

CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA SENAI: CENTRO DE TECNOLOGIA DA
INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL

Caio Santana Amorim de Lima

**Estudo da viabilidade econômica da produção de fibra de carbono a partir da
poliacrilonitrila**

Rio de Janeiro
2023



Caio Santana Amorim de Lima

**Estudo da viabilidade econômica da produção de fibra de carbono a partir da
poliacrilonitrila**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em engenharia química, da Faculdade de Engenharia Química SENAI CETIQT, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia química.

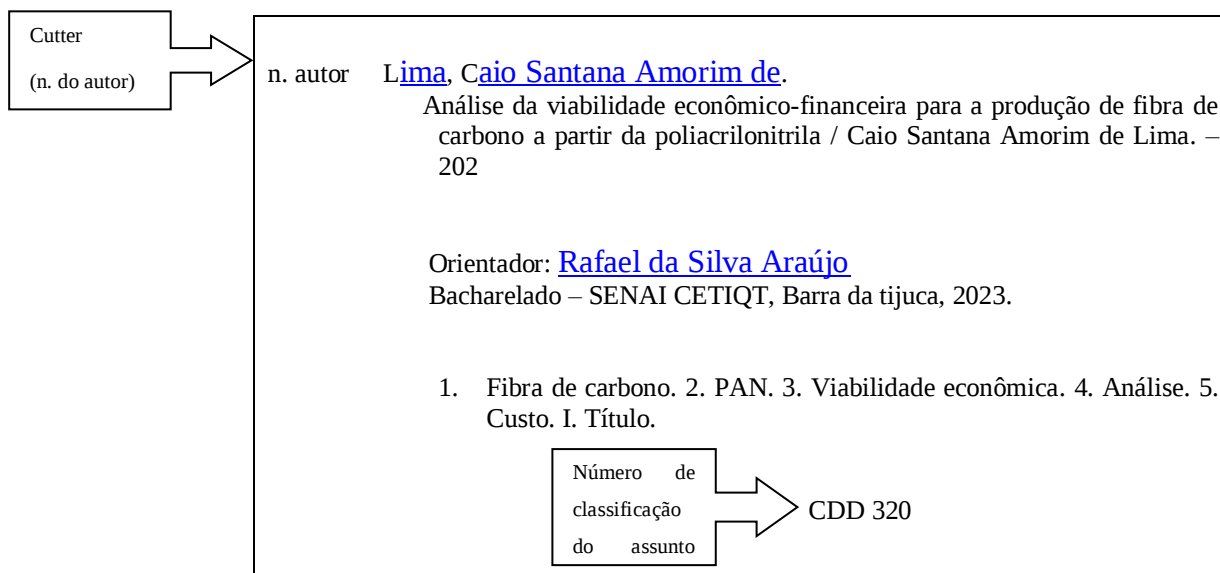
Orientador(a): Rafael da Silva Araújo

Rio de Janeiro

2023

Exemplo:

Ficha Catalográfica



Caio Santana Amorim de Lima

**Estudo de viabilidade econômica da produção de fibra de carbono a partir da
poliacrilonitrila**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em engenharia química, da Faculdade de Engenharia Química SENAI CETIQT, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia química.

Aprovada em: 23/06/2023

Aprovado por:

Rafael da Silva Araújo, Doutor

Orientador: Nome e título

Banca Examinadora:

Igor Lopes Soares, Doutor

Nome, título, instituição

Alex Vazzoler, Doutor, SENAI CETIQT

Nome, título, instituição

Roberto Bentes de Carvalho, Doutor, SENAI CETIQT

Nome, título, instituição

Rio de Janeiro

2023

Dedicatória

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou imensamente grato ao meu orientador, Rafael da Silva Araújo, por sua orientação dedicada, paciência e expertise. Seu compromisso em me guiar durante o processo de pesquisa e redação deste trabalho foi inestimável. Suas sugestões valiosas e feedback construtivo foram fundamentais para o aprimoramento deste estudo.

Agradeço também aos professores e membros da banca examinadora, por dedicarem seu tempo e conhecimento para avaliar este trabalho e fornecer um feedback valioso. Suas contribuições críticas e sugestões ajudaram a aprimorar a qualidade desta pesquisa.

Gostaria de expressar minha gratidão aos meus colegas de classe e amigos que compartilharam seus conhecimentos e experiências ao longo desta jornada acadêmica. Suas discussões estimulantes e apoio mútuo foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

Não posso deixar de agradecer à minha família pelo apoio incondicional ao longo de todo o processo. Suas palavras de encorajamento, compreensão e amor foram um combustível constante para minha motivação. Sou grato pela confiança que depositaram em mim e pelo incentivo contínuo durante os momentos desafiadores.

A todos aqueles que mencionei e a todos os demais que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, meu sincero agradecimento. Este trabalho é fruto de uma rede de apoio e colaboração, e sou grato por ter sido cercado por pessoas incríveis ao longo dessa jornada.

(Epígrafe)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise de viabilidade econômico de uma planta de produção de fibras de carbono em larga escala, considerando métricas financeiras como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e período de retorno do investimento (Payback) . Para o cálculo dos custos operacionais e dos custos de investimentos em bens de capital utilizou-se modelos e metodologias baseadas em referências internacionais. Realizou-se também uma análise de sensibilidade considerando diferentes cenários ao variar-se o preço de venda e a demanda, onde foi visto que o preço por kg da fibra de carbono é mais sensível do que a demanda.

Foi feito os cálculos com uma planta com capacidade máxima de produção de 2000 toneladas por ano, utilizando capacidades de demanda 20% e 40% inferior ao da capacidade máxima, também, foi adotado três valores de mercado para o preço por kg da fibra de carbono, foi adotado a taxa Selic para o cálculo dos demais fatores. Com esses fatores, foi visto uma viabilidade econômica sólida e promissora. Para os cenários adotados no trabalho, o VPL mostrou ser positivo indicando um retorno financeiro expressivo ao longo da vida útil do projeto. Além disso, a TIR mostrou-se ter uma margem favorável, superando a taxa de desconto utilizada em todos os casos, em que o diagrama de valor presente apresentou pelo menos quinze pontos percentuais acima, dando uma boa margem para alteração da TMA caso necessário. O Payback descontado variou de 4,99 anos no pior cenário e para 1,67 anos no melhor cenário adotado, mostrando o tempo necessário de retorno do investimento.

Diante desses resultados, concluiu-se que o projeto possui uma combinação favorável de indicadores econômico-financeiros, de mercado. em que os resultados positivos, indicam uma oportunidade de investimento promissora.

Este trabalho também forneceu uma visão sólida da viabilidade econômica do projeto a partir da aplicação de metodologias com base teórica mostrando sua atratividade e potencial de retorno financeiro na prática. As sugestões para trabalhos futuros objetivaram aprofundar e expandir a análise, fornecendo insights valiosos para a tomada de decisões informadas e embasadas.

Palavras-chave: fibra de carbono, viabilidade econômica, VPL,

ABSTRACT

The present work aimed to carry out an economic feasibility analysis of a large-scale carbon fiber production plant, considering financial metrics such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and payback period (Payback). For the calculation of operating costs and investment costs in capital goods, models and methodologies based on international references were used. A sensitivity analysis was also carried out considering different scenarios by varying the sale price and demand, where it was seen that the price per kg of carbon fiber is more sensitive than the demand.

The calculations were made with a plant with a maximum production capacity of 2000 tons per year, using demand capacities 20% and 40% lower than the maximum capacity, also, three market values were adopted for the price per kg of carbon fiber, the Selic rate was adopted to calculate the other factors. With these factors, a solid and promising economic viability was seen. For the scenarios adopted in the work, the NPV proved to be positive, indicating a significant financial return over the life of the project. In addition, the IRR proved to have a favorable margin, surpassing the discount rate used in all cases, in which the present value diagram was at least fifteen percentage points higher, giving a good margin for changing the TMA if necessary. The discounted Payback ranged from 4.99 years in the worst-case scenario to 1.67 years in the best scenario adopted, showing the necessary time to return the investment. Given these results, it was concluded that the project has a favorable combination of economic-financial and market indicators. where positive results indicate a promising investment opportunity.

This work also provided a solid view of the economic viability of the project from the application of theoretically based methodologies showing its attractiveness and potential financial return in practice. Suggestions for future work aimed to deepen and expand the analysis, providing valuable insights for making informed and informed decisions.

Keywords: carbon fiber, economic viability, NPV, IRR,

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mercado global da fibra de carbono.....	17
Figura 2 -	Mercado da fibra de carbono dos EUA.....	18
Figura 3 -	Produção da fibra de carbono.....	24
Figura 4 -	Processo de wet spinning.....	26
Figura 5 -	Variação do VPL com demanda de 1600 ton/ano com três faixas de preço.....	42
Figura 6 -	Variação do VPL com preço de mercado de R\$123,00/kg com três demandas.....	42
Figura 7 -	Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$103,32/kg para uma demanda de 1600 ton/ano	43
Figura 8 -	Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$123,00/kg para uma demanda de 1600 ton/ano	43
Figura 9 -	Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$123,00/kg para uma demanda de 1600 ton/ano	44
Figura 10 -	Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$123,00/kg para uma demanda de 1200 ton/ano	44
Figura 11 -	Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$123,00/kg para uma demanda de 1600 ton/ano	45
Figura 12 -	Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$123,00/kg para uma demanda de 2000 ton/ano	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Salário Anual de cada operário.....	33
Tabela 2 -	Custo da mão de obra na produção de fibra de carbono.....	39
Tabela 3 -	Custo de produção de 1 kg de fibra de carbono.....	40
Tabela 4 -	Preços de venda e receitas para demanda de 1600 ton/ano com TMA de 13,75% a.a.....	40
Tabela 5 -	Demandas e receitas para o preço de venda de R\$ 123,00 com TMA de 13,75% a.a.....	40
Tabela 6 -	VPL's com 15% de imposto para análise da sensibilidade do preço nos diferentes cenários.....	41
Tabela 7 -	VPL's para análise da sensibilidade da demanda nos diferentes cenários.....	41
Tabela 8 -	TIR para demanda de 1600 ton/ano com três faixas de preço.....	46
Tabela 9 -	TIR para faixa de preço em R\$123,00/kg com três demandas.....	46
Tabela 10 -	Cenário de produção de 1600 ton/ano custando R\$103,32/kg.....	46
Tabela 11 -	Cenário de produção de 1600 ton/ano custando R\$123,00/kg.....	47
Tabela 12 -	Cenário de produção de 1600 ton/ano custando R\$142,68/kg.....	47
Tabela 13 -	Payback descontado com produção de 1600 ton/ano com três faixas de preço de mercado.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
CETIQT	Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

LISTA DE SÍMBOLOS

C_M	Custo do precursor
C_P	Calor específico
H_{oxi}	Energia de oxidação
η	Rendimento
$C_{e,oxi}$	Custo de energia da oxidação
$H_{carb,CF}$	Energia de carbonização da FC
$C_{p,CF}$	Calor específico da fibra de carbono
$H_{carb,N2}$	Energia de carbonização do nitrogênio
H_{carb}	Energia de carbonização total
$C_{e,carb}$	Custo da energia de carbonização
H_{surf}	Energia de tratamento de superfície
$C_{e,surf}$	Custo da energia de tratamento de superfície
$H_{siz,pre}$	Energia de dimensionamento pré-tratamento
$H_{siz,post}$	Energia de dimensionamento pós-tratamento
H_{siz}	Energia de dimensionamento total
λ_{sol}	Solução eletrolítica utilizada por quilograma de fibra de carbono
λ_{emuls}	Solução eletrolítica utilizada por quilograma de CF
C_{sol}	Concentração de solução eletrolítica por quilograma de fibra de carbono
Ω	Energia para parâmetro de tratamento de superfície
ρ	Densidade da fibra de carbono
ϕ	Diâmetro das fibras individuais

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	17
1.1. INTRODUÇÃO	17
1.2. OBJETIVOS.....	20
1.2.1. Objetivo Geral.....	20
1.2.2. Objetivos Específicos	20
1.3. JUSTIFICATIVA	20
1.4. DELIMITAÇÃO.....	21
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1. Fibras de carbono	22
2.1.1. Tipos e aplicações.....	22
2.1.2. Obtenção da fibra de carbono.....	23
2.1.3. Uso de diferentes precursores.....	24
2.2. Obtenção da fibra de carbono através da PAN	24
2.2.1. Características e propriedades da PAN	24
2.2.2. Produção da PAN por <i>wet spinning</i>	25
2.2.3. O uso da PAN como precursor na produção de fibras de carbono	26
2.3. Análise econômica de projetos	27
2.3.1. O conceito de viabilidade econômica	27
2.3.2. Fluxo de caixa.....	27
2.3.3. Valor presente líquido (VPL)	28
2.3.4. Taxa mínima de atratividade (TMA)	28
2.3.5. <i>Payback descontado</i>	29
2.3.6. Taxa interna de retorno (TIR).....	29
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	30
3.1 Obtenção do investimento em bens de capital – custos operacionais (CAPEX).....	30
3.2 Obtenção dos custos operacionais (OPEX).....	30

3.2.1	Oxidação	30
3.2.2	Carbonização	31
3.2.3	Tratamento de superfície	32
3.2.4	Dimensionamento	32
3.2.5	Custos com mão de obra	33
3.2.6	Precursor	34
3.2.7	Obtenção da receita.....	35
3.3	Análise da viabilidade econômica	35
3.3.1	VPL	35
3.3.2	TIR.....	36
3.3.3	<i>Payback descontado</i>	36
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....		37
4.1	Resultados dos custos operacionais	37
4.1.1	Oxidação	37
4.1.2	Carbonização	37
4.1.3	Tratamento de superfície	38
4.1.4	Dimensionamento	38
4.1.5	Mão de obra.....	39
4.1.6	Precursor	39
4.1.7	Custo da fibra	39
4.2	Análises de investimento.....	40
4.2.1	VPL	40
4.2.2	TIR.....	43
4.2.3	<i>Payback descontado</i>	46
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....		49
5.1	Conclusão.....	49
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	50

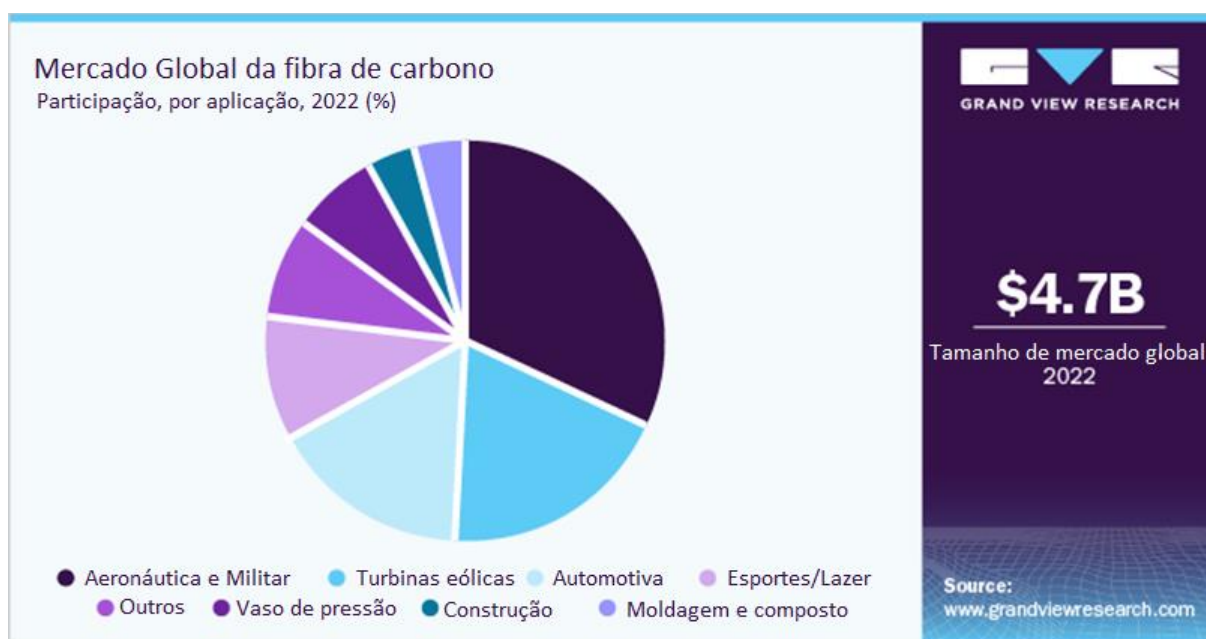
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....51

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO

‘A fibra de carbono é um material de destaque na indústria devido às suas propriedades excepcionais, que incluem alta resistência mecânica, baixa densidade, excelente resistência à corrosão e alta estabilidade térmica. Sua ampla aplicação em setores como aeroespacial, automotivo, esportivo e energético tem impulsionado pesquisas sobre sua viabilidade econômica, como pode ser visto na Figura (1). O mercado da fibra de carbono está em constante crescimento devido as propriedades mencionadas anteriormente, tendo uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 11,1%, segundo a *Grand View Research*. Vendo o potencial econômico da fibra, foi feito este trabalho.

Figura (1) – Mercado global da fibra de carbono

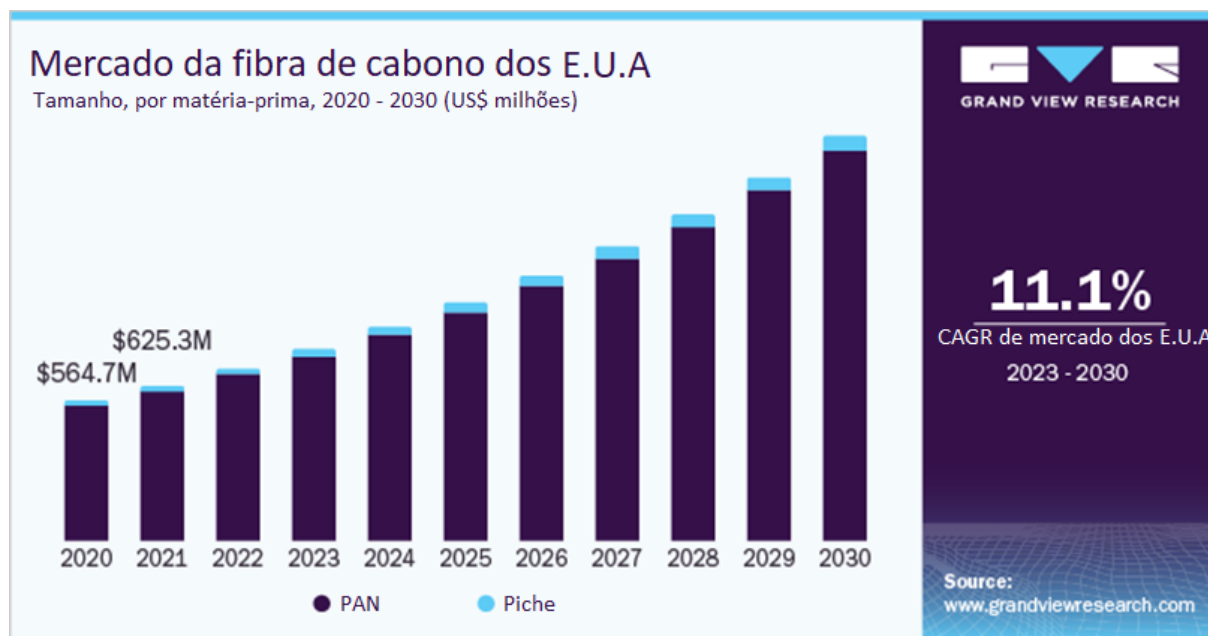


Fonte: *Grand view research*

Uma das principais rotas de produção da fibra de carbono envolve o uso da poliacrilonitrila (PAN) como precursor podendo ser visto na Figura (2), podemos observar a predominância do precursor PAN em relação ao piche. O motivo do precursor escolhido ser o PAN, é devido a presença de nitrogênio na molécula, o que permite melhor manuseio na produção da fibra de carbono resultando em uma fibra de melhor qualidade (Mohd *et al.* 2021). Neste trabalho, é

abordado a viabilidade econômica da fibra de carbono a partir da PAN, considerando suas etapas de produção, características e propriedades.

Figura (2) – Mercado da fibra de carbono dos E.U.A



Fonte: *Grand view research*

Para a obtenção da fibra de carbono, a PAN é utilizada como precursor polimérico devido à sua disponibilidade, custo relativamente baixo e potencial de produzir fibras de alta qualidade. A PAN é dissolvida em um solvente apropriado para formar uma solução viscosa, e em seguida, o processo de *wet spinning* é empregado. Nessa técnica, a solução polimérica é forçada a passar por pequenos orifícios, chamados de fieiras, resultando na formação de filamentos contínuos. Esses filamentos são então imersos em um banho de coagulação, onde ocorre a precipitação do polímero e a formação de fibras sólidas de PAN (Ma *et al.* 2020).

Neste trabalho, serão analisados os aspectos relacionados à viabilidade econômica da produção da fibra de carbono a partir da PAN obtida pelo processo de *wet spinning*. Serão considerados os custos envolvidos nas etapas de produção da fibra de carbono, como a oxidação, carbonização, tratamento de superfície e dimensionamento da fibra, bem como a análise dos benefícios econômicos gerados pela utilização desse material de alto desempenho.

Tendo o custo de investimento juntamente dos custos operacionais, será então feita a análise da viabilidade econômica da fibra de carbono, onde será apresentado o valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), análise de sensibilidade e *payback descontado*

como medidas de análise de viabilidade econômica para a fibra de carbono. O VPL será utilizado para medir a atratividade da fibra, podendo então observar o retorno líquido da fibra. O TIR é a taxa de desconto que iguala o VPL a zero, portanto, saber a TIR máxima que pode ser trabalhada e saber as taxas de desconto que podem ser trabalhadas com a TIR é possível variar a taxa mínima de atratividade para maior rentabilidade do projeto. A análise de sensibilidade será utilizada para averiguar qual variável é mais sensível a mudança, sendo dois cenários estabelecidos, que são a capacidade de produção e o preço por kg de mercado da fibra de carbono. O *payback descontado* será utilizado para saber o tempo de retorno do projeto investido.

Esse trabalho foi feito com uma planta de fibra de carbono com capacidade de produção máxima de 2000 ton/ano. Para o preço por kg da fibra, foi feita uma pesquisa de mercado, onde a fibra varia de R\$ 103,23/kg até R\$142,68/kg. Com essa capacidade de produção e faixa de preço, para os cenários da análise de viabilidade econômica, foram utilizados uma capacidade de produção de 1200 ton/ano, 1600 ton/ano e 2000 ton/ano, sendo o cenário pessimista com 60% de produção, cenário neutro com 80% de capacidade de produção e cenário mais otimista com 100% de capacidade de produção. Para as faixas de preço, foram consideradas três faixas de preço de mercado, sendo elas R\$ 103,23/kg, R\$ 123,00/kg e R\$ 142,68/kg, sendo o cenário mais pessimista com uma faixa de preço de R\$ 103,32/kg, cenário neutro com faixa de preço de R\$ 123,00/kg e cenário mais otimistas com R\$ 142,68/kg. Com esses parâmetros, foi feito as análises de viabilidade econômica.

Por fim, é importante ressaltar que a análise da viabilidade econômica para a produção da fibra de carbono é fundamental para o desenvolvimento e implementação desse processo em larga escala, contribuindo para o avanço da indústria química e o desenvolvimento de novos materiais e processos mais eficientes e sustentáveis.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi verificar a viabilidade econômica para produção de fibra de carbono em larga escala utilizando a poliacrilonitrila como precursor.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o processo de obtenção da fibra de carbono e as condições requeridas.
- Estimar os custos de investimentos e operacionais envolvidos no processo, através da pesquisa bibliográfica.
- Avaliar a viabilidade econômica através da aplicação de diferentes técnicas de análise de investimento
- Analisar a viabilidade econômica simulando diferentes cenários econômicos para a produção das fibras de carbono incluindo preços de mercado, imposto e capacidade.

1.3. JUSTIFICATIVA

A literatura demonstra uma demanda crescente por novos materiais de alto desempenho, com aplicação em diferentes setores como o naval, aeroespacial e automobilístico fortalecendo a indústria têxtil e de compósitos, com o desenvolvimento de processos mais eficientes e sustentáveis. A análise econômica é fundamental para determinar a viabilidade de processo e identificar possíveis oportunidades de mercado para a produção de fibras de alta performance. Com os resultados obtidos foi avaliado se as fibras de carbono são uma alternativa economicamente viável.

1.4. DELIMITAÇÃO

O presente estudo se concentra-se exclusivamente na análise da viabilidade econômica da produção de fibra de carbono a partir do precursor PAN, pois de acordo com Gill *et al.* (2017) 96% da fibra de carbono mundial é produzida a partir de um precursor de PAN, e com os dados da *grand view research* na Figura (2), podemos ver que até mesmo o piche que é o segundo maior precursor utilizado para fibra de carbono, não tem um desempenho econômico e qualidade de fibra tão bom. Com isso o foco está na viabilidade econômica do processo padrão de produção, tendo a oxidação, carbonização, tratamento de superfície e dimensionamento, excluindo possíveis variações ou métodos alternativos. O estudo se limitou a seis anos de uma planta, com o tempo da planta, não foram considerados a vida útil do equipamento, custos de manutenção e depreciação, porém são recomendados para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Fibras de carbono

As fibras de carbono são materiais compostos por filamentos finos e longos de carbono, com diâmetros na faixa de micrômetros (Adams, 2005). Essas fibras apresentam uma combinação única de propriedades mecânicas e físicas que as tornam altamente desejáveis para diversas aplicações na engenharia.

Essas fibras são conhecidas por sua alta resistência específica, ou seja, sua resistência mecânica em relação ao peso (Adams, 2005). Elas são consideravelmente mais leves e, ao mesmo tempo, mais resistentes do que outros materiais estruturais tradicionais, como o aço. Essa propriedade é extremamente valiosa em setores como aeroespacial, automotivo e esportivo, onde a redução de peso é uma preocupação constante para melhorar a eficiência e o desempenho dos produtos.

Além disso, as fibras de carbono também possuem alta rigidez, o que significa que elas são capazes de resistir à deformação sob carga (Adams, 2005). Essa característica é particularmente importante em aplicações que requerem estabilidade dimensional, como estruturas aeroespaciais e equipamentos de precisão. A rigidez das fibras de carbono contribui para a resistência à fadiga e para a capacidade de suportar cargas repetitivas ao longo do tempo sem falhas.

Outra propriedade notável das fibras de carbono é a sua excelente resistência à corrosão (Adams, 2005). Diferentemente de muitos materiais metálicos, as fibras de carbono não sofrem oxidação e degradação em ambientes corrosivos, o que amplia ainda mais a sua aplicabilidade em condições adversas.

2.1.1. Tipos e aplicações

De acordo com Bhattacharyya (2019) existem diferentes tipos de fibras de carbono disponíveis, cada uma com características específicas para atender às demandas de diferentes aplicações industriais. As fibras de carbono de alta resistência (HSCF) são utilizadas em aplicações que requerem máxima resistência mecânica, como componentes estruturais de aeronaves e automóveis de alto desempenho. Já as fibras de carbono de alto módulo (HMC) são empregadas em aplicações que necessitam de rigidez e baixa deformação, como

equipamentos esportivos de alto desempenho, como raquetes de tênis e varas de pesca. Além disso, há também as fibras de carbono isotrópicas, que possuem propriedades mecânicas balanceadas e são amplamente utilizadas em diversas aplicações industriais. (Bhattacharyya 2019).

2.1.2. Obtenção da fibra de carbono

A primeira etapa é a oxidação, na qual a poliacrilonitrila (PAN) é submetida a um tratamento térmico em uma atmosfera controlada de oxigênio. Esse processo promove a eliminação dos grupos funcionais não carbonáceos, como hidrogênio e oxigênio, presentes na estrutura molecular da PAN. A oxidação é crucial para estabilizar a estrutura da fibra, removendo impurezas e conferindo maior resistência térmica (Adams, 2005). Essa etapa também contribui para o aumento da estabilidade dimensional e da retenção das propriedades mecânicas durante as etapas subsequentes.

Após a oxidação, as fibras de PAN oxidada são submetidas à carbonização. Nessa etapa, as fibras são aquecidas a altas temperaturas, geralmente em um ambiente livre de oxigênio ou com baixo teor de oxigênio. Durante a carbonização, ocorre a eliminação adicional de elementos não carbonáceos, resultando em um teor de carbono mais elevado nas fibras (Queiroz 2008; Gill *et al.* 2017). A carbonização é responsável pela formação da estrutura de carbono, conferindo às fibras resistência mecânica e estabilidade térmica.

Após a carbonização, as fibras de carbono passam por um tratamento de superfície. Essa etapa envolve o uso de tratamentos químicos ou físicos para melhorar a adesão entre as fibras de carbono e a matriz em que serão incorporadas em compósitos ou estruturas (Adams, 2005). O tratamento de superfície pode incluir a aplicação de agentes de acoplamento ou tratamentos de plasma, visando otimizar as propriedades de interface e a transferência de carga entre as fibras e a matriz.

Por fim, as fibras de carbono são submetidas ao processo de dimensionamento. Nessa etapa, são aplicadas camadas finas de materiais poliméricos, conhecidos como agentes de dimensionamento, nas superfícies das fibras. Esses agentes desempenham um papel fundamental na proteção das fibras de carbono, reduzindo o atrito entre as fibras e facilitando o manuseio durante a fabricação de compósitos ou durante a tecelagem (Queiroz 2008; Gill *et al.* 2017). Além disso, o dimensionamento ajuda a melhorar a adesão entre as fibras e a matriz,

contribuindo para a eficiência do compósito final. O processo inteiro de produção da fibra de carbono pode ser visto na Figura (3):

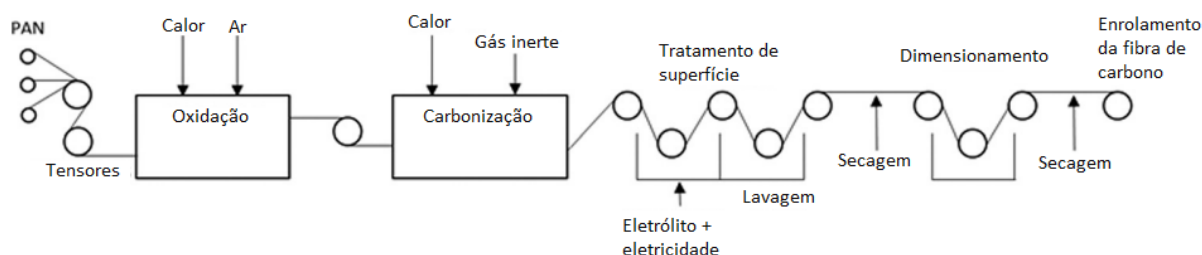


Figura (3) Produção da fibra de carbono

Fonte: Gill *et al.* (2017)

2.1.3. Uso de diferentes precursores

Diferentes precursores podem ser utilizados na produção da fibra de carbono, além da poliacrilonitrila (PAN). Além da PAN, outros precursores comumente empregados na fabricação de fibras de carbono incluem o alcatrão de petróleo e as fibras de celulose.

O alcatrão de petróleo, um subproduto da produção de coque a partir de carvão, pode ser utilizado como precursor para a fibra de carbono. As fibras de celulose, derivadas de fontes naturais como a madeira, também podem ser usadas como precursores para a produção de fibras de carbono. A escolha do precursor depende das propriedades desejadas e das aplicações específicas das fibras de carbono. Cada precursor apresenta características únicas que influenciam as propriedades finais das fibras, como resistência mecânica, rigidez, condutividade elétrica e térmica.

2.2. Obtenção da fibra de carbono através da PAN

2.2.1. Características e propriedades da PAN

A poliacrilonitrila (PAN) é um precursor amplamente utilizado na produção de fibras de carbono de alta qualidade (Adams, 2005). A PAN é um polímero termoplástico com uma estrutura rica em átomos de nitrogênio, o que contribui para sua alta estabilidade térmica. Essa estabilidade permite que a PAN seja submetida a altas temperaturas durante as etapas de estabilização térmica, carbonização e grafitação, resultando em fibras de carbono de alta resistência e baixo teor de impurezas (Adams, 2005).

Além de sua estabilidade térmica, a PAN também apresenta outras propriedades favoráveis para a produção de fibras de carbono. Ela possui uma alta relação de carbono para nitrogênio, o que contribui para a formação de uma estrutura de carbono densa e ordenada durante o processo de carbonização (Bhattacharyya, 2019). Essa estrutura cristalina é responsável pela resistência e rigidez das fibras de carbono resultantes.

Outra característica importante da PAN é sua disponibilidade e facilidade de processamento (Adams, 2005). Ela pode ser produzida em grande escala a partir de acrilonitrila, um monômero amplamente disponível. Além disso, a PAN apresenta uma boa capacidade de fusão e moldagem, permitindo a fabricação de fibras de carbono com diferentes formas e tamanhos.

2.2.2. Produção da PAN por *wet spinning*

Wet spinning, também conhecido como processo úmido de fiação, é uma técnica utilizada na produção de fibras de carbono a partir de precursores poliméricos. Nesse processo, o precursor é dissolvido em um solvente adequado para formar uma solução viscosa (Ma *et al.* 2020).

O processo de *wet spinning* apresenta diversas vantagens na produção de fibras PAN. Ele permite um melhor controle do diâmetro das fibras, resultando em fibras com tamanhos específicos para diferentes aplicações. Além disso, oferece a possibilidade de obter fibras contínuas com boa orientação molecular e baixo teor de impurezas, o que contribui para o aprimoramento das propriedades finais da fibra de carbono (Ma *et al.* 2020).

Durante o *wet spinning*, a solução polimérica é forçada a passar por pequenos orifícios chamados de fiapos, resultando na formação de filamentos contínuos. Esses filamentos são imersos em um banho de coagulação, geralmente contendo um solvente não miscível com o solvente da solução polimérica. A coagulação ocorre quando o solvente do banho penetra na solução polimérica e causa a precipitação do polímero, formando fibras sólidas ((Ma *et al.* 2020). O processo de *wet spinning* pode ser visto na Figura (4):

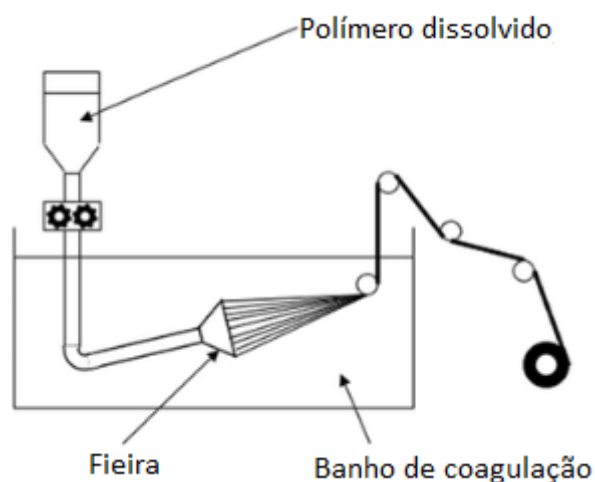


Figura (4) Processo de *wet spinning*

Fonte: Mohd *et al.* (2021)

2.2.3. O uso da PAN como precursor na produção de fibras de carbono

Do ponto de vista químico, a PAN possui uma estrutura polimérica com uma proporção ideal de átomos de carbono e nitrogênio. Isso é crucial, pois durante o processo de carbonização, a PAN passa por uma série de transformações químicas, incluindo a liberação de elementos não carbonáceos, como hidrogênio e oxigênio. A presença adequada de átomos de nitrogênio na PAN contribui para a formação de uma estrutura de carbono altamente ordenada, com menor formação de porosidade e menor teor de impurezas nas fibras de carbono resultantes (Bhattacharyya, 2019). Essa estrutura densa e livre de impurezas é responsável pela alta resistência mecânica e pela excelente condutividade térmica e elétrica das fibras de carbono.

Em termos de propriedades térmicas, a PAN exibe uma estabilidade excepcional em altas temperaturas. Durante as etapas de processamento das fibras de carbono, a PAN é submetida a temperaturas progressivamente mais elevadas para promover a estabilização térmica, a carbonização e a grafitação. A PAN possui um intervalo de temperatura adequado para cada etapa, permitindo a formação controlada da estrutura de carbono desejada (Adams, 2005). Essa estabilidade térmica garante que as fibras de carbono resultantes sejam capazes de suportar condições extremas de temperatura em várias aplicações, desde componentes de aeronaves até revestimentos de proteção térmica em equipamentos industriais.

No aspecto mecânico, a combinação das propriedades da PAN resulta em fibras de carbono com alta resistência específica, rigidez e tenacidade. A presença de uma estrutura cristalina

densa na fibra de carbono, formada a partir da PAN, confere a ela uma resistência mecânica significativa, permitindo suportar altas cargas e tensões sem falhas (Bhattacharyya, 2019). Além disso, a rigidez das fibras de carbono derivadas da PAN é essencial para aplicações que exigem estabilidade dimensional e resistência à deformação, como componentes estruturais em aeroespacial e engenharia civil.

2.3. Análise econômica de projetos

2.3.1. O conceito de viabilidade econômica

A viabilidade financeira de um projeto está diretamente relacionada à capacidade de geração de fluxos de caixa positivos ao longo do tempo, considerando o investimento necessário e os custos, despesas, juros e TMA envolvidos na operação.

Um trabalho com a análise da viabilidade financeira de um projeto de investimento em uma planta de produção de fibras deve levar em conta diversos fatores, como a demanda do mercado, a capacidade produtiva, os custos fixos e variáveis, o preço de venda, os investimentos necessários em ativos fixos e a análise dos fluxos de caixa projetados.

Para avaliar a viabilidade financeira do projeto, são utilizadas diversas técnicas de análise financeira, como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *payback descontado*.

Além disso, o estudo de Machado et al. (2021) demonstra a importância da análise de mercado para a definição do preço de venda das fibras e para a identificação de oportunidades de expansão do negócio.

2.3.2. Fluxo de caixa

O fluxo de caixa é uma importante ferramenta de análise financeira que permite avaliar a movimentação de recursos financeiros de uma empresa em um determinado período. No contexto de um projeto de investimento em uma planta de produção de fibras por wet spinning, o fluxo de caixa pode ser utilizado para avaliar a viabilidade financeira do projeto e estimar a geração de caixa ao longo do tempo.

De acordo com o estudo de Vasconcelos et al. (2019), o fluxo de caixa deve ser elaborado com base nas projeções de receitas e despesas do projeto, considerando o investimento inicial, os custos de operação, as receitas provenientes das vendas e os impostos e taxas aplicáveis.

A análise do fluxo de caixa pode ser utilizada em conjunto com outras técnicas de análise financeira, como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *payback descontado*, para avaliar a viabilidade financeira de um projeto de investimento em uma planta de produção de fibras.

2.3.3. Valor presente líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma importante técnica de análise financeira que permite avaliar a viabilidade econômica de um projeto de investimento, incluindo um projeto de construção de uma planta de produção de fibras de carbono. O VPL é obtido por meio da soma do valor presente das entradas de caixa do projeto, descontado pelo custo de oportunidade do capital investido, menos o valor presente das saídas de caixa do projeto, também descontado pelo custo de oportunidade do capital investido. O VPL positivo indica que o projeto é viável economicamente, enquanto um VPL negativo indica que o projeto não é viável.

O estudo de Pereira et al. (2018) destaca que a utilização do VPL como técnica de análise financeira deve ser realizada em conjunto com outras técnicas, como a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *payback descontado*, para uma avaliação mais completa da viabilidade econômica do projeto.

Com isso, será feito o cálculo do VPL nesse trabalho para poder analisar a viabilidade econômica da planta proposta, de capacidade de produção de 2000 toneladas por ano, com três faixas de preço determinadas pelo mercado.

2.3.4. Taxa mínima de atratividade (TMA)

A taxa mínima de atratividade é uma taxa de retorno que deve ser alcançada por um projeto de investimento para que seja considerado atrativo para os investidores. Essa taxa pode variar de acordo com o risco do projeto e com as oportunidades de investimento disponíveis no mercado financeiro. Levando isso em consideração, para a TMA deste trabalho, será utilizado a taxa Selic, utilizada no Brasil. De acordo com o banco central do Brasil, em junho de 2023 a taxa Selic se encontra em 13,75%, sendo então a TMA adotada.

A obtenção da taxa mínima de atratividade em si não é uma técnica de análise investimentos, porém, nesse trabalho, a TMA será usada para determinar diferentes VPL's, fazendo isso, será possível a determinação da TIR.

2.3.5. *Payback descontado*

Payback descontado é uma técnica utilizada na análise financeira para avaliar o tempo necessário para que um projeto de investimento recupere o investimento inicial realizado. É um indicador importante para auxiliar na tomada de decisão sobre a viabilidade econômica de um projeto.

Como foi adotado uma TMA de 13,75%, serão descontados essa taxa no *payback*. O cálculo do *Payback Descontado* considera o investimento inicial e o fluxo de caixa descontado em cada período. A soma acumulada dos valores presentes é calculada até que a recuperação do investimento seja alcançada. Esse período de recuperação representa o *Payback Descontado*, indicando o tempo necessário para que o investimento seja recuperado em termos de valor presente.

Juntando o VPL, *payback descontado* e TIR, é possível ter uma análise de viabilidade econômica melhor, portanto, o *payback descontado* foi calculado para ter esse dado importante.

2.3.6. Taxa interna de retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma das principais técnicas de análise financeira utilizadas na avaliação de projetos de investimento. Segundo Assaf Neto (2016), a TIR é a taxa de juros que iguala o valor presente dos fluxos de caixa de um projeto ao seu investimento inicial. Em outras palavras, é a taxa que torna o Valor Presente Líquido (VPL) igual a zero.

Como o VPL é uma medida que retorna a rentabilidade de um projeto, ele sendo positivo, nulo ou negativo, saber a taxa que o anula é importante para a análise da viabilidade econômica, pois sabendo a taxa que anula o VPL é possível considerar o mesmo projeto com diferentes taxas e ajustar o projeto conforme o necessário, com isso, é essencial o cálculo da TIR para este trabalho.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

3.1 Obtenção do investimento em bens de capital – custos operacionais (CAPEX)

De acordo com Queiroz (2016), plantas de produção de fibra de carbono exigem um alto custo de capital e um investimento do tipo “very long-term payback”, sendo assim os períodos de retorno do investimento são muito longos, em vista disso a magnitude do investimento de empresas nesse setor chegou a até US\$ 1,4 bilhões no ano de 2007 (Queiroz 2016). Para o custo de investimento de uma planta, foi utilizado como referência o trabalho de Nunna et al. (2019), aonde uma planta com capacidade de produção de 2000 toneladas por ano foi assumida, tendo um custo de investimento de R\$147.149.998,8 tendo assim, o CAPEX utilizado.

3.2 Obtenção dos custos operacionais (OPEX)

Foi utilizado um modelo proposto por Gill *et al.* (2017) para calcular os custos de produção de 1 kg de fibra de carbono a partir de PAN, utilizando esse modelo foi possível determinar não só o valor da fibra, como também é possível determinar o VPL, TIR etc.

De acordo com Gill *et al.* (2017) a produção de fibra de carbono a partir de PAN, são necessárias cinco etapas, sendo elas oxidação, carbonização, tratamento de superfície, dimensionamento e enrolamento. Com isso, serão calculados o custo de cada etapa para saber o valor final da fibra de carbono e então, comparar o valor com o do mercado.

O custo da energia elétrica para pequena e média indústria nacional, segundo uma publicação de Gandra (2017), foi de R\$504 por MWh, convertendo temos então R\$ 0,504 por kWh, sendo esse valor utilizado para calcular o custo de energia em cada etapa.

3.2.1 Oxidação

De acordo com Gill *et al.* (2017), o processo de oxidação tem como vantagem a presença do oxigênio no ar atmosférico, diminuindo o custo dessa etapa, porém ainda possui gasto de energia bastante elevado. Nesse processo de oxidação, temos a incorporação do oxigênio no PAN, fazendo com que a molécula que era linear se torne uma cadeia cíclica para que tenha mais estabilidade na próxima etapa de carbonização.(Gill *et al.* 2017)

Para calcular o custo dessa etapa, tem-se as seguintes Equações (1) e (2):

$$H_{oxi} = \eta \cdot \int_{T_i}^{T_f} C_p(T) dT \quad (1)$$

$$C_{E,oxi} = H_{oxi} \cdot \text{Custo da eletricidade por unidade de eletricidade} \quad (2)$$

Em que:

C_p	Calor específico	$MJ/kg \cdot K$
H_{oxi}	Energia de oxidação	MJ/kg_{CF}
η	Rendimento	%
$C_{E,oxi}$	Custo de energia da oxidação	R\$/kg

3.2.2 Carbonização

De acordo com Gill et al. (2017), após o processo de oxidação, a fibra PAN estabilizada é aquecida em uma atmosfera inerte para que seja convertida em fibra de carbono. Nessa etapa, é utilizado nitrogênio como gás inerte, pois ele reage com os hidrogênios da fibra PAN permitindo apenas a manutenção das ligações carbono-carbono onde ele entra como produto químico na Tabela (3), também se têm o gasto de energia nessa etapa com as Equações (3), (4), (5) e (6):

$$H_{carb,CF} = \int_{T_i}^{T_f} C_{p,CF}(T) dT \quad (3)$$

$$H_{carb,inert} = M_{inert} \int_{T_i}^{T_f} C_{p,inert}(T) dT \quad (4)$$

$$H_{carb} = H_{carb,CF} + H_{carb,inert} \quad (5)$$

$$C_{E,carb} = (H_{carb}) \cdot \text{Custo da eletricidade por unidade} \quad (6)$$

Em que:

$H_{carb,CF}$	Energia de carbonização da FC	MJ/kg_{FC}
$C_{p,CF}$	Calor específico da fibra de carbono	$MJ/kg \cdot K$
H_{carb,N_2}	Energia de carbonização do nitrogênio	MJ/kg_{N_2}
H_{carb}	Energia de carbonização total	MJ/kg_{CF}

$C_{e,carb}$ Custo da energia de carbonização R\$/kg

3.2.3 Tratamento de superfície

De acordo com Gill *et al.* (2017), para melhorar as propriedades da FC, é feito uma etapa para o tratamento de superfície onde é utilizado a resinas de matriz para aumentar a adesão da fibra, onde se passa a fibra por um banho eletrolítico, geralmente contendo ácido sulfúrico, tornando a superfície rugosa, aumentando assim a superfície. Quimicamente, as fibras eletricamente condutoras formam o ânodo na eletrólise, o que causa grupos contendo carbonila a se formar na superfície na fibra, o que proporciona grupos carbonila, melhorando a coesão com a resina da matriz. (Gill *et al.* 2017). Temos então as Equações (7) e (8):

$$H_{surf} = \frac{4\Omega}{\rho\phi} \quad (7)$$

$$C_{E,surf} = H_{surf} \cdot \text{Custo da eletricidade por unidade} \quad (8)$$

Em que:

H_{surf} Energia de tratamento de superfície **MJ/kg_{FC}**

$C_{e,surf}$ Custo da energia de tratamento de superfície R\$/kg

Ω Energia para parâmetro de tratamento de superfície $\left(\frac{V \cdot A \cdot \text{min}}{m^2} \right) \left(\frac{60 \text{ s}}{\text{min}} \cdot \frac{\frac{J}{s}}{V \cdot A} \right)$

ρ Densidade da fibra de carbono **kg/m³**

ϕ Diâmetro das fibras individuais **μm**

3.2.4 Dimensionamento

De acordo com Gill *et al.* (2017) nesta etapa é aplicado, para proteger e lubrificar as fibras, uma resina, que aumenta o peso da fibra, podendo ser calculado com as Equações (9), (10), (11) e (12):

$$H_{siz,pre} = \int_{T_{i,pre}}^{T_{i,pre}} C_{p,CF}(T) dT \quad (9)$$

$$H_{siz,post} = \int_{T_{i,post}}^{T_{f,post}} C_{p,CF}(T) dT \quad (10)$$

$$H_{siz} = H_{siz,pre} + H_{siz,post} \quad (11)$$

$$C_{E,siz} = H_{siz} \cdot \text{Custo por unidade da eletricidade} \quad (12)$$

Em que:

$H_{siz,pre}$	Energia de dimensionamento pré-tratamento	<i>MJ/kg_{FC}</i>
$H_{siz,post}$	Energia de dimensionamento pós-tratamento	<i>MJ/kg_{FC}</i>
H_{siz}	Energia de dimensionamento total	<i>MJ/kg_{FC}</i>
$C_{E,siz}$	Custo da energia de dimensionamento	R\$/kg

3.2.5 Custos com mão de obra

Para o cálculo da mão de obra, foi utilizado dados sobre a força operária de uma planta de fibra de carbono com capacidade de produção, segundo Nunna *et al.* (2019). Com os dados do salário anual de cada operário, foi calculado o custo anual da mão de obra, podendo ser visto na Tabela (1):

Tabela 1 – Salário anual de cada operário (contínua)

Linha operária				
	Trabalhador		Salário anual	Turnos
Operador	18	R\$	3.985.200,00	3
Supervisor	3	R\$	811.800,00	3
Recuperação de polímero	3	R\$	664.200,00	3
Serviços de suporte				
Unidade de refrigeração	2	R\$	442.800,00	3
Usina de efluentes	2	R\$	442.800,00	3
Destilação	2	R\$	442.800,00	3

Tabela (1) – Salário anual de cada operário (conclusão)

Vapor	2	R\$	442.800,00	3
Manutenção	2	R\$	442.800,00	3
Laboratório	1	R\$	246.000,00	2
	Trabalhador		Salário anual	Turnos
Filtração	2	R\$	442.800,00	3
Gerenciamento				
Gerente	3	R\$	1.476.000,00	1
Oficial administrativo	3	R\$	885.600,00	1
RH	3	R\$	885.600,00	1
Serviços de manuseio				
Operadores de empilhadeira	2	R\$	442.800,00	3
Empacotamento	2	R\$	442.800,00	3
Loja de ferramentas	2	R\$	492.000,00	2

Fonte: Nunna *et al.* 2019

3.2.6 Precursor

Com os valores calculados, foi feito o cálculo do precursor para saber custo final para a produção de 1 kg da fibra de carbono. Para o cálculo do precursor, teremos o custo do precursor PAN por quilograma, a quantidade de fibra de carbono produzida desejada, que é de 1kg, e o rendimento que 1 kg de precursor gera, que é de 50%. Isso se deve ao fato de que de acordo com Gill *et al.* (2017), 50% do precursor PAN é perdido na etapa de carbonização, então temos a Equação (13):

$$C_M = \text{custo do precursor por quilograma} \cdot \frac{\text{Quantidade de FC produzida}}{\text{Rendimento}} \quad (13)$$

3.2.7 Obtenção da receita

Para a obtenção de receita, foi feito o preço de mercado da fibra de carbono diminuído do custo de produção, obtendo-se assim o lucro obtido para a venda de 1 kg de fibra de carbono.

3.3 Análise da viabilidade econômica

3.3.1 VPL

Para o cálculo do VPL, foi utilizada a Equação (14):

$$VPL = \sum \left[\frac{\text{Fluxo de caixa anual}}{(1 + TMA)^t} \right] - \text{Parcela anual do custo de investimento} \quad (14)$$

Também conhecida como taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA), ela é utilizada para saber a remuneração mínima que um investimento precisa para que ofereça um retorno econômico. Para este trabalho, foi utilizado a taxa SELIC, que é uma taxa básica de juros da economia, de acordo com o banco central, a taxa Selic se encontra em 13,75% a.a em junho de 2023, e será esta a utilizada para o trabalho.

Diante da obtenção do CAPEX, OPEX e da capacidade produtiva da planta, obteve-se os valores de VPL considerando diferentes análises de sensibilidade em três cenários:

Análise da sensibilidade em função da variação da capacidade produtiva

Como a planta tem capacidade para produção de 2000 toneladas por ano, e fixando-se um preço de R\$ 123,00/kg, temos:

- ✓ Otimista: considerando a capacidade produtiva máxima de 2000 toneladas/ano
- ✓ Neutro: considerando a perda de 20% da capacidade produtiva de 1600 toneladas/ano
- ✓ Pessimista: considerando a perda de 40% da capacidade produtiva de 1200 toneladas/ano

Análise da sensibilidade em função da variação do preço de venda

Para análise destes cenários, foi feita uma busca de mercado para procurar os valores de fibra de carbono no mercado, como o valor da fibra pode variar de R\$ 98,47/kg a R\$147,71/kg, portanto, foram construídos os seguintes cenários fixando-se a capacidade de produção de 1600 toneladas por ano:

- ✓ Otimista: preço de venda igual a R\$ 142,68/Kg
- ✓ Neutro: preço de venda igual a R\$ 123,00/Kg

- ✓ Pessimista: preço de venda igual a 103,32/Kg

3.3.2 TIR

Para a obtenção da taxa interna de retorno (TIR), foi construído o diagrama de valor presente segundo os diferentes cenários e sensibilidades mencionado anteriormente. O objetivo foi calcular a TIR, para os valores nulos de VPL. Pois calculando-se a TIR em que o VPL é nulo, podemos então verificar quais taxas podem ser utilizadas ainda se esperando um retorno econômico, por isso, o cálculo da TIR pelo diagrama do valor presente é essencial.

3.3.3 Payback descontado

Para o cálculo do *payback descontado*, foi utilizado o método do fluxo de caixa descontado onde para cada cenário, considerando a variação do preço de venda e da demanda, calculou-se o VPL ano a ano. Para se obter um valor mais exato também se utilizou o método algébrico segundo a equação para qual o VPL é igual a zero. A Equação (15) é o cálculo do payback

$$VPL = -investimento + (receita - custo) \cdot \frac{(1 - \left(\frac{1}{(1+i)^n}\right))}{i} = 0 \quad (15)$$

Em que:

i = TMA

n= *Payback descontado*

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados dos custos operacionais

4.1.1 Oxidação

De acordo com Gill *et al.* (2017), as temperaturas iniciais e finais são respectivamente $T_i = 298\text{ K}$ e $T_f = 473\text{ K}$. O processo geralmente resulta com um $\eta = 55\%$ sendo considerado que 1 mol de PAN pesa 53g, então, utilizando esses parâmetros na equação (1), podemos calcular a energia necessária dessa etapa:

$$H_{oxi} = 0,55 \cdot \int_{298}^{473} C_p(T) dT = 0,4899 \frac{MJ}{kg_{CF}}$$

Com a energia necessária para essa etapa calculada, podemos utilizar o dado do custo de energia, sendo ele de R\$ 0,504 MWh, introduzindo esse dado na Eq (2), junto da energia requerida para esse processo, temos:

$$C_{E,oxi} = 0,4899 \cdot 0,504 = \text{R\$ } 0,2469/kg$$

4.1.2 Carbonização

De acordo com Gill *et al.* (2017), as temperaturas iniciais e finais da etapa de carbonização para a fibra, são de 573 K e 1573 K, utilizando esses parâmetros na Eq (3) é possível calcular a energia de carbonização da fibra:

$$H_{carb,CF} = \int_{573}^{1573} C_{p,CF}(T) dT = 1,91 \frac{MJ}{kg_{CF}}$$

Calculado a energia de carbonização da fibra, é então calculada a energia necessária para esquentar o gás inerte, sendo o nitrogênio, nessa etapa. Com temperaturas iniciais de 298 K e finais de 1573 K, calor específico de $1,157 \frac{KJ}{kg_{N_2} \cdot K}$ e a relação do nitrogênio para carbono de $0,94 \frac{kg_{N_2}}{kg_{CF}}$, podemos inserir os parâmetros na Eq (4) para obtermos a energia do gás inerte:

$$H_{carb,N_2} \approx 0,94 \frac{kg_{N_2}}{kg_{CF}} \cdot 1,157 \frac{KJ}{kg_{N_2} \cdot K} (1573 - 298)K = 1,39 \frac{MJ}{kg_{CF}}$$

Com as duas energias calculadas, basta somar as duas energias para obter a energia total dessa operação, como visto na Eq (5), e por fim, utilizar a energia total da etapa de carbonização com o custo de energia de MWh no Brasil na Eq (6):

$$H_{carb} = H_{carb,CF} + H_{carb,N_2} = 3,3 \frac{MJ}{kg_{CF}}$$

$$C_{E,carb} = 3,3 \cdot 0,504 = R\$ 1,6632/kg$$

4.1.3 Tratamento de superfície

Para o cálculo de energia necessário do tratamento de superfície, todos os parâmetros foram dados no trabalho de Gill et al. (2017), inserindo os parâmetros na Eq (7):

$$H_{surf} = 2 \left(\frac{V \cdot A \cdot mi}{m^2} \right) \left(\frac{60 s}{min} \cdot \frac{\frac{I}{s}}{V \cdot A} \right) \frac{4}{1600 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 6 \mu m} = 0,05 \frac{MJ}{kg_{CF}}$$

Com a energia calculada, é então introduzido o custo da energia no Brasil para saber o custo de energia dessa etapa na Eq (8):

$$C_{E,surf} = 0,05 \cdot 0,504 = R\$ 0,0252/kg$$

4.1.4 Dimensionamento

No dimensionamento de acordo com Gill *et al.* (2017), as temperaturas iniciais e finais utilizadas na etapa de pré-tratamento é de 308 K e 373 K respectivamente, utilizando então o calor específico da fibra de carbono, podemos calcular a energia necessária para a etapa de dimensionamento na Eq (9):

$$H_{siz,pre} = \int_{308}^{373} C_{p,CF}(T) dT = 0,05 \frac{MJ}{kg_{CF}}$$

Após o pré-tratamento, há o pós-tratamento, com temperaturas de iniciais e finais de 333 K e 443 K, inserindo esses parâmetros na Eq (10), juntamente do calor específico da fibra de carbono, podemos obter a energia do pós-tratamento:

$$H_{siz,post} = \int_{333}^{443} C_{p,CF}(T) dT = 0,1 \frac{MJ}{kg_{CF}}$$

Somando a energia do pré-tratamento e pós-tratamento, temos na Eq (11):

$$H_{siz} = 0,05 + 0,1 = 0,15 \frac{MJ}{kg_{CF}}$$

Com a energia calculada da etapa, é utilizada a Eq (12) para calcular o custo de energia da superfície de tratamento, utilizando o custo de energia do Brasil, tendo:

$$C_{E,siz} = 0,15 \cdot 0,504 = R\$ 0,0756/kg$$

4.1.5 Mão de obra

De acordo com Gill *et al.* (2017) o tempo de funcionamento necessário da planta para produzir 1 kg de fibra de carbono é de 2.9 horas, tendo a faixa salarial de todos os trabalhadores envolvidos no projeto, temos então a Tabela (2):

Tabela (2) – Custo da mão de obra na produção de fibra de carbono

País	Tempo (h)	C_F (custo anual)	C_F/kg (custo por 1 kg)
Brasil	2.9	R\$ 12.786.045,39	R\$3,12984

No trabalho de Nunna et al. (2019), o valor calculado para mão de obra para 1kg de fibra de carbono foi de U\$0,644, estando bem próximo do valor calculado nesse trabalho de R\$3,12984/kg

4.1.6 Precursor

Para o cálculo do precursor, foi feita uma pesquisa do mercado, achando-se R\$ 38,41/kg da PAN. Na Eq (13), terá um rendimento de apenas 50%, sendo produzidos 1 kg de fibra de carbono, colocando os parâmetros temos:

$$C_M = 38,41 \cdot \frac{1 kg}{50\%} = R\$ 69,83/kg$$

4.1.7 Custo da fibra

Com os custos obtidos das etapas de produção da fibra de carbono, foi montado a Tabela (3), tendo:

Tabela (3) – Custo de produção de 1 kg de fibra de carbono

Oxidação (R\$)	Carbonização (R\$)	Tratamento de superfície (R\$)	Dimensionamento (R\$)	Mão de obra (R\$)	Produtos químicos (R\$)	Precursor (R\$)
0,2469	1,6632	0,0252	0,0756	3,12984	1,70	69,83

Somando todos os valores na Tabela (3), obtemos o custo de produção da fibra, totalizando R\$76,67. O valor do precursor se sobressai quando relacionado a outros, como também pode ser visto nesse trabalho.

4.2 Análises de investimento

4.2.1 VPL

Com os valores de custo de produção obtidos anteriormente e dos preços de venda na Tabela (3), foi calculado o faturamento considerando as sensibilidades da demanda e do preço de venda nos dois cenários na Tabela (4) e (5):

Tabela (4) - Preços de venda e receitas para demanda de 1600 ton/ano com TMA de 13,75% a.a

Cenário	pessimista		neutro		otimista	
Demanda (Ton/ano)	1600		1600		1600	
Preço de venda/Kg (Real)	R\$	103,32	R\$	123,00	R\$	142,68
Custo da fibra/kg (Real)	R\$	76,67	R\$	76,67	R\$	76,67
Faturamento anual (Real)	R\$	165.312.000,00	R\$	196.800.000,00	R\$	228.288.000,00

Tabela (5) - Demandas e receitas para o preço de venda de R\$ 123,00 com TMA de 13,75%

Cenário	pessimista		neutro		otimista	
Demanda (Ton/ano)	1200		1600		2000	
Preço de venda/Kg (Real)	R\$	123,00	R\$	123,00	R\$	123,00
Custo da fibra/kg	R\$	76,67	R\$	76,67	R\$	76,67
Faturamento anual (Real)	R\$	147.600.000,00	R\$	196.800.000,00	R\$	246.000.000,00

Com isso, foi obtido o fluxo de caixa anual, podendo então calcular o VPL nas Tabelas (6) e (7), foi considerado um imposto de 15% do imposto sobre a renda das pessoas jurídicas (IRPJ) no VPL final e uma TMA de 13,75%:

Tabela (6) - VPL's com 15% de imposto para análise da sensibilidade do preço nos diferentes cenários

		Pessimista	Neutro	Otimista
Demanda		1600 ton/ano		
Preço	R\$	103,32/kg	R\$ 123,00/kg	R\$ 142,68/kg
lucro	R\$	26,65/kg	R\$ 46,33/kg	R\$ 66,01/kg
Ano 0	R\$	-147.149.998,82	R\$ -147.149.998,82	R\$ -147.149.998,82
Ano 1	R\$	42.640.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 105.616.000,00
Ano 2	R\$	42.640.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 105.616.000,00
Ano 3	R\$	42.640.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 105.616.000,00
Ano 4	R\$	42.640.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 105.616.000,00
Ano 5	R\$	42.640.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 105.616.000,00
Ano 6	R\$	42.640.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 105.616.000,00
VPL	R\$	16.833.605,88	R\$ 121.629.498,71	R\$ 226.425.391,54
IL		11%	83%	154%

IL = índice de lucratividade

Tabela (7) - VPL's para análise da sensibilidade da demanda nos diferentes cenários

Cenário	Pessimista	Neutro	Otimista
Preço de venda	R\$ 123,00		
Demanda	1200 ton/ano	1600 ton/ano	2000 ton/ano
lucro	R\$ 46,33/kg	R\$ 46,33/kg	R\$ 46,33/kg
Ano 0	R\$ -147.149.998,82	R\$ -147.149.998,82	R\$ -147.149.998,82
Ano 1	R\$ 55.596.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 92.660.000,00
Ano 2	R\$ 55.596.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 92.660.000,00
Ano 3	R\$ 55.596.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 92.660.000,00
Ano 4	R\$ 55.596.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 92.660.000,00
Ano 5	R\$ 55.596.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 92.660.000,00
Ano 6	R\$ 55.596.000,00	R\$ 74.128.000,00	R\$ 92.660.000,00
VPL	R\$ 59.952.749,28	R\$ 121.629.498,71	R\$ 183.306.248,14
IL	41%	83%	125%

IL = índice de lucratividade

Com os dados da Tabela (6) e (7), foram feitos dois gráficos para que seja feita a análise de sensibilidade, tendo então as Figuras (5) e (6):

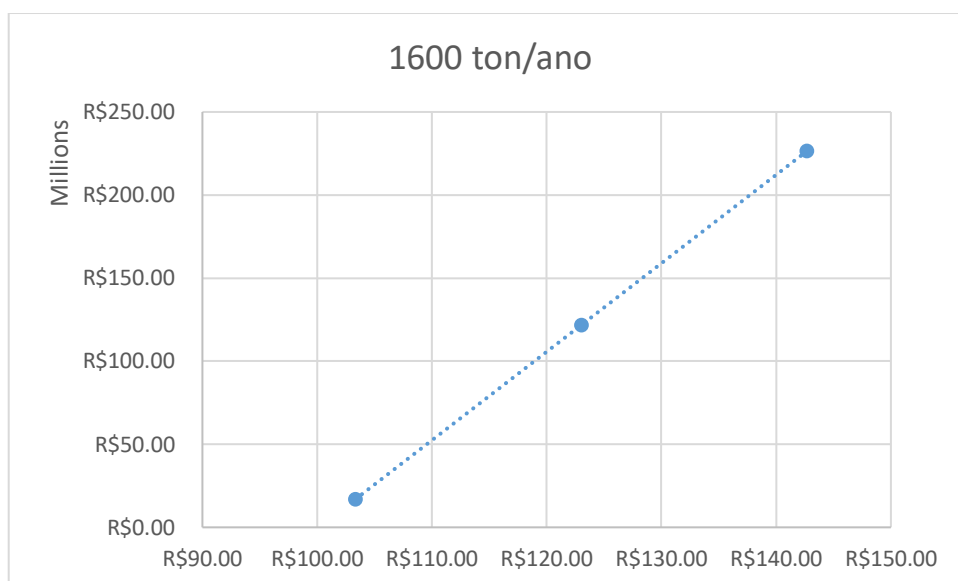


Figura (5) - Variação do VPL com demanda de 1600 ton/ano com três faixas de preço

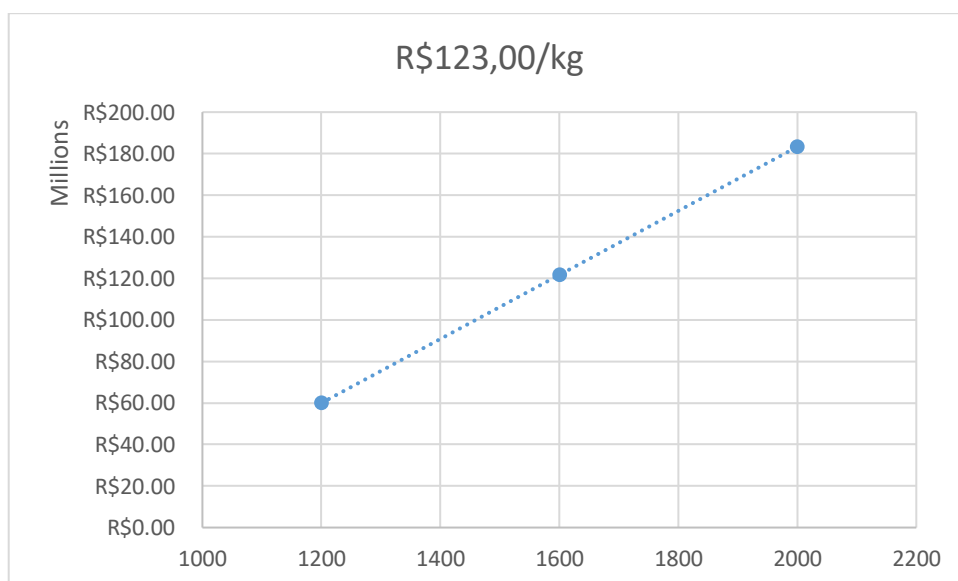


Figura (6) – Variação do VPL com preço de mercado de R\$123,00/kg com três demandas

Analisando os gráficos, na Figura (5) e (6), os dois gráficos apresentam uma inclinação significativa, porém, na figura (5) podemos ver uma maior inclinação, o que demonstra o preço por kg da fibra de carbono é mais sensível a flutuações frente a variações na demanda. Ou seja, através das inclinações pode-se perceber que os padrões para a análise de sensibilidade têm consistência entre si.

4.2.2 TIR

Para o cálculo do TIR, foi plotado o diagrama de Valor Presente atribuindo diferentes taxas de desconto, com isso para se obter o TIR basta verificar o ponto de interseção com o eixo x. A Figuras (7), (8) e (9) apresentam os valores presentes em função das taxas de retorno para os cenários pessimista, neutro e otimista em relação a variação do preço de venda, fixando-se a demanda em 1600 ton/ano:

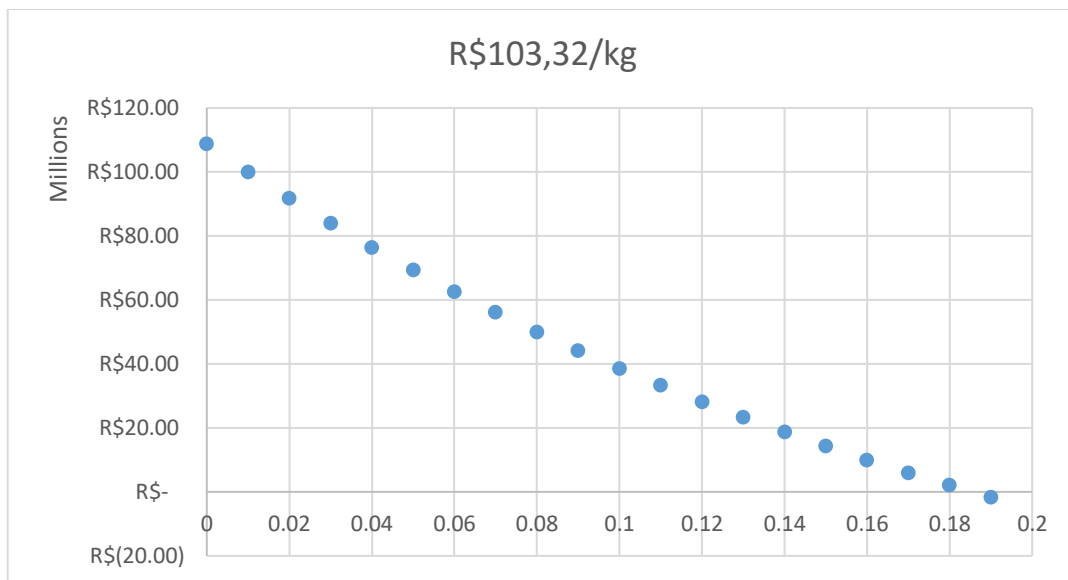


Figura (7) – Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$103,32/kg para uma demanda de 1600 ton/ano

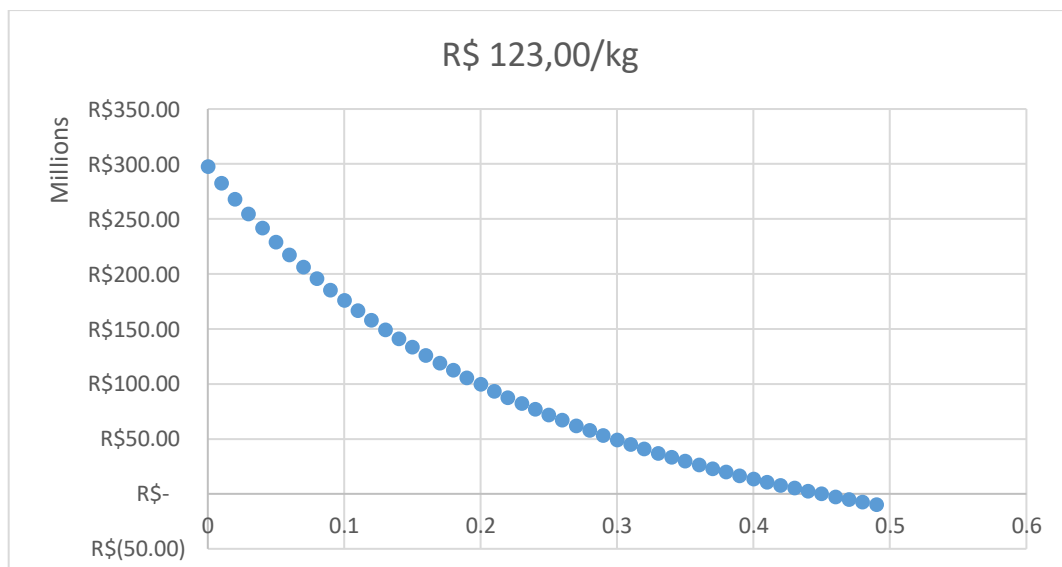


Figura (8) – Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$123,00/kg para uma demanda de 1600 ton/ano

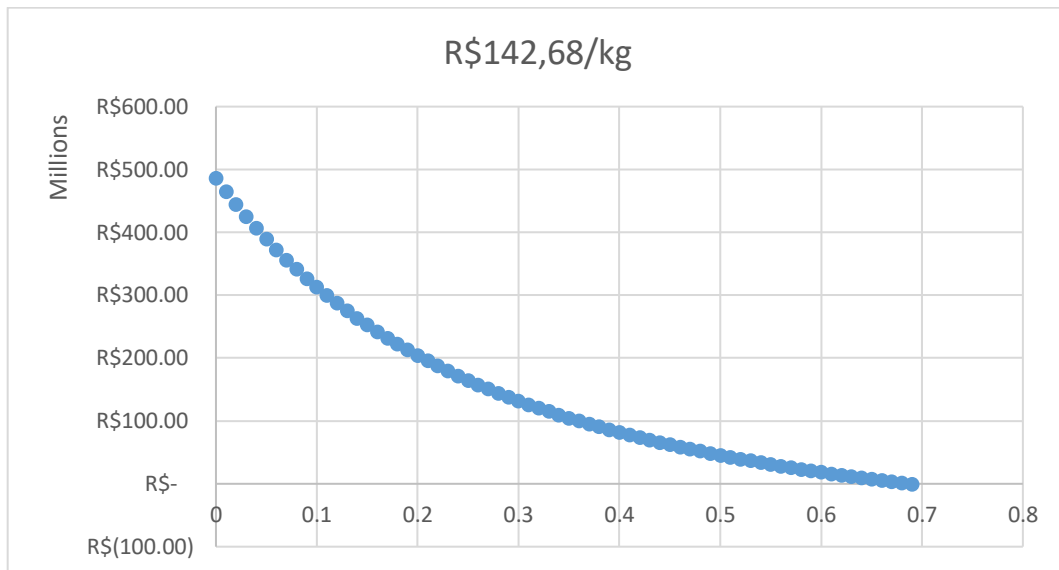


Figura (9) – Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$123,00/kg para uma demanda de 1600 ton/ano

Com as Figuras (7), (8) e (9), podemos dizer qual é a TIR quando é tocado o eixo x.

Para qualquer projeto, ter uma TMA menor que a TIR é essencial, portanto, vendo que no projeto proposto por esse trabalho a TMA foi de 13,75%, podemos ver que há um estímulo, pois as TIR se apresentam altas. As Figuras (10), (11) e (12) apresentam os valores presentes em função das taxas de retorno para os cenários pessimista, neutro e otimista em relação a variação da demanda, fixando-se a o preço de venda em 123,00 R\$/ kg :

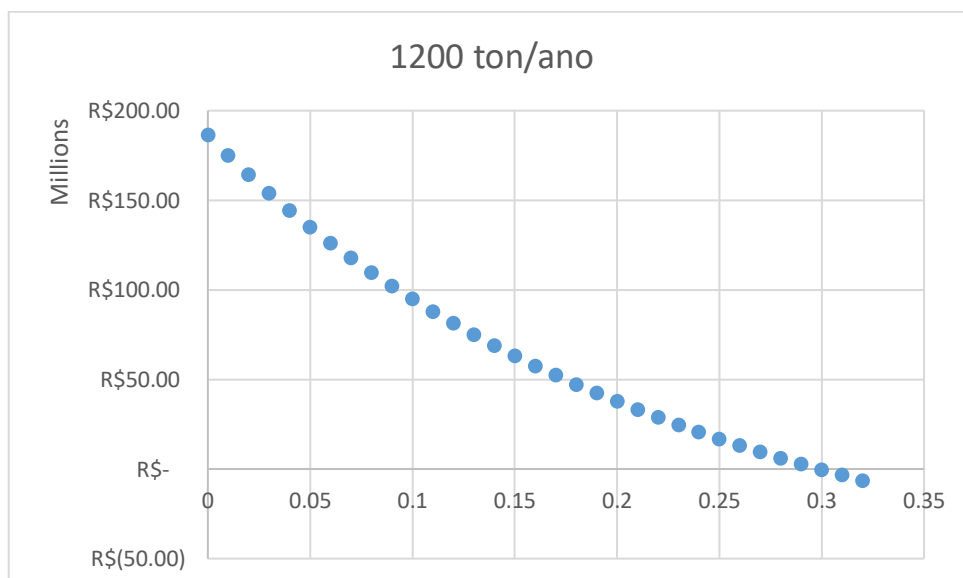


Figura (10) – Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$123,00/kg para uma demanda de 1200 ton/ano

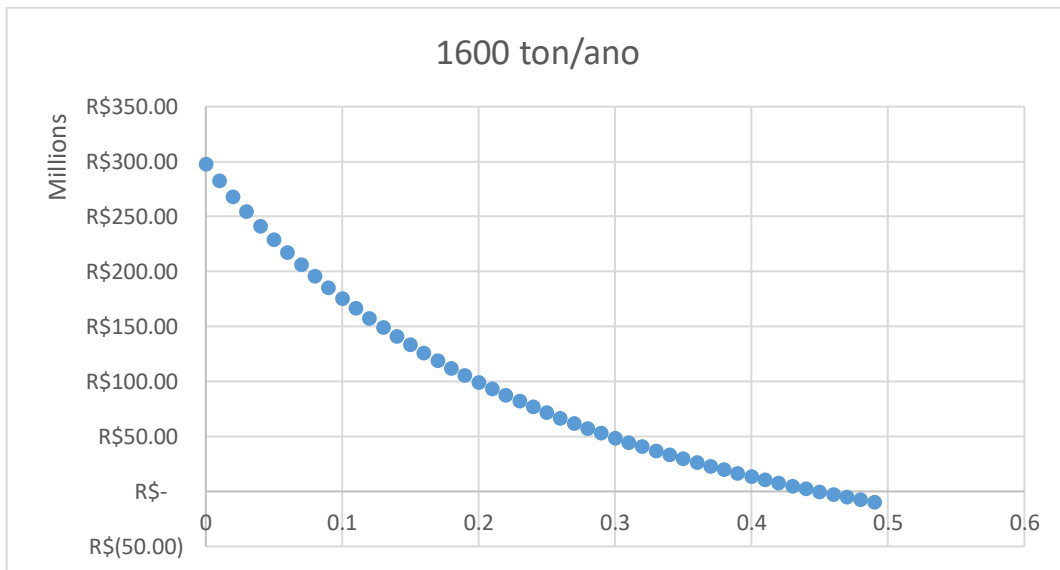


Figura (11) – Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$123,00/kg para uma demanda de 1600 ton/ano

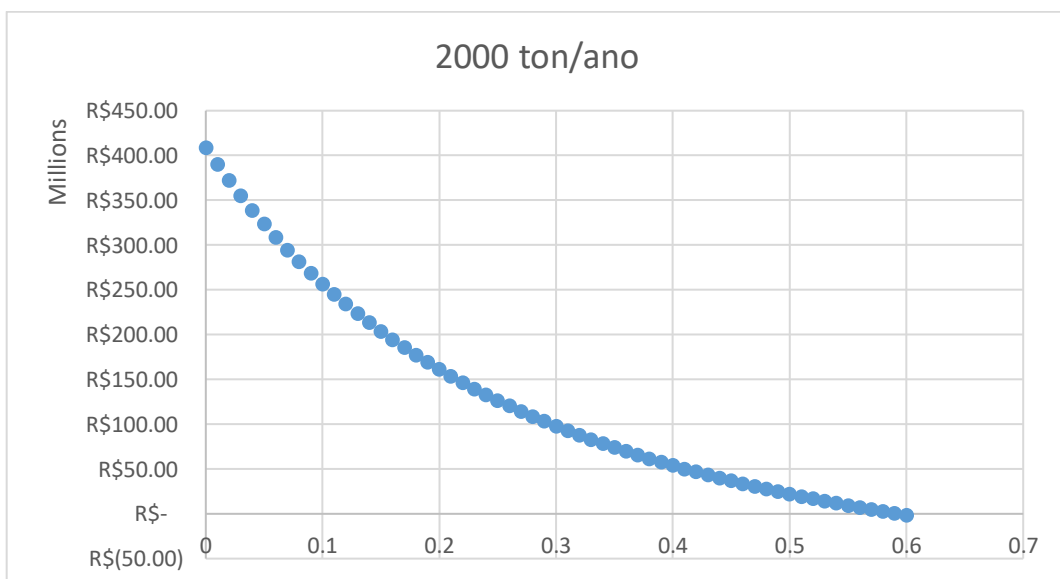


Figura (12) – Diagrama do Valor presente para a fibra custando R\$123,00/kg para uma demanda de 2000 ton/ano

Como visto no cenário anterior, a TIR se demonstra superior a TMA nas Figuras (10), (11) e (12), mostrando que há uma atratividade em todos os cenários propostos.

Para melhor visualização, a Tabela (8) e (9) apresentam a TIR do cenário de produção de 1600 ton/ano para os três valores de mercado e para a fibra custando R\$123,00 para os três cenários de produção, tendo então:

Tabela (8) - TIR para demanda de 1600 ton/ano com três faixas de preço

Preço da fibra	R\$	103,32/kg	R\$	123,00/kg	R\$	142,68/kg
TIR		19%		45%		69%

Tabela (9) - TIR para faixa de preço em R\$123,00/kg com três demandas

Demanda anual	1200 ton/ano	1600 ton/ano	2000 ton/ano
TIR	30%	45%	59%

Analisando a Tabela (8), podemos ver que a TIR se apresenta bem distante da TMA inicialmente estipulada de 13,75%, uma TIR elevada pode indicar que o projeto está gerando retornos muito superiores ao mercado ou que existe a possibilidade do projeto ser muito arriscado, sendo propício a riscos de volatilidade do mercado, mudanças regulatórias ou instabilidade econômica. No entanto, para a fibra de carbono custando R\$103,32/kg com demanda de 1600 ton/ano, podemos ver uma TIR mais atrativa e mais razoável comparada com os outros.

4.2.3 Payback descontado

Fazendo os cálculos do *payback descontado*, temos para o cenário de produção de 1600 ton/ano com os três preços de mercado para a fibra de carbono na Tabelas (10), (11) e (12):

Tabela (10) - Cenário de produção de 1600 ton/ano custando R\$103,32/kg

Cenário		Pessimista				
Demanda		1600 Ton/ano				
Preço		R\$ 103,32/kg				
lucro		R\$ 26,65/kg				
Variável		FC		FCD		Saldo
Ano 0	-R\$	147.149.998,82	-R\$	147.149.998,82	-R\$	147.149.998,82
Ano 1	R\$	42.640.000,00	R\$	37.485.714,29	-R\$	109.664.284,53
Ano 2	R\$	42.640.000,00	R\$	32.954.474,10	-R\$	76.709.810,44
Ano 3	R\$	42.640.000,00	R\$	28.970.966,24	-R\$	47.738.844,20

Ano 4	R\$	42.640.000,00	R\$	25.468.981,31	-R\$	22.269.862,89
Ano 5	R\$	42.640.000,00	R\$	22.390.313,24	R\$	120.450,35
Ano 6	R\$	42.640.000,00	R\$	19.683.791,86	R\$	19.804.242,21

FC – Fluxo de caixa = Receita – custo, FCD - Fluxo de caixa descontado = Fluxo de caixa descontado a 13,75%

Tabela (11) - Cenário de produção de 1600 ton/ano custando R\$123,00/kg

Cenário		Neutro				
Demanda		1600 ton/ano				
Preço		R\$ 123,00/kg				
Lucro		R\$ 46,33/kg				
Variável		FC		FCD		Saldo
Ano 0	-R\$	147.149.998,82	-R\$	147.149.998,82	-R\$	147.149.998,82
Ano 1	R\$	74.128.000,00	R\$	65.167.472,53	-R\$	81.982.526,29
Ano 2	R\$	74.128.000,00	R\$	57.290.085,74	-R\$	24.692.440,55
Ano 3	R\$	74.128.000,00	R\$	50.364.910,54	R\$	25.672.469,99
Ano 4	R\$	74.128.000,00	R\$	44.276.844,43	R\$	69.949.314,42
Ano 5	R\$	74.128.000,00	R\$	38.924.698,40	R\$	108.874.012,82
Ano 6	R\$	74.128.000,00	R\$	34.219.515,08	R\$	143.093.527,89

FC – Fluxo de caixa = Receita – custo, FCD - Fluxo de caixa descontado = Fluxo de caixa descontado a 13,75%

Tabela (12) - Cenário de produção de 1600 ton/ano custando R\$142,68/kg

Cenário		Otimista				
Demanda		1600 ton/ano				
Preço		R\$ 142,68/kg				
Lucro		R\$ 66,01/kg				
Variável		FC		FCD		Saldo
Ano 0	-R\$	147.149.998,82	-R\$	147.149.998,82	-R\$	147.149.998,82
Ano 1	R\$	105.616.000,00	R\$	92.849.230,77	-R\$	54.300.768,05
Ano 2	R\$	105.616.000,00	R\$	81.625.697,38	R\$	27.324.929,33
Ano 3	R\$	105.616.000,00	R\$	71.758.854,84	R\$	99.083.784,17
Ano 4	R\$	105.616.000,00	R\$	63.084.707,55	R\$	162.168.491,72
Ano 5	R\$	105.616.000,00	R\$	55.459.083,56	R\$	217.627.575,28
Ano 6	R\$	105.616.000,00	R\$	48.755.238,30	R\$	266.382.813,58

FC – Fluxo de caixa = Receita – custo, FCD - Fluxo de caixa descontado = Fluxo de caixa descontado a 13,75%

Tendo esses valores, foi calculado o *payback* descontado pelo método algébrico, que pode ser visto então na Tabela (13):

Tabela (13) - *Payback* descontado com produção de 1600 ton/ano com três faixas de preço de mercado

Preço da fibra	R\$	103,32/kg	R\$	123,00/kg	R\$	142,68/kg
Custo de investimento	-R\$	147.149.998,82	-R\$	147.149.998,82	-R\$	147.149.998,82
Fluxo de caixa anual	R\$	42.640.000,00	R\$	74.128.000,00	R\$	105.616.000,00
Payback (anos)		4,99		2,49		1,67

Analisando a Tabela (13), podemos ver que o *payback descontado* para a fibra custando R\$ 103,32/kg é a mais longa, durando 4,99 anos. Para a fibra custando R\$123,00/kg o *payback* seria na faixa de 2,49 anos, podendo ser considerada. Para a fibra custando R\$ 142,68/kg, o *payback descontado* ocorre em menos de 2 anos.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

5.1 CONCLUSÃO

O presente trabalho de conclusão de curso teve como objetivo realizar uma análise de viabilidade econômica da fibra de carbono. Após realizar os cálculos e análises financeiras pertinentes, foi constatado que o projeto apresenta indicadores positivos e encorajadores.

O VPL do projeto encontrado foi positivo com valores significativamente elevados. Esse resultado indica que o projeto tem potencial para gerar retornos financeiros positivos ao longo do tempo, considerando o valor do dinheiro no tempo e taxas de desconto adequada.

Além disso, a TIR calculada apresentou uma boa margem para a faixa de preço de R\$103,32/kg a 1600 ton/ano. A margem positiva da TIR sugere que o projeto tem capacidade de gerar um retorno superior à taxa de desconto utilizada, o que é um indicativo favorável para a viabilidade econômica e ainda mais o grande intervalo apresentado entre a TIR e a TMA de 7,5% indica que se pode trabalhar com taxas de descontos significativamente elevadas

Outro ponto relevante é o período de payback para a demanda de 1600 ton/ano estimado para 4,15 anos no cenário mais pessimista ou para 2,24 anos no cenário neutro para a fibra custando R\$123,00/kg.

Com base nesses resultados, podemos concluir que o projeto analisado apresenta uma sólida viabilidade econômica. Os indicadores financeiros positivos, incluindo o VPL, a TIR favorável e o payback relativamente rápido, sugerem que o projeto é promissor do ponto de vista financeiro.

O maior problema encontrado para a fibra de carbono, se encontra no alto custo de investimento para a planta e, na produção da fibra, o alto custo do precursor ocasionando em um encarecimento da fibra.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, seria recomendado considerar um precursor mais barato para produção da fibra de carbono como a lignina ou celulose, pois foi o mesmo que mais encareceu o preço final da fibra, sendo possível utilizar uma outra rota mais econômica, seria de maior interesse para a fibra de carbono. Também, seria interessante contatar empresas para obter os dados necessários para uma pesquisa mais detalhada e resultados mais verídicos.

Para um trabalho futuro de viabilidade econômica da fibra de carbono a partir do precursor de PAN, é de grande interesse montar um projeto com duração de 15 anos ao invés de 6 pois com o tempo mais prolongado o projeto se assemelha mais a realidade, incluindo ainda a manutenção, depreciação e vida útil equipamentos para uma análise ainda mais precisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BCB – Banco central do Brasil, Disponível em: [Taxa Selic \(bcb.gov.br\)](https://www.bcb.gov.br) Acesso em: 27 jun. 2023.

Adams, W. W. (2005). Carbon Fibers and Their Composites. CRC Press.

ASSAF NETO, A. Finanças corporativas e valor. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2016

BHATTACHARYA, S. N.; KUMAR, S. Rayon Fibres: Manufacturing Process and Properties. In: FIBROUS AND TEXTILE MATERIALS FOR COMPOSITE APPLICATIONS, 2011.

GILL, A, S; VISOTSKY, D; MEARS, L; SUMMERS, J, D. Cost estimation model for polyacrylonitrile-based carbon fiber manufacturing process. Journal of manufacturing Science and Engineering. April 2017, Vol 39

Ma, Z., Li, J., Luo, L., Zou, J., Li, Q., & Zhang, Y. (2020). Wet-spinning of continuous polyacrylonitrile fibers with high mechanical properties. *Fibers and Polymers*, 21(3), 597-603.

MACHADO, J. R. et al. Análise de localização para implantação de uma fábrica de fibras de poliéster. In: XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2021, Curitiba. Anais do XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba: ENEGEP, 2021.

Mahat, Mohd Muzamir & Mohmad Sabere, Awis Sukarni & Azizi, Juzaili & Amdan, Asyura. (2021). Potential Applications of Conducting Polymers to Reduce Secondary Bacterial Infections among COVID-19 Patients: a Review. *Emergent Materials*. 4. 10.1007/s42247-021-00188-4.

NUNNA, S; BLANCHARD, P; BUCKMASTER, D; DAVIS, S; NAEBE, M. Development of a cost model for the production of carbon fibres. *Heliyon*. 2019

PEREIRA, A. C. et al. Processo de Wet Spinning. In: ARAÚJO, E. M.; SOUZA, C. C. (Org.). Engenharia de Fibras: Processamento, Caracterização e Aplicações. Campinas: UNICAMP, 2018.

QUEIROZ, P, C, B d. Pesquisa cooperativa: o projeto de desenvolvimento de fibras de carbono para aplicação em ultracentrífugas. 2008

VASCONCELOS, F. F. et al. Análise de viabilidade financeira de projetos agroindustriais utilizando a metodologia do fluxo de caixa descontado. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2019, Fortaleza. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Fortaleza: SBEA, 2019.



Datas e horários baseados no fuso horário (GMT -3:00) em Brasília, Brasil
Sincronizado com o NTP.br e Observatório Nacional (ON)
Certificado de assinatura gerado em 29/06/2023 às 14:15:05 (GMT -3:00)

TCC - Fibra de carbono

 ID única do documento: #67b2fb5f-40f6-4e10-8d8b-f7083c2705d3

Hash do documento original (SHA256): f196b7de0d34386254081bff206eb411a8b6e029e9335f286786423e6f5934d4

Este Log é exclusivo ao documento número #67b2fb5f-40f6-4e10-8d8b-f7083c2705d3 e deve ser considerado parte do mesmo, com os efeitos prescritos nos Termos de Uso.

Assinaturas (4)

- ✓ Alex Vazzoler (Participante)
Assinou em 29/06/2023 às 14:35:02 (GMT -3:00)
- ✓ Igor Lopes (Participante)
Assinou em 03/07/2023 às 11:51:01 (GMT -3:00)
- ✓ Roberto Bentes (Participante)
Assinou em 29/06/2023 às 22:26:07 (GMT -3:00)
- ✓ Rafael Araujo (Participante)
Assinou em 29/06/2023 às 14:18:47 (GMT -3:00)

Histórico completo

Data e hora

29/06/2023 às 14:35:02
(GMT -3:00)

Evento

Alex Vazzoler (Autenticação: e-mail avazzoler@cetiqt.senai.br; IP: 177.38.96.66) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10º, §2.



Data e hora

29/06/2023 às 14:18:47
(GMT -3:00)

Evento

Rafael Araujo (Autenticação: e-mail rsaraujo@cetiqt.senai.br; IP: 177.38.98.94) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

29/06/2023 às 14:15:05
(GMT -3:00)

Rafael Araujo solicitou as assinaturas.

29/06/2023 às 22:26:07
(GMT -3:00)

Roberto Bentes (Autenticação: e-mail rbcarvalho@cetiqt.senai.br; IP: 177.38.96.66) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

03/07/2023 às 11:51:01
(GMT -3:00)

igor Lopes (Autenticação: e-mail lSoares@cetiqt.senai.br; IP: 201.57.32.98) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.