cada aplicação pode existir transportadores diferentes. Por exemplo, para o transporte de particulados com grandes vazões e baixas inclinações é preferível utilizar transportadores de correias. Entretanto quando não se deseja altas vazões e baixas inclinações normalmente utiliza-se transportador helicoidal. Já quando se deseja transportar particulados com inclinações elevadas como um transporte na vertical, o transportador de gavetas já é mais aconselhado. Com isso, devido a gama de possibilidade e em busca do melhor mecanismo que se adeque à aplicação, foi sendo projetados diversos transportadores (RUDENKO, 1976).

Dessa forma o profissional responsável pelo projeto de um sistema de transporte deve atentar para as condições de projeto, sendo elas a demanda, representada pela vazão, condições ambientais, como irregularidade do terreno, temperatura e distância e altura de transporte além do que o tipo de material a ser transportado, se é líquido, granular, a granel ou de forma regular, como caixas, por exemplo (RUDENKO, 1976).

3.5 TRANSPORTADOR HELICOIDAL

O transportador helicoidal ou como também chamado de parafuso helicoidal, que é o seu principal mecanismo, é um dos mais antigos meios de transporte de material particulado, principalmente de grãos. Esse sistema consiste em uma rosca transportadora e uma calha, normalmente em forma de U. O material adicionado na calha é transportado ao longo do seu eixo. Esse transporte pode ser na horizontal, como é mais comumente utilizado, como também pode ser feito na diagonal, com alguma inclinação (CHANSELME, 2014).

Figura 4 - Parafuso do transportador helicoidal e eixo motor

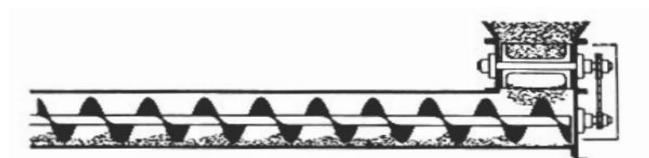


Fonte: CHANSELME, 2014, p. 185.

Comumente, a rosca transportadora é oriunda da união de um eixo soldado com vários helicoides. O eixo não deve apresentar nenhum desalinhamento, pois isso compromete o transporte de grãos, a partir do momento em que haverá pontos de transporte efetivo, pontos em que o helicoide deixará material acumulado e pontos de atrito extremo entre a calha e a rosca. Já a rosca normalmente é constituída de seções que têm comprimentos entre 3 m e 4 m. Para o transporte horizontal, a distância entre as cristas mais próximas se equivalem ao diâmetro do helicoide (CHANSELME, 2014).

Para um transporte eficiente, o nível do produto dentro de uma calha em U não deve ultrapassar o nível do eixo, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Nível de material disposto ao longo do transportador



Fonte: CONTINENTAL, 1986.

Logo, recomenda-se que o material ocupe cerca de 45% da área da seção transversal da calha. Com essas configurações de rosca a inclinação máxima que o transportador pode atuar

é 20°. Caso a inclinação a ser utilizada seja maior do que os 20°, a capacidade de carga do transportador deve ser reduzida e a rosca deve ter um espaço menor, para evitar retorno de material e excesso de peso em cada seção do helicóide, tendo em vista que terá uma componente da força peso agindo no parafuso (CHANSELME, 2014).

Para que não haja danos ao produto transportado, a folga entre a rosca e a calha em U deve ser maior do que o diâmetro do grão, pois dessa forma evita-se quebra ou esmagamento do grão, garantido a integridade do produto (CHANSELME, 2014).

Em uma análise estática, o transportador helicoidal funciona como uma viga bi apoiada. No caso dos transportadores helicoidais, esse apoio é feito por mancais de rolamento. Mesmo que não haja nenhuma força perpendicular ou que tenha uma componente perpendicular ao eixo do transportador, devido ao seu próprio peso o eixo está sujeito há flexão. Para evitar deformações excessivas e tensões de flexão elevadas, é aconselhado instalar em um espaçamento de 3 m a 4 m um mancal de rolamento, como mostrado na Figura 6 (CHANSELME, 2014).

Figura 6 - Mancal de sustentação para evitar deflexão excessiva



Fonte: CHANSELME, 2014, p. 186.

Em relação ao selamento superior, pode-se usar uma chapa para tampar a parte aberta da calha em U ou uma chapa convexa, quando utilizada em ambientes externos para permitir o escoamento da água. A utilização de uma tampa é aconselhada, pois protege o produto contra poeiras, contaminação por outras substâncias, insetos e até mesmo acidentes de trabalho (CHANSELME, 2014). A seguir são listadas algumas vantagens e desvantagens da utilização do transportador helicoidal.

Vantagens:

- a) Em relação a transportadores de correias e corrente, o transportador helicoidal apresenta menor investimento inicial;
- b) Bastante aplicável e eficiente quando o fluxo de material é até 25 (t/h) e distância de transporte de 25m;
- c) Menor espaço ocupado em relação a um transportador por esteira.

Desvantagens:

- a) Mesmo com a folga estabelecida, há risco de danos aos materiais, pois como o diâmetro de alguns caroços varia bastante a depender da produção, alguns grãos podem sofrer quebras e esmagamentos.
- b) Alto valor de potência consumida, variando de 3 vezes em relação a um transportador de esteira e 2,5 vezes em relação a um transportador de correias;
- c) Mesmo com a utilização de calha em U, há dificuldades na limpeza do sistema de transporte, dificultando a higienização e aumentando as possibilidades de contaminação do produto com o tempo de uso da máquina.

Os parâmetros e condições de transporte de produtos são de alta importância para garantir um transporte eficiente e qualidade do produto. A depender da configuração do transporte e do tipo de equipamento utilizado pode trazer danos ao produto e prejuízo quanto à própria máquina, em termos de falhas de componentes, até perda no faturamento da indústria usuária do transportador (SILVA et al., 2000).

Em uma indústria, o movimento do produto pode ser classificado em três grupos. São eles transportes verticais, horizontais e por deslizamento. No caso deste trabalho o foco principal é no transporte horizontal através do transportador Helicoidal.

Os transportadores helicoidais podem ser utilizados para transportar um material ou podem também serem utilizados como um misturador de tipos de materiais diferentes (SILVA et al., 2000).

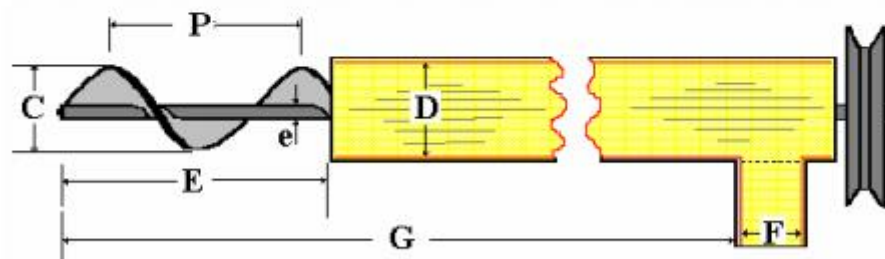
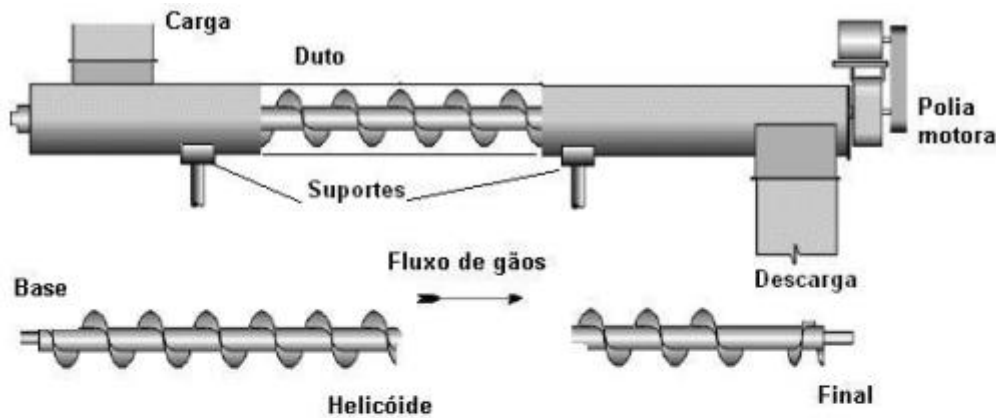
Basicamente um transportador é constituído das seguintes partes:

- a) Helicoide;
- b) Condutor;
- c) Polia motora;
- d) Suporte;
- e) Extremidades;

Sete parâmetros são básicos para a descrição de um helicoide de qualquer tipo. São elas o passo, diâmetro da calha ou duto, diâmetro do helicoide, exposição, diâmetro do eixo, diâmetro da descarga, comprimento do helicoide (SILVA et al., 2000).

A Figura 7 abaixo demonstra melhor a disposição e a representação desses parâmetros.

Figura 7 - Dimensões envolvidas do projeto de um transportador helicoidal e partes do mesmo



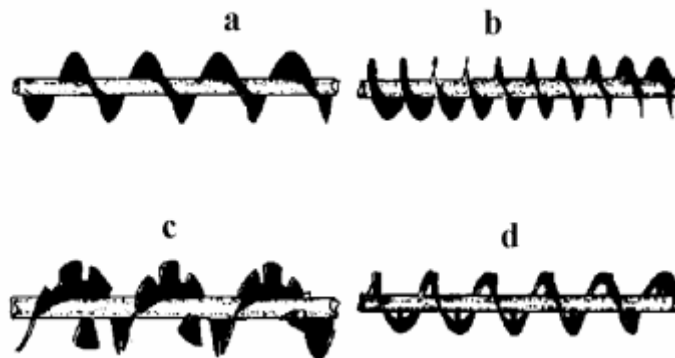
Dimensões importantes para o cálculo do transportador helicoidal

P = Passo, **D** = Diâmetro do duto, **C** = Diâmetro do helicóide, **E** = Exposição, **e** = Diâmetro do Eixo, **F** = Diâmetro da descarga, **G** = Comprimento do helicóide

Fonte: SILVA et al, 2000, p.299.

Para o tipo de aplicação e transporte é possível utilizar diferentes tipos de roscas. Existem roscas específicas para transporte com mistura de materiais (c), transporte horizontal (a), inclinado (b) e para transporte de produtos picados. A Figura 8 abaixo mostra os quatro tipos de roscas.

Figura 8 - Tipos de roscas mais utilizadas em transportadores helicoidais



Fonte: SILVA et al, 2000, p.299.

3.6 UTILIZAÇÃO DE REVESTIMENTO POLIMÉRICO PARA PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DO TRANSPORTADOR

O revestimento de peças metálicas por materiais poliméricos vem sendo aplicado como forma de proteção de peças metálicas ao atrito e à corrosão. Esse tipo de proteção se destaca pelo valor da matéria prima adicionada ao substrato e pela facilidade de adaptação a geometrias diferentes. Devido a isso, sua utilização é ampla, tanto para fabricar peças novas quanto para realizar manutenções, a fim de retardar o desgaste e a corrosão em metais (LIMA; SOUZA; CAMARGO, 2012).

Um modo de aplicação que está sendo bastante utilizado e estudado é a aspersão térmica. Através desse processo é possível aplicar uma camada de polímero de espessura desejada em diferentes superfícies através do aquecimento e choque do material adicionado contra o substrato (LIMA; SOUZA; CAMARGO, 2012). Esse processo permite maior aderência do material adicionado em relação ao substrato, fazendo com que a interface entre os dois materiais seja mais resistente e difícil de ser separada, aumentando a durabilidade do revestimento.

Lima, Souza e Camargo (2012) analisaram principalmente o desgaste e corrosão de chapas de aço carbono revestidas com Poliamida 12 (PA 12) e também com poli-éter-éter-cetona (PEGR) em meio ácido. Dentre os plásticos utilizados na engenharia, as Poliamidas se destacam devido a boa resistência ao desgaste, fadiga e ao impacto, além de possuírem baixo coeficiente de atrito.

Após a realização de sua pesquisa, Lima, Souza e Camargo (2012) concluíram que a Poliamida 12 pode ser utilizada com efetividade para proteger componentes metálicos utilizados na indústria contra o desgaste e corrosão.

Devido ao baixo custo de aquisição e a disponibilidade na região de Mossoró, Rio Grande do Norte, o polímero a ser utilizado no revestimento tanto do eixo quanto do helicóide do transportador de sal, será a Poliamida, ou popularmente conhecido como Nylon, aplicado pelo processo de aspersão térmica.

4. METODOLOGIA

Durante a realização desse trabalho, foram encontradas diferentes metodologias de dimensionamento de transportadores helicoidais. Como algumas metodologias são complementares, decidiu-se utilizar mais de uma e uni-las. Para peças de importância como o eixo e as hélices, houve a comparação de metodologias disponíveis na literatura. As metodologias foram divididas em duas. Uma metodologia se baseia em um manual, através da utilização constante de tabelas, já a outra se baseia na utilização de equações e tabelas.

4.1 UTILIZAÇÃO DE UM MANUAL INDUSTRIAL

Boa parte da metodologia utilizada nesse trabalho foi baseada no manual de transportadores da empresa canadense Continental®. Através de tabelas e gráficos foi possível obter as dimensões do transportador segundo os critérios estabelecidos pela empresa.

A demanda de produção é de 17200ft³/hora, valor este estipulado por meio de um auxílio de um funcionário do Porto Ilha, em Areia Branca - RN. Como essa é uma demanda bastante elevada para o transportador helicoidal, que é utilizado em baixas demandas, faz-se necessária a utilização de quatro transportadores, logo cada um é responsável pelo transporte de 4300ft³/hora de sal.

A metodologia utilizada pela Continental® se baseia na escolha do material a ser transportado. De acordo com o material, seguindo um código é possível extrair características do material e com base nelas, as dimensões do transportador.

Segundo a Tabela 2 do manual, é possível obter características gerais do material. A Tabela 1 mostra as características do sal refinado.

Tabela 1 - Características gerais do material a ser transportado

Material	Densidade [lbs/ft ³]	Código do material	Grupo de componentes	Carta	Fator de Potência
Sal fino Seco	75	B36TU	3D	7	1,7

Fonte: CONTINENTAL, 1986.

O material a ser transportado é o sal refinado. Através da tabela do manual, o material que mais se aproxima é o sal seco e fino. O seu código é B36TU.

O código funciona da seguinte forma: O primeiro caractere, acompanhado ou não de número, representa o tamanho do grão. O segundo caractere representa a fluidez do material. O terceiro caractere representa a abrasividade. Os últimos caracteres restantes representam outras características do material.

A Tabela 2 apresenta as características do material segundo o manual.

Tabela 2 - Características do material segundo o Manual Continental

Tipo	Caractere	Característica
Granulometria [in]	B	0,125
Fluidez [-]	3	Média
Abrasividade [-]	6	Abrasivo Médio
Outras Características [-]	T	corrosivo
	U	Higroscópico
Código do material [-]	B36TU	Sal Refinado

Fonte: CONTINENTAL, 1986.

Em posse das características do material, a partir da característica moderada de abrasividade, é selecionada a carta de número 7 do manual, fazendo com que seja selecionado um grupo de transportadores helicoidais onde o nível do material não ultrapasse 30% do diâmetro da hélice.

As dimensões obtidas segundo a carta de número 7, para um material de 75lbs/ft³ é apresentada na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Dimensões e capacidade do transportador

Diâmetro da hélice [in]	Diâmetro dos acoplamentos [in]	Velocidade	Capacidade [ft ³ /h]	Toneladas por hora
24	3,4375	40	4320	162

Fonte: CONTINENTAL, 1986.

Com o valor do diâmetro da hélice, é possível encontrar o tipo de hélice, segundo código da empresa Continental®. Devido ao grande diâmetro e comprimento, só há disponível parafusos seccionados. O parafuso disponível pela Continental® para a demanda é o de código 24S712 cujas dimensões serão apresentadas. Além disso, a calha a ser utilizada deve possuir uma espessura de 10 ga, que equivale a 0,102 polegadas.

Em posse desses valores é possível calcular o valor da potência necessária para realizar o transporte desejado.

A potência necessária para realizar o transporte pode ser calculado pela Equação 1.

$$P = \frac{L(DS + QF)}{1000000} \quad (1)$$

Onde P é a potência dada em *horse power* [hp], L é o comprimento do transportador em pés, D é o fator de fricção devido ao tipo de rolamento utilizado, Q é a vazão em libras por hora e F é o “*Horse Power Factor*”. O valor da Potência calculada foi de 21 HP.

Através da Figura 9 é possível selecionar o motor necessário para suprir a potência necessária para a realização do transporte.

Figura 9 - Seleção do motor acionador do transportador

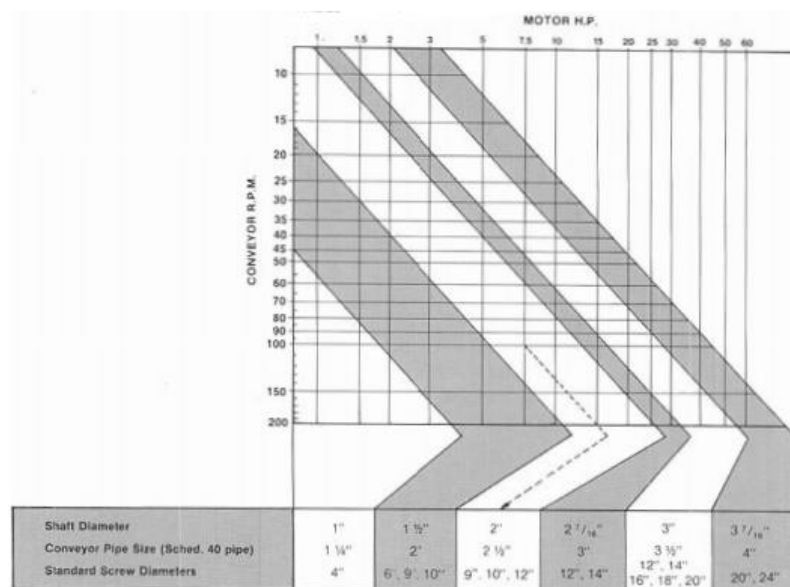
Conveyor H.P.	Motor H.P.	Conveyor H.P.	Motor H.P.
Up to 45	1	9.1 to 13.5	15
0.46 to .67	1 1/2	13.6 to 18.0	20
0.68 to .90	2	18.1 to 22.5	25
0.91 to 1.80	3	22.6 to 27.0	30
1.81 to 3.61	5	27.1 to 36.0	40
3.62 to 5.75	7 1/2	36.1 to 45.0	50
6.76 to 9.00	10	45.1 to 54.0	60

Fonte: Adaptado de CONTINENTAL, 1986, p. 22.

Como a potência resultou em 21 HP, o motor mais adequado para aplicação é o de 25 HP, segundo a Figura 9.

Como a potência é aplicada no eixo do transportador, as dimensões e o material do eixo são fatores influenciados diretamente pelo torque, já que ele é o elemento transmissor de potência e torque ao longo do transportador. Através do catálogo é possível selecionar um eixo adequado. O Catálogo utiliza um diagrama, onde através da potência do motor e da rotação, é possível encontrar o valor mais adequado do diâmetro do eixo. A Figura 10 apresenta esse diagrama disponível no manual da empresa Continental®.

Figura 10 - Diagrama para seleção do diâmetro do eixo do parafuso



Fonte: CONTINENTAL, 1986.

Com isso o diâmetro selecionado é o de 3,44 polegadas sendo um tubo com Schedule 40. Segundo Brastetubos (2018), as dimensões de um tubo Schedule 40 com diâmetro nominal de 4" apresenta as dimensões descritas na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4- Dimensões do eixo a ser utilizado

Schedule	Diâmetro Nominal [in]	Espessura do tubo [in]	Diâmetro Interno [in]	Diâmetro Externo [in]
40	4"	0,237"	4,026"	4,5"

Fonte: BRASTETUBOS, 2018.

4.2 UTILIZAÇÃO DE EQUAÇÕES

Através de pesquisas foi possível encontrar outras formas de se dimensionar um transportador helicoidal, sem a inteira utilização de catálogos, normalmente baseados em dados empíricos.

Segundo Pereira (2012), para calcular a velocidade aplicada na hélice, é necessário calcular a seção transversal do helicóide. A Equação 2 abaixo apresenta a equação para cálculo da área.

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \quad (2)$$

Onde D é o diâmetro externo da hélice em mm, d é o diâmetro externo do eixo também em milímetros e S é a área de seção transversal [m²].

Pereira (2012) afirma que o valor do diâmetro da hélice deve ser arbitrado, ou pelo cliente ou pelo projetista.

Para o cálculo da vazão do transportador, Silva et al. (2000) aconselha a utilização da Equação 3 abaixo.

$$Q = 4,71 \times 10^{-5} (D^2 - d^2) \cdot T \cdot N \quad (3)$$

Onde Q é a vazão que o transportador é capaz de oferecer [t/h], D é o diâmetro externo da hélice [m], d é o diâmetro do eixo em [m], T é o passo [m] e N é a rotação [rpm].

Em posse do valor da área do sem fim é possível calcular a velocidade de transporte da carga pela seguinte Equação 4.

$$V = \frac{Q}{3600 \cdot Ce \cdot S \cdot Ci} \quad (4)$$

Onde Ce é o coeficiente de enchimento e Ci é o coeficiente de inclinação e S é a área de seção transversal (m²).

O Coeficiente de enchimento Ce e o Coeficiente de inclinação Ci pode ser obtido pela Tabela 5 e 6 respectivamente abaixo.

Tabela 5 - Valores de Coeficiente de Enchimento para cada tipo de carga

Tipo de Cargas	Ce - Coeficiente de Enchimento
Pesadas e Abrasivas	0,15
Pesadas e pouco abrasivas	0,35
Ligeiras e pouco abrasivas	0,4
Ligeiras e não abrasivas	0,45

Fonte: PEREIRA. 2012.

Tabela 6 - Valores de Coeficiente de inclinação em relação ao ângulo de inclinação

β – Ângulo de inclinação	Ci - Coeficiente de Inclinação
0°	1
5°	0,9
10°	0,8
15°	0,7
20°	0,6

Fonte: PEREIRA, 2012.

Outro parâmetro adequado é a potência requerida pela máquina para o transporte da carga. Essa potência pode ser estimada pela Equação 5 abaixo.

$$P = \frac{Q \cdot H}{367} + \frac{C_a \cdot Q \cdot L}{367} \quad (5)$$

Se a inclinação for maior do que zero, H é calculado de acordo com a Equação 6 abaixo.

$$H = L \sin(\beta) \quad (6)$$

Vale ressaltar que o valor de P não representa a potência no helicóide. Deve-se aplicar o rendimento do motor elétrico no qual o eixo estará conectado. Sabendo que o rendimento de um motor elétrico está em torno de 80%, Logo, pela Equação 7.

$$P_m = \frac{P}{\eta} \quad (7)$$

Onde P_m é a potência total aplicada ao eixo [kw], P é a potência requerida pela máquina [kw] e η é a eficiência.

Todas as equações descritas até o momento não levam em consideração a espessura das hélices nem se o diâmetro do eixo é suficiente. Com isso ainda se faz necessário dimensionar a espessura das hélices do helicóide e verificar se o diâmetro do eixo suporta as tensões as quais o mesmo estará sendo submetido.

O eixo do transportador helicoidal é o elemento que está submetido há tensões de flexão, devido ao momento gerado pelo próprio peso e o peso das hélices, e principalmente devido a torção gerada pelo torque aplicado pelo motor para fazer o eixo rotacionar.

Dessa forma, deve-se encontrar uma espessura que seja capaz de conceder ao tubo resistência suficiente para não escoar durante a partida do sistema e durante o seu funcionamento. Vale ressaltar que o diâmetro externo é o fator limitante, pois a vazão de

material dependerá do diâmetro externo do helicóide e o diâmetro externo do eixo, caracterizando o espaço que pode ser ocupado pelo material a ser transportado. Com isso é necessário calcular o diâmetro interno.

Utilizando a Equação 8 abaixo, o valor da tensão de cisalhamento aplicada ao eixo devido à aplicação do torque pelo motor para sua movimentação (HIBBELER, 2010).

$$\tau_{cis} = \frac{T c_e}{J} \quad (8)$$

Onde τ_{cis} é a tensão de cisalhamento dada em Pascal, T é o valor do torque aplicado ao eixo em [N.m], c_e é o raio externo e J é o momento de inércia polar [m⁴].

Já a tensão de flexão é calculada através da Equação 9 abaixo (HIBBELER, 2010).

$$\sigma_{flexão} = \frac{M c_e}{I} \quad (9)$$

Onde M é o momento fletor [Nm], c_e é o raio externo [m] e I é o momento de inércia de área [m⁴].

Para ter conhecimento se o tubo suporta ou não os esforços, é necessário descobrir a tensão de flexão admissível e a tensão de cisalhamento admissível. O ideal é obter esses dados através de ensaio mecânicos, como ensaio de torção e ensaio de flexão. Entretanto, para casos onde não se é possível realizar tais ensaios, segundo o Critério de Escoamento de Tresca, onde o mesmo afirma que os materiais dúcteis falham por cisalhamento (HIBBELER, 2010). Com isso, Tresca afirma que para materiais dúcteis, segue a Equação 10 abaixo.

$$\tau_{cis} = \frac{\sigma_{máx}}{2} \quad (10)$$

Onde τ_{cis} é tensão máxima de cisalhamento (MPa), $\sigma_{máx}$ (MPa) é a tensão de escoamento descoberto através de um ensaio de tração simples.

Além disso, segundo Hibbeler (2010), para uma seção simétrica em relação ao eixo neutro, como é o caso da seção tubular, pode considerar que “a tensão de flexão admissível do material é a mesma sob tração e sob compressão”.

Dessa forma, tem-se os valores de tensão de flexão admissível e de tensão de cisalhamento admissível apenas tendo como base o dado da tensão de escoamento obtido por ensaio de tração.

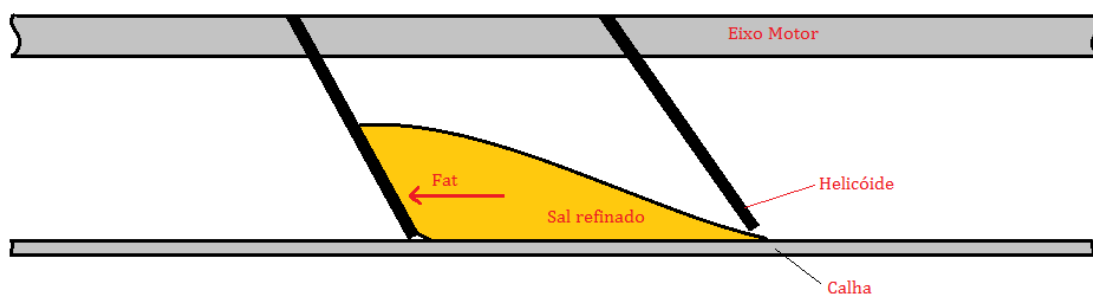
Além de analisar a resistência do tubo, deve-se analisar a resistência à flexão de cada hélice. Isso porque a medida que o transportador aplica uma força no mesmo sentido e direção

do deslocamento do material, pela terceira lei de Newton, o material reage e aplica uma força no sentido oposto e na mesma direção do deslocamento. Dessa forma, a hélice acaba por estar sujeita ao esforço de flexão.

Dessa forma, é importante analisar a tensão de flexão de cada seção da hélice. Como as seções da hélice são idênticas e considerando que a inserção de material no transportador é realizada de forma contínua e estável, todas as hélices estarão transportando a mesma quantidade de material e no mesmo nível. Sendo assim, a análise de apenas uma seção da hélice é suficiente para estender para todo o helicóide.

Levando em consideração que o helicóide rotaciona em velocidade angular constante, o sal translada à velocidade constante. Dessa forma, analisando a translação da massa de sal, considera-se que a única força que resiste ao movimento é a força de atrito do sal com a calha do transportador, sendo a força de atrito a responsável pela força na hélice. A Figura 11 apresenta uma ilustração em relação a força de atrito presente.

Figura 11 - Direção e sentido da força de atrito devido a massa de sal



Fonte: Autoria própria.

A força de atrito é definida pela Equação 11 abaixo.

$$F_{at} = \mu \cdot N \quad (11)$$

Onde F_{at} é a força de atrito (N), μ é o coeficiente de atrito dinâmico entre o sal e a hélice e N é a força normal que a calha aplica no sal devido ao sal exercer uma força na calha, no caso essa força que o sal faz sobre a calha é a força peso, relacionada com a massa de sal distribuída entre uma hélice e outra. Com isso, levando em consideração que o transportador não está inclinado com relação a horizontal, a força normal tem valor equivalente a força peso.

Para a utilização dessa metodologia, é necessário encontrar uma equação que seja possível encontrar a quantidade de sal transportado entre hélices. Tendo em vista que quando

o sal é transportado durante uma rotação completa do helicóide, a massa do material transportado é transladada a mesma distância do passo, mantendo-se a área de seção transversal constante. Isso significa dizer que foi transportado um volume de base igual a área de seção transversal do helicóide e com profundidade igual ao passo da hélice.

Deve-se levar em consideração que o material transportado nos transportadores helicoidais não ocupa toda a área transversal por completo, sendo esse parâmetro representado pelo coeficiente de enchimento com valores descritos na Tabela 5. Sendo assim, para representar o volume de material transportado, é necessário multiplicar o volume total pelo coeficiente de enchimento. A Equação 12 representa esse cálculo.

$$V_t = \left[\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \right] \cdot (C_e) \quad (12)$$

Onde V_t é o volume transportado (m^3), D (m) é o diâmetro externo do helicóide, d (m) é o diâmetro externo do eixo motor e C_e é o coeficiente de enchimento.

Em posse do volume transportado, tendo em mãos o valor da massa específica do material, é possível calcular a massa do material transportado. A Equação 13 apresenta esse cálculo.

$$m_t = \rho \cdot V_t \quad (13)$$

Onde m_t (kg) é a massa de material transportado, ρ (kg/m^3) é a massa específica do material transportado e V_t é o volume transportado (m^3).

Como a força normal possui módulo igual a força peso nesse caso, então o valor de N pode ser calculado multiplicando-se o valor de força peso pelo módulo da aceleração gravitacional, no caso, $9,81 \text{ m/s}^2$.

Devido à força axial aplicada à hélice a certa distância r_0 do centro do eixo motor, cria-se um momento fletor na hélice. Devido à isso, a hélice deve ter sua espessura dimensionada de uma forma que seja possível a hélice suportar a tensão de flexão. A Equação 14 descreve como quantificar o valor aproximado da distância de aplicação da força axial (KOVTON, 200-).

$$r_0 \approx \frac{0,75 \cdot D}{2} \quad (14)$$

5. REUSLTADOS

Após a utilização das duas metodologias propostas nesse trabalho, a utilização de um manual industrial de projetos elaborado pela empresa Continental® e outra metodologia baseada em trabalhos de terceiros no projeto de transportadores helicoidais com diferentes aplicações.

5.1 TRANSPORTADOR HELICOIDAL PROJETADO COM BASE NO MANUAL

Seguindo o manual, chegou-se ao transportador helicoidal com os seguintes dados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados principais do transportador projetado pelo manual

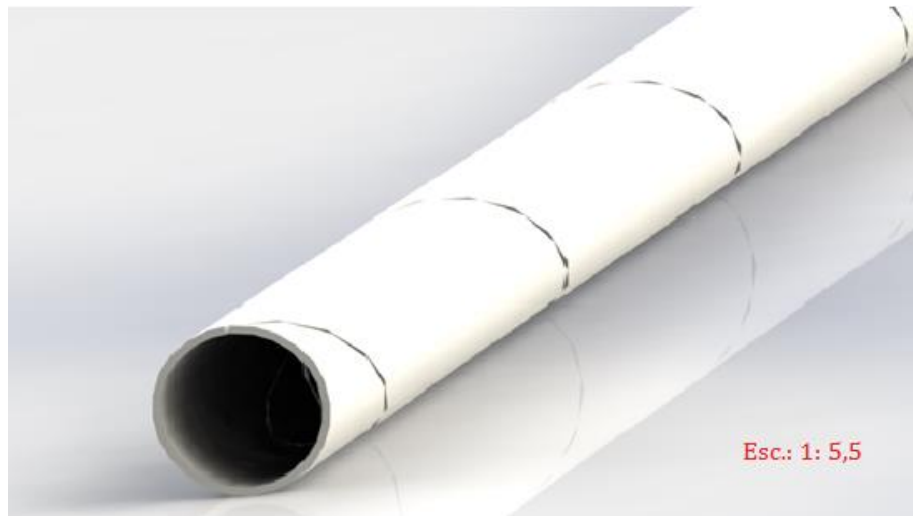
Característica	Valor
Diâmetro externo Helicoide (pol)	24
Diâmetro externo do eixo (pol)	4,5
Diâmetro interno do eixo (pol)	4,03
Passo da hélice (pol)	24
Comprimento do transportador (pol)	196,85
Capacidade (toneladas por hora)	162
Potência do motor (hp)	25

Fonte: Autoria própria.

Tendo em vista que o objetivo deste trabalho consiste no projeto de um transportador helicoidal para o transporte de sal na região dos municípios de Mossoró e Areia Branca, ambos municípios do estado do Rio Grande do Norte, é importante levar em consideração a oxidação de peças devido ao contato do sal com os componentes de transporte, como eixo e helicoide. Seria simples fabricar um tubo para o eixo motriz em material inoxidável, porém tal escolha seria bastante onerosa para os fabricantes de sal e não atenderia um ponto crucial nas salineiras no nordeste, que seria utilização de materiais de baixo custo.

Foi levantada a possibilidade de fabricação do eixo motriz totalmente em polímero, no caso, seria utilizado o nylon, entretanto os esforços os quais o eixo é submetido são elevados e o nylon não atenderia com eficácia a demanda de resistência na operação. Com isso, o eixo é fabricado em aço carbono 1045, de fácil acesso no mercado do oeste potiguar, sendo revestido com um cano PVC com corte, onde o mesmo segue o mesmo caminho do helicoide. A Figura 12 apresenta o cano cortado.

Figura 12 – Imagem renderizada do cano PVC com corte que reveste o eixo motriz e suas dimensões



Fonte: Elaborado pelo autor.

O cano PVC utilizado como base é fabricado pela marca Tigre. Suas características são apresentadas na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8 - Dimensões do cano PVC utilizado para revestir o eixo motriz

Característica	Valores (mm)
Diâmetro externo	110
Diâmetro Interno	97,8
Espessura	6,1
Comprimento Total	6000

Fonte: Catálogo Tigre.

A Figura 13 apresenta o cano PVC montado no eixo motriz.

Figura 13 - Cano PVC montado no eixo

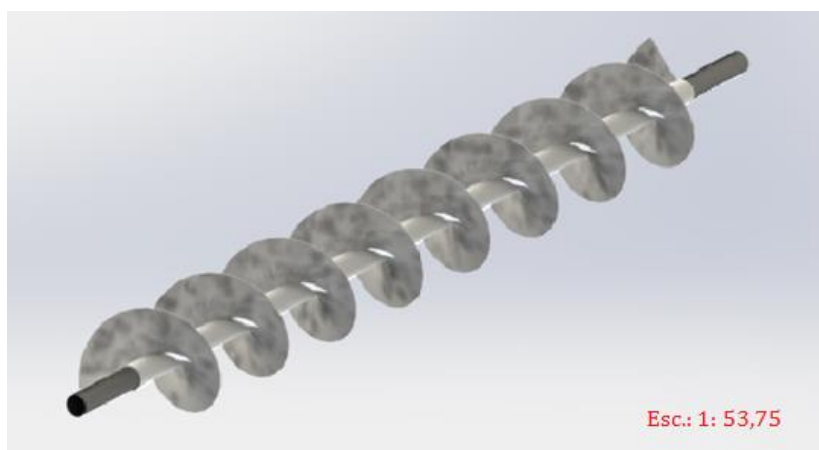


Fonte: Autoria própria.

Os espaços em vazio, formado com o corte é para serem ocupados pelo helicoide, e o espaço que ainda permanecer vazio, é preenchido com silicone, a fim de evitar o contato do sal com o eixo.

O helicoide utilizado é fabricado em nylon. Esse material foi escolhido, pois é resistente à corrosão e é um material de baixo custo e fácil acesso no mercado Potiguar. A Figura 14 apresenta o helicoide montado no eixo motriz com o PVC.

Figura 14 - Helicoide montado no eixo recoberto com PVC

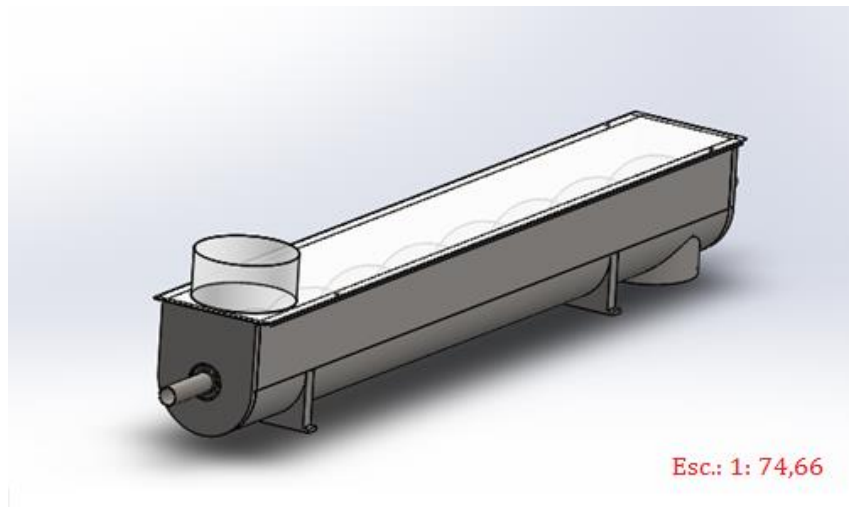


Fonte: Autoria própria.

O helicoide foi montado sobre uma estrutura metálica, fabricada em aço AISI 1020. O eixo foi conectado a essa estrutura por dois rolamentos, da marca SKF, modelo 6224, selecionado através da biblioteca do SolidWorks®.

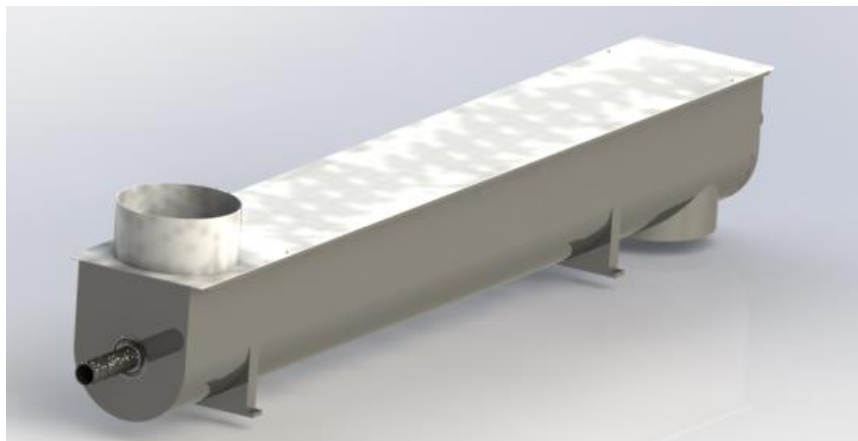
O transportador helicoidal também deve apresentar uma tampa, devido ao sal ser um material higroscópico, ou seja, absorve umidade. Com o objetivo de não reduzir a qualidade do sal fabricado, foi inserido, segundo as recomendações do manual, uma tampa de nylon ao longo do transportador, a fim de reduzir o contato deste com a atmosfera onde o transportador está instalado e também reduzir a umidade absorvida pelo mesmo. Vale lembrar que as salinas instaladas no Rio Grande do Norte estão localizadas em regiões marítimas, onde há elevada umidade. Sendo assim, o transportador helicoidal ficou com a seguinte aparência, mostrada na Figura 15 e 16 abaixo.

Figura 15- Imagem CAD da montagem final do transportador



Fonte: Autoria própria.

Figura 16 - Imagem renderizada em CAD do transportador



Fonte: Autoria própria.

5.2 TRANSPORTADOR HELICOIDAL PROJETADO ATRAVÉS DE EQUAÇÕES

Através das equações apresentadas na metodologia deste trabalho, foi possível dimensionar um transportador helicoidal que atenda à demanda de 162 toneladas por hora. A Tabela 9 apresenta os dados dimensionais do transportador.

Tabela 9 - Dados dimensionais do transportador helicoidal projetado por equações

Característica	Valor
Diâmetro externo Helicoide (m)	0,62
Diâmetro externo do eixo (m)	0,13
Diâmetro interno do eixo (m)	0,12
Passo da hélice (m)	0,42
Comprimento do transportador (m)	5,00
Capacidade (toneladas por hora)	172,57
Potência do motor (kw)	8,80
Velocidade transporte de carga (m/s)	0,47

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que a capacidade do transportador é superior a 162 toneladas por hora. Isso ocorre devido ao modelo de iteração por tentativa e erro. Como a capacidade do transportador depende do espaço vazio entre o helicoide e o eixo que pode ser preenchido por material transportado, o diâmetro externo do helicoide e o diâmetro interno possuem forte influência na capacidade de transporte do transportador. Foram realizadas várias tentativas, variando-se o valor do diâmetro externo do helicoide em 0,02m, iniciando a partir do valor 0,40m e variando o valor do diâmetro externo do eixo em 0,01m, iniciando a partir do valor de 0,02m. e variando-se o diâmetro externo do eixo. Um *print screen* da planilha utilizada nesse cálculo está disponível no anexo deste trabalho.

Após várias combinações de valores, foi encontrado o valor de capacidade 172,57 toneladas por hora, estando esse valor entre a capacidade 143,96 toneladas por hora e 204,79 toneladas por hora, onde a capacidade inferior não foi utilizada tendo em vista que o transportador não atenderia a demanda, mesmo em capacidade máxima, e a capacidade superior não foi selecionada, pois o transportador seria superdimensionado para aplicação.

Os coeficientes utilizados foram baseados nas Tabelas 5 e 6, sendo eles 0,35 para o coeficiente de enchimento, devido o sal ser considerado pouco abrasivo e coeficiente de inclinação igual a 1,00, devido o transportador não estar inclinado com a horizontal.

5.2.1 – Obtenção Das Dimensões Do Eixo Motor

Através da metodologia de projeto onde há a utilização de equações, não é possível dimensionar por completo o eixo responsável por transmitir a potência do motor ao helicoide e assim ser possível o transporte de material, já que somente é obtido o valor do diâmetro

externo do eixo, para poder ser possível estimar a capacidade e o valor do torque necessário para movimentar a carga, mantendo uma velocidade de transporte de 0,47 metros por segundo. De acordo com os cálculos apresentados na metodologia, o torque necessário é de 2806,35Nm. Com isso, deve-se projetar o eixo, tendo como fator limitante esse valor de torque multiplicado por um fator de segurança.

De acordo com a metodologia apresentada, foram obtidos os valores de tensão de flexão e tensão de cisalhamento provocados pelo eixo, tomando-se como base um fator de segurança igual a 1,5. A Tabela 10 apresenta os valores dos principais esforços de flexão e cisalhamento em comparação com a tensão de escoamento do aço selecionado, AISI 1020, que é de 351,57 Mpa.

Tabela 10 - Esforços no eixo motor	
Característica	Valor (Mpa)
Tensão Flexão	15,9922
Tensão Cisalhamento	35,6200
Tensão Escoamento	330,0000
Fonte: Autoria Própria.	

Os valores dos esforços no eixo são bem inferiores ao valor da tensão de escoamento do material escolhido. A tensão de flexão é 95,15% inferior em relação a tensão de escoamento e a tensão de cisalhamento é 89,2% inferior a tensão de escoamento. Isso pode mostrar que o eixo está superdimensionado. Entretanto, o valor de diâmetro externo é um fator limitante, não podendo ser possível realizar muitas modificações. Além disso, deve-se considerar a vida em fadiga devido a partidas no motor e o choque do material com o eixo ao entrar no transportador.

5.2.2 – Valor Da Força De Atrito E Esforço No Helicóide

De acordo com a metodologia, a força que o sal aplica diretamente na hélice pode ser aproximada como sendo o mesmo valor da força de atrito que a massa de sal que está sendo transportada, tendo em vista que essa é justamente a força que a hélice deve vencer para transladar o sal. Sendo assim, utilizando o valor do coeficiente de atrito apresentado, calculado por Gotoh (1986), no valor de 0,25 entre o aço inoxidável e o sal de cozinha. O material da calha, que é a superfície de contato com o sal é fabricado em aço 1020, diferentemente do aço inoxidável, mas devido a falta de obtenção de dados foi realizada essa consideração. Foi utilizado o mesmo valor para o aço inoxidável devido ambos serem

materiais metálicos e também devido a Universidade não disponibilizar de aparelhos em laboratório para tal experimento, fazendo-se assim uma aproximação.

Sendo assim, o valor da força de atrito encontrada através das Equações 11, 12 e 13 foi de 536,39N, para uma seção de hélice.

Sendo assim, é considerado que a força de atrito mencionada atua em cada seção de hélice do transportador, sendo essa força responsável pela deflexão da hélice. De acordo com a Equação 14, é possível encontrar que a força de 536,39N atua a uma distância radial do cento do eixo até o ponto de aplicação de 0,2325 metros. Com isso, considera-se que uma força de 536,39N é aplicada em uma viga retangular engastada a uma distância de 0,2325m, já somados com o raio do eixo. Logo a força atua a uma distância de 0,1675m do ponto de engaste, no centro de gravidade da seção de helicóide.

Tomando-se como base a espessura do helicóide definida pelo manual da Continental® no valor de 4,76mm, aplica-se o valor na Equação 15 e obtém que a tensão de flexão no helicóide é de 3,10Pa, ou seja, bem pequena, mostrando que a o esforço de flexão no helicóide não é intenso e que a espessura de 4,76mm suporta de forma satisfatória os esforços.

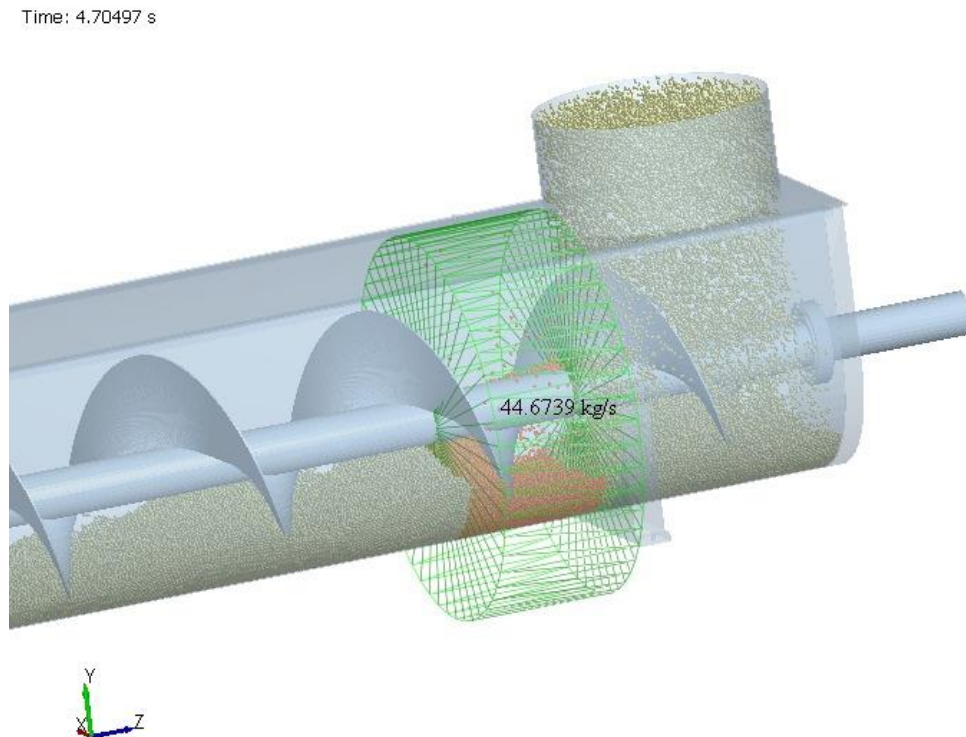
5.3 SIMULAÇÃO DE PARTICULADOS

A fim de verificar a vazão de sal no transportador helicoidal, o modelo projetado de acordo com o manual da empresa Continental® foi submetido a uma simulação de partículas através de uma cosimulação envolvendo os *softwares* Recurdyn® e EDEM®. Na entrada do transportador foi inserido uma vazão de 45kg/s, ou 162 toneladas por hora, como definido. Para a simulação ser realizada, foi necessária a modelagem dinâmica, inserindo as restrições e tipos de juntas. Nas duas extremidades do eixo, foram inseridas restrições de translação, deixando apenas a rotação livre. Em uma das extremidades do eixo, foi inserido uma função motora na qual foi definida a velocidade de rotação de 4,189 rad/s.

Quanto as propriedades do material particulado, na primeira rodada de simulações foi inserido que cada partícula possuía 0,3mm de diâmetro, para se assemelhar aos cristais de sal. Entretanto, a capacidade computacional não foi suficiente para conseguir obter os resultados. Com isso, foi necessário aumentar o diâmetro das partículas para 3mm. Sendo assim, conseguiu-se, de acordo com a capacidade computacional disponível, obter resultados da simulação.

A Figura 17 apresenta a medição de vazão realizada em uma seção de hélice o mais próximo possível da entrada zona do transportador de material.

Figura 17 - Medição de vazão mássica

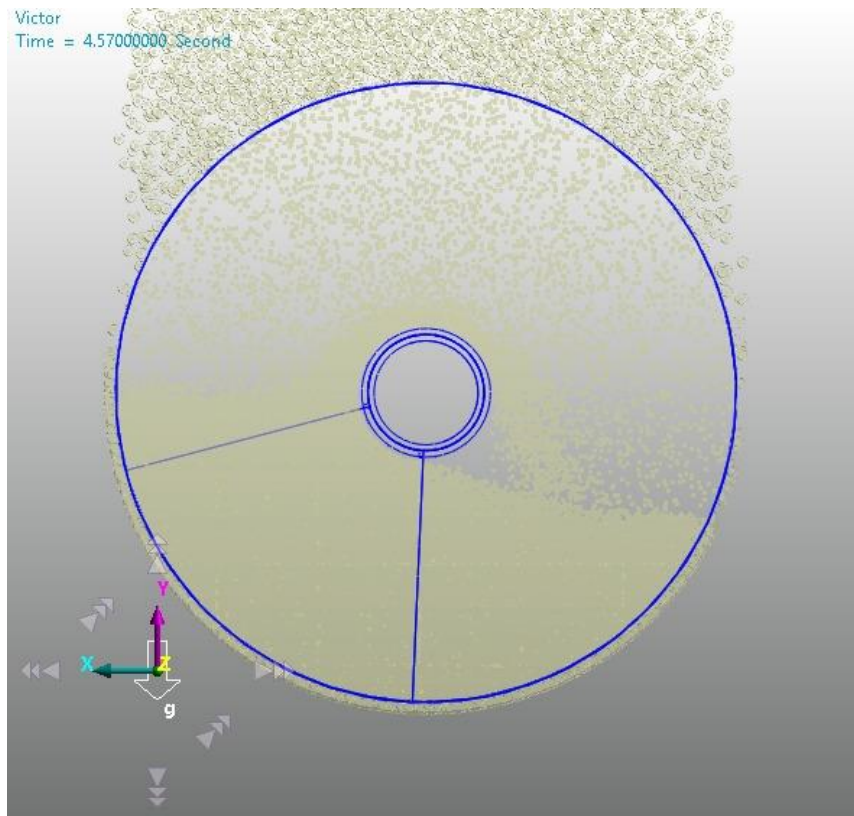


Fonte: Autoria própria.

Através da Figura 17 é possível verificar que a vazão mássica é bastante próxima a vazão projetada, com diferença de 0,73%, mostrando que o transportador helicoidal é capaz de atender a demanda.

Já a Figura 18 apresenta o preenchimento da seção transversal de cada seção de helicóide.

Figura 18 - Enchimento da seção transversal

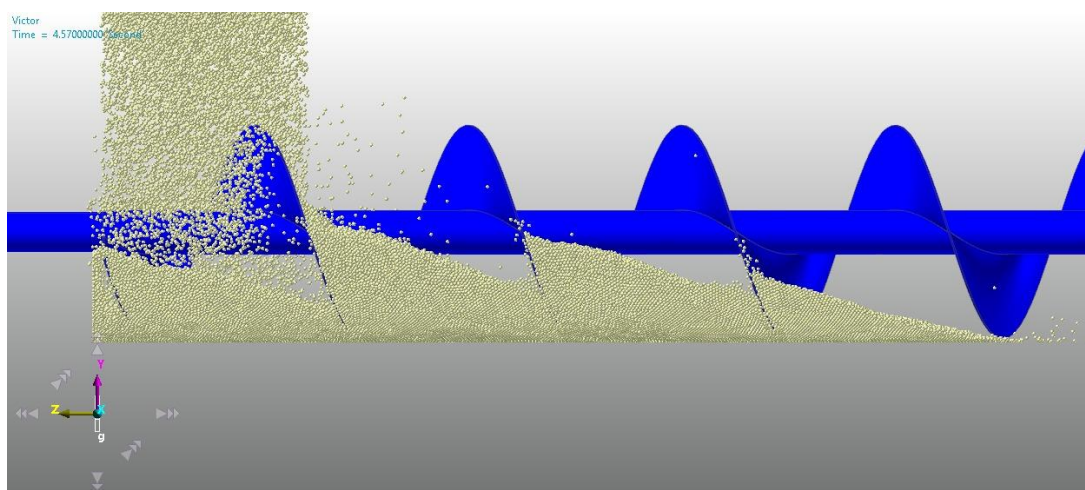


Fonte: Autoria Própria.

Observa-se que o material permaneceu abaixo do eixo, mantendo a porcentagem de enchimento abaixo de 50%.

Já a Figura 19 apresenta, após o fim da simulação de 4,57 segundos de funcionamento do transportador, quais seções de hélices estavam sendo submetida a cargas devido ao transporte de sal e o comportamento do mesmo ao longo do transportador.

Figura 19 - Vista Lateral do Transportador



Fonte: Autoria Própria.

6. CONCLUSÕES

Após a realização do projeto dos transportadores utilizando duas metodologias diferentes, através de um manual industrial e outra através de equações disponíveis na literatura, percebe-se que ambas as metodologias, apesar de distintas, são capazes de fornecer informações ao projetista que sejam suficientes para a realização de projetos de transportador helicoidal para o setor salineiro.

Além disso, foi possível perceber que a utilização de um helicóide fabricado em nylon é perfeitamente aplicável no setor salineiro, uma vez que o polímero é resistente a corrosão, evitando custos com troca e manutenção de equipamentos devido a oxidação além de ser resistente ao esforço causado devido a força de atrito do sal com a calha. Além disso, o revestimento do eixo motor com cano em PVC faz com que o eixo seja resistente aos esforços mecânicos e simultaneamente a isso seja resistente à corrosão.

A metodologia utilizando o manual é capaz de fornecer um projeto de transportador helicoidal que realmente atenda a demanda, levando em consideração as condições ideais em que ocorreu a simulação, onde foram desconsideradas as forças de atrito nos rolamentos, nos sistemas de multiplicação de velocidades e no próprio motor de acionamento.

É interessante a realização de simulações de particulados mais detalhadas, com melhor recurso computacional, a fim de que seja realizada uma análise mais completa e detalhada do transporte de material particulado do tipo sal refinado.

O projeto apresentado neste trabalho se destaca devido a sua simplicidade de projeto e devido ao uso de nylon na fabricação do helicóide em substituição ao aço carbono normalmente usado, trazendo uma solução contra a corrosão.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- BRASTETUBOS (São Paulo). **Tubo Schedule**. Disponível em: <<http://www.brastetubos.com.br/tubo-schedule.php>>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- CHANSELME, Jean Luc. Transporte de matérias na algodoeira. In: CHANSELME, Jean Luc. **Transporte de Matérias**. Cascavel: Cotimes do Brasil, 2014. p. 171-295.
- CONTINENTAL (Canadá). **Screw Conveyor Catalogue and Engineering Manual**. Quebec: Continental Conveyor, 1986.
- DESSBESELL, Elton Herberto. **MÁQUINA PARA ALIMENTAÇÃO AUTOMÁTICA DE PEQUENOS ANIMAIS**. 2013. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Noroeste do Rio Grande do Sul, Panambi, 2013.
- GALVÃO, Iapony Rodrigues. UMA ANÁLISE DA MECANIZAÇÃO DAS SALINAS E O DECRÉSCIMO DA POPULAÇÃO TOTAL E URBANA DE MACAU/RN ENTRE 1970 E 2000. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 18., 2016, São Luis. **Anais...** . São Luis: Uece, 2016. p. 1 - 11.
- GOTOH, Akihiro; IKASAKI, Humikazu; KAWAMURA, Mitsutaka. Coefficient of Wall Friction for Kitchen Salt. **J-stage**, Tokyo, v. 40, n. 4, p.222-225, 12 mar. 1986.
- HIBBELER. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- JALES, Antonio Thyago Teixeira. O REFLEXO JUSCELINISTA NA PRODUÇÃO SALINEIRA EM MOSSORÓ. **Sertões**, Mossoró, v. 4, n. 1, p.18-30, jan. 2014.
- LIMA, Carlos Roberto Camello; SOUZA, Natália Ferraresso Cardoso de; CAMARGO, Flávio. Estudo das características de revestimentos poliméricos aplicados por aspersão térmica para proteção contra desgaste e corrosão de substratos metálicos. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v. 17, n. 4, p.369-375, dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-92242012000400011>.
- KOVTUN, Viktor. **Dimensionamento de transportador helicoidal**. S.i: Escola Superior, [200-].
- PEREIRA, Alexandre Miguel Ramos. **Mecanismo Sem-fim**. Marinha Grande: Instituto Superior D. Dinis, 2012.
- SACRAMENTO, Cristiano do et al. **Projeto e Construção de um Transportador Helicoidal**. Salvador: Ufba, 2003.
- RUDENKO, N.. Máquinas de Elevação e Transporte. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976
- SALINOR. **Salinas do Nordeste S/A**. Disponível em:<<http://www.salinor.com.br/indexen.html>>. Acesso em 29 de mai. 2011.

SHENGGUANG, Qi et al. Corrosion Protective Performance of PAN/Epoxy Hybrid Cathodic Electrodeposition Coatings. **Tuliao Gongye**, Tsinghua, v. 36, n. 7, p.4-7, out. 2006.

SILVA, Juarez de Sousa e et al. Manuseio de grãos. In: SILVA, Juarez de Sousa e. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Embrapa, 2000. p. 297-323.

SILVA, Sérgio Luiz Pedrosa. **Uma análise da indústria salineira do Rio Grande do Norte baseada no modelo de estratégia competitiva de Porter**. 2001. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

ANEXOS

ANEXO 1 Planilha para dimensionamento do transportador

Dimensionamento Transportador Helicoidal																		
Diâmetro o Exterior Sem fim (D) [m]	Diâmetro o do externo do eixo (d) [m]	Passo [m] (T)	Comprimento do Sem- fim [m] (L)	Coefficiente de Enchimento - Ce	Coefficiente de Inclinação - Ci	Coefficiente de atrito - Ca	Densidade do Material [t/m³]	Vazão máscia do material (demand	Rendimento o do motor η	Área transvers al do Sem-fim [m²]	Vazão do sem- fim [t/h] (Q)	Desnível do transportad or [m]	Velocidad e de transporte [m/s]	R.P.M	Rotação [Hz]	Potência necessári a no eixo [kw]	Potência necessári a no motor [kw]	Torque no eixo [N.M]
0,4000	0,0200	0,2680	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,1253	4,0292	0,0000	0,0255	2,0000	0,0333	0,1647	0,2059	786,294
0,4200	0,0300	0,2814	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,1378	9,3043	0,0000	0,0536	4,0000	0,0667	0,3803	0,4754	907,86
0,4400	0,0400	0,2948	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,1508	15,9956	0,0000	0,0842	6,0000	0,1000	0,6538	0,8172	1040,51
0,4600	0,0500	0,3082	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,1642	24,2827	0,0000	0,1174	8,0000	0,1333	0,9925	1,2406	1184,69
0,4800	0,0600	0,3216	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,1781	34,3542	0,0000	0,1531	10,0000	0,1667	1,4041	1,7552	1340,84
0,5000	0,0700	0,3350	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,1925	46,4077	0,0000	0,1913	12,0000	0,2000	1,8968	2,3710	1509,4
0,5200	0,0800	0,3484	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,2073	60,6500	0,0000	0,2321	14,0000	0,2333	2,4789	3,0986	1690,83
0,5400	0,0900	0,3618	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,2227	77,2970	0,0000	0,2755	16,0000	0,2667	3,1593	3,9491	1885,55
0,5600	0,1000	0,3752	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,2384	96,5735	0,0000	0,3214	18,0000	0,3000	3,9471	4,9339	2094,03
0,5800	0,1100	0,3886	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,2547	118,7136	0,0000	0,3699	20,0000	0,3333	4,8521	6,0651	2316,69
0,6000	0,1200	0,4020	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,2714	143,9605	0,0000	0,4209	22,0000	0,3667	5,8839	7,3549	2553,98
0,6200	0,1300	0,4154	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,2886	172,5663	0,0000	0,4745	24,0000	0,4000	7,0531	8,8164	2806,35
0,6400	0,1400	0,4288	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,3063	204,7923	0,0000	0,5306	26,0000	0,4333	8,3703	10,4628	3074,23
0,6600	0,1500	0,4422	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,3244	240,9089	0,0000	0,5893	28,0000	0,4667	9,8464	12,3080	3358,08
0,6800	0,1600	0,4556	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,3431	281,1956	0,0000	0,6505	30,0000	0,5000	11,4930	14,3663	3658,34
0,7000	0,1700	0,4690	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,3621	325,9409	0,0000	0,7143	32,0000	0,5333	13,3218	16,6523	3975,44
0,7200	0,1800	0,4824	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,3817	375,4425	0,0000	0,7806	34,0000	0,5667	15,3451	19,1813	4309,84
0,7400	0,1900	0,4958	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,4017	430,0070	0,0000	0,8495	36,0000	0,6000	17,5752	21,9690	4661,97
0,7600	0,2000	0,5092	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,4222	489,9504	0,0000	0,9209	38,0000	0,6333	20,0252	25,0315	5032,28
0,7800	0,2100	0,5226	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,4432	555,5976	0,0000	0,9949	40,0000	0,6667	22,7083	28,3854	5421,22
0,8000	0,2200	0,5360	5,0000	0,3500	1,0000	3,0000	90,1500	162,0000	0,8000	0,4646	627,2825	0,0000	1,0715	42,0000	0,7000	25,6382	32,0478	5829,22

ANEXO 2 – Vista seccionada do transportador projetado pelo manual.

