

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

**CAIO CESAR MONTEIRO DA SILVA
MATHEUS MENEZES LIMA GOMES**

**ESTUDO PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
REDUÇÃO DE CUSTOS NA OPERAÇÃO DE ALTOS FORNOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**RIO DE JANEIRO
2023**

**CAIO CESAR MONTEIRO DA SILVA
MATHEUS MENEZES LIMA GOMES**

**ESTUDO PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
REDUÇÃO DE CUSTOS NA OPERAÇÃO DE ALTOS FORNOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Coordenadoria do curso de graduação em Engenharia Mecânica, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientador: Prof. Dr. Jonatas Motta Quirino

**RIO DE JANEIRO
2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

S586 Silva, Caio Cesar Monteiro da
Estudo para melhoria da eficiência energética e redução de custos na operação de altos fornos / Caio Cesar Monteiro da Silva [e] Matheus Menezes Lima Gomes. — 2023.
51f. + apêndice : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2023.

Bibliografia : f. 49-51

Orientador: Jonatas Motta Quirino

1. Engenharia mecânica. 2. Revestimentos. 3. Materiais isolantes. 4. Altos-fornos. 5. Siderurgia. I. Gomes, Matheus Menezes Lima. II. Quirino, Jonatas Motta (Orient.). III. Título.

CDD 621

Elaborada pela bibliotecária Tania Mello – CRB/7 nº 5507/04

AGRADECIMENTOS

CAIO CESAR MONTEIRO DA SILVA

Gostaria de expressar meus mais profundos agradecimentos a todas as pessoas que estiveram ao meu lado e contribuíram para a concretização deste trabalho de conclusão de curso. É com imensa gratidão que menciono a seguir cada uma delas.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha mãe, Sônia, e ao meu pai, Cícero. O amor incondicional, o apoio incansável e os valores que me transmitiram são a base sólida que me sustentou ao longo de toda a jornada acadêmica. Sou extremamente grato por ter vocês como meus pais. Aos meus colegas de trabalho na Altera&Ocyan, meu profundo agradecimento. A equipe inspiradora e o ambiente de trabalho colaborativo me proporcionaram um aprendizado enriquecedor. Agradeço por todas as trocas de conhecimento, as discussões construtivas e a confiança depositada em mim.

Ao meu amigo Matheus, que desde o início dessa jornada acadêmica, você esteve ao meu lado, apoiando-me em todas as dificuldades e compartilhando das alegrias. Sua ajuda e dedicação foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sou grato pela sua amizade verdadeira.

Não posso deixar de mencionar minha namorada Larissa, cujo apoio e incentivo foram imprescindíveis ao longo dessa trajetória. Você esteve presente em todos os momentos, me encorajando quando precisei, oferecendo seu amor e compreensão. Sou extremamente grato por ter você ao meu lado.

A todas as pessoas mencionadas e àquelas que não foram citadas, mas que de alguma forma contribuíram para minha jornada acadêmica, meu sincero agradecimento. Vocês foram essenciais para a minha formação, crescimento e conquistas. Sou eternamente grato por ter tido o privilégio de contar com o apoio e o carinho de cada um de vocês.

MATHEUS MENEZES LIMA GOMES

Gostaria de aproveitar este momento para expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que contribuíram de forma significativa para a conclusão deste trabalho de conclusão de curso. Suas influências e apoio inestimáveis foram essenciais para o meu sucesso, e sou imensamente grato por ter tido vocês ao meu lado ao longo dessa jornada.

Primeiramente, quero agradecer de todo o coração aos meus pais, Paulo e Katherine. Seu amor incondicional, apoio constante e encorajamento incansável foram a força motriz por trás de todas as minhas conquistas. Sem a confiança e dedicação de vocês, eu não teria chegado tão longe. Agradeço por terem me proporcionado a oportunidade de buscar a educação, bem como por me ensinarem os valores fundamentais que me guiaram durante toda a minha vida.

Agradeço também aos meus queridos irmãos, Carolina e Daniel. Suas palavras de incentivo, encorajamento e apoio emocional foram fundamentais nos momentos mais desafiadores dessa jornada acadêmica. Vocês sempre acreditaram em mim e me motivaram a alcançar o melhor de mim mesmo. Sou muito grato por ter irmãos tão incríveis e especiais como vocês. Um agradecimento especial vai para o meu amigo Caio, que esteve ao meu lado durante todo esse período na faculdade. Sua amizade e apoio incondicional foram inestimáveis. Seja nas longas noites de estudo, nas revisões de trabalhos ou nas discussões acadêmicas, você esteve sempre presente, compartilhando seu conhecimento e me ajudando a superar os desafios. Sou muito grato por ter você como amigo e companheiro nessa caminhada.

Também desejo expressar minha sincera gratidão a Rodrigo, meu companheiro de trabalho. Sua expertise, dedicação e generosidade em compartilhar seu conhecimento foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Você nunca mediu esforços para me auxiliar, orientar e contribuir com insights valiosos. Sua parceria foi essencial para o sucesso alcançado.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer a todos os professores, orientadores e demais membros da faculdade que me forneceram conhecimentos, orientações e oportunidades de aprendizado ao longo do curso. Suas contribuições foram inestimáveis para o meu crescimento pessoal e profissional. A

todos vocês, meus amados pais, irmãos, amigo e colega de trabalho, agradeço de coração por todo o amor, apoio e confiança depositados em mim. Vocês foram a força que impulsionou minha jornada acadêmica e minha conclusão de curso. Sou eternamente grato e serei sempre grato por tudo o que fizeram por mim.

A incerteza é algo presente, desejável e necessário para a evolução. (Taleb, Nassim, 2012)

RESUMO

SILVA, Caio; GOMES, Matheus. **ESTUDO DE CASO: REVESTIMENTO TÉRMICO DE LINHAS DE AR SOPRADO DE REGENERADORES EM ALTOS FORNOS.**

O presente trabalho aborda um estudo de caso sobre o ganho econômico obtido por uma indústria siderúrgica ao aplicar um revestimento térmico externo nas linhas de ar soprado dos regeneradores de altos fornos. Essas tubulações são responsáveis por transportar ar levemente aquecido, e o objetivo do revestimento é reduzir a perda de calor ao longo do percurso, minimizando a troca térmica com o ambiente. Isso é especialmente relevante, uma vez que o ar é aquecido a altas temperaturas utilizando gás natural como fonte de energia. Quanto menor for a perda de calor das linhas para o ambiente, menor será o custo final do processo. Durante o trabalho, foram conduzidos estudos para quantificar os ganhos energéticos obtidos com esse revestimento, utilizando equações matemáticas para determinar a redução no custo diário do consumo de gás natural na siderúrgica. Paralelamente, avaliou-se o investimento necessário para implementar essas alterações, considerando o custo total do projeto, a fim de determinar se essa iniciativa é viável e vantajosa financeiramente para a empresa. Após análises detalhadas de engenharia e econômicas, chegou-se à conclusão de que o projeto não apenas é viável, como também o retorno financeiro do investimento nas alterações é recuperado em um período bastante reduzido. Inicialmente, a meta era obter o retorno do capital em até 5 anos de operação, porém, com base nos estudos realizados, foi possível comprovar que o retorno ocorre em menos de 2 anos de investimento. Este estudo de caso apresenta, portanto, o aprimoramento de um processo amplamente utilizado na geração de ferro gusa em uma indústria siderúrgica. Além disso, quantifica e demonstra a viabilidade econômica dessa alteração, destacando o curto período de retorno do investimento.

Palavras-chave: Revestimento térmico, Isolantes térmicos, Ferro-gusa, Altos Fornos, Regeneradores, Indústria siderúrgica.

ABSTRACT

SILVA, Caio; GOMES, Matheus. **CASE STUDY: THERMAL COATING OF BLOWN AIR LINES OF REGENERATORS IN BLAST FURNACES.**

This work presents a case study on the economic gain of a steel industry by applying an external thermal coating to the blow air lines of the regenerators in blast furnaces. Since these pipelines carry slightly heated air, the coating was applied to reduce the thermal exchange between the gas and the environment, thereby reducing heat loss along the path. As the air is heated to high temperatures in these pipelines, using natural gas as the energy source, minimizing heat loss to the environment translates into lower overall costs for the process. Therefore, during this study, quantitative analysis of the energy gains from this coating was conducted, using mathematical equations to determine the reduction in daily natural gas consumption costs for the steel industry. This allowed for a comparison with the investment value required for these alterations, the total cost, to ascertain whether the project is financially viable and advantageous for the company to fund such an investment. After conducting all engineering and financial analyses, it was concluded that not only is the project viable, but the financial return on the investments made in these modifications is recovered within a considerably short period of time. The initial goal was to make the capital return feasible within a maximum of 5 years of operation, but the studies were able to demonstrate a return period of less than 3 years of investment. Therefore, this study presents a case study of a steel industry, generating improvement in a highly utilized process in pig iron production, quantifying and demonstrating the financial feasibility of such modifications with a significantly reduced payback time.

Keywords: Thermal coating, Thermal insulation, Pig iron, Blast furnaces, Regenerators, Steel Industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Funcionamento do Alto Forno	16
Figura 2 - Trecho que será revestido externamente.....	17
Figura 3 – Regeneradores	18
Figura 4 - Tubulações transportadoras de ar soprado	19
Figura 5 - Planejamento de cronograma de distribuição de recursos financeiros.	22
Figura 6 - Esquemático dos regeneradores	24
Figura 7 - Processo de funcionamento dos regeneradores.....	25
Figura 8 - Aplicação de revestimento externo na tubulação.....	26
Figura 9 - Gráfico relacionando o custo com a espessura do isolamento	28
Figura 10 - Diâmetro interno da tubulação	31
Figura 11 - Tubulações em direção aos regeneradores	31
Figura 12 - Revestimentos Térmicos Aplicados em Tubulações.....	32
Figura 13: Temperatura máxima de saída do ar frio dos <i>Blowers</i> (sopradores) em cada mês do ano.....	32
Figura 14: Temperatura de entrada do ar nos stoves dos regeneradores	33
Figura 15 – Fluxo de Caixa	41
Figura 16 - Gráfico da Sensibilidade do Investimento	45
Figura 17 - Gráfico da Sensibilidade da economia de GN	46
Figura 18 - Gráfico da Sensibilidade do Preço do GN.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedade térmica de materiais isolantes	30
Tabela 2 - Especificações BFG e Gás natural.....	34
Tabela 3: Resultados de Estudo de Engenharia	38
Tabela 4 – Parâmetros de Projeto.....	39
Tabela 5 - Despesas distribuídas ao longo do projeto	39
Tabela 6 - Cálculo do VPL E TIR	41
Tabela 7 - Cálculo do payback	43
Tabela 8 - Sensibilidade do investimento	44
Tabela 9 – Sensibilidade de economia de GN	45
Tabela 10 - Sensibilidade preço GN.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE SIGLAS

GN	Gás Natural;
BFG	Blast Furnace Gas;
TIR	Taxa interna de retorno;
VPL	Valor presente líquido;
VP	Valor trazido ao presente;
VF	Valor do fluxo no futuro;
i	Taxa de Juros;
n	Período;
TMA	Taxa mínima de atratividade;
FC	Fluxo de Caixa;
t	Períodos de cada fluxo;
Q	Quantidade de calor trocada por unidade de tempo;
K	Coefficiente de condutividade térmica;
L	Comprimento do tubo;
T_s	Temperatura do tubo;
T_a	Temperatura do ambiente;
r_e	Raio externo do isolamento;
r_i	Raio interno do isolamento;
h_r	Coefficiente de radiação;
h	Coefficiente de convecção;
PCI	Poder calorífico;
$E(82)$	Energia que o ar entrega a 82°C;
E_0	Energia no sistema antes do revestimento térmico inserido;
E_1	Energia no sistema depois do revestimento térmico inserido;
E_{BFG}	Energia gerada pelo BFG;
E_{ar}	Energia gerada pelo Ar;
E_{GN}	Energia gerada pelo Gás Natural após o revestimento térmico;
E_{AR}	Energia gerada pelo ar após o revestimento térmico;

ΔE_{GN}	Varição de energia do Gás Natural;
ΔE_{AR}	Varição de energia do ar;
LHV_{GN}	Poder calorífico do Gás Natural;
E_{AR}	Energia gerada pelo ar após o revestimento térmico;
Q_{ar}	Vazão de ar
Q_{BFG}	Vazão de BFG
Q_{GN}	Vazão de Gás Natural

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTO HISTÓRICO	13
1.2	RAZÃO DO ESTUDO ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
1.3	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROCESSO	15
2.	DESENVOLVIMENTO	17
2.1	ESTUDO DE CASO	17
2.2	METODOLOGIA	19
2.3	INVESTIMENTO ESTIMADO	21
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
3.1	AR SOPRADO NO PROCESSO PRODUTIVO DO FERRO GUSA	23
3.2	REGENERADORES	23
3.3	ISOLANTES TÉRMICOS	25
3.3.1	PROTEÇÃO PESSOAL Error! Bookmark not defined.	
3.3.2	MOTIVO DE SERVIÇO Error! Bookmark not defined.	
3.3.3	MOTIVO ECONÔMICO Error! Bookmark not defined.	
3.3.4	PRINCIPAIS MATERIAIS ISOLANTES Error! Bookmark not defined.	
4.	DIMENSIONAMENTO	34
4.1	CÁLCULO DE ENGENHARIA DE PROJETO.....	34
4.2	CÁLCULO DE VIABILIDADE FINANCEIRA DO PROJETO	38
4.3	VALOR PRESENTE LÍQUIDO E TAXA INTERNA DE RETORNO.....	40
4.4	PAYBACK	42
4.5	SENSIBILIDADES	43
5.	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	50
	APENDICÊ A.....	51

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO

A história dos isolantes térmicos remonta à década de 1940, quando na Suécia surgiu o primeiro exemplar desse tipo de material. Composto por lã mineral habilmente revestida de cimento e cal, sua concepção tinha como objetivo primordial reduzir substancialmente a transferência de calor entre ambientes internos e externos de edificações. (MOURA *et al.*, 2012)

Tal feito era possível graças à sua excepcional resistência térmica. Foi durante a década de 1950 que o engenheiro visionário Edwin Horbach assumiu um papel de destaque, conduzindo o desenvolvimento de sistemas de reboco armado com espessura notavelmente reduzida. Sua abordagem inovadora representou um marco na evolução dos isolantes térmicos, abrindo caminho para soluções mais eficientes e versáteis. (LERIN, 2018)

Embora não haja um material capaz de obstruir por completo a transferência de calor, a constante busca por avanços científicos e tecnológicos tem impulsionado a diversificação de materiais voltados para o controle dessas transferências térmicas. Atualmente, testemunhamos uma profusão de opções que oferecem desempenho aprimorado e adaptabilidade às necessidades específicas de cada aplicação. (SPINELLI, 2019)

Nesse cenário dinâmico e promissor, os isolantes térmicos se destacam como aliados indispensáveis na busca pela eficiência energética, proporcionando conforto térmico e redução de custos. A contínua evolução nesse campo promissor alimenta nossa esperança de um futuro mais sustentável e inteligente, impulsionado pelo desenvolvimento de materiais cada vez mais sofisticados e eficientes. (SILVA, 2021)

1.2 JUSTIFICATIVA

Commodities são mercadorias primárias produzidas em larga escala, que fornecem matéria-prima para diversos setores da sociedade. Elas podem ser divididas em quatro grupos principais: agrícolas, pecuárias, minerais e ambientais. Essas commodities são amplamente negociadas no mercado internacional, o que

resulta em uma grande volatilidade nos preços. Por essa razão, os preços dessas mercadorias são padronizados até certo ponto. (BARBOSA E FLEURY, 2020)

Numa análise de mercado, percebe-se que as indústrias de grande porte enfrentam o desafio de oferecer produtos de melhor qualidade aos consumidores, buscando agregar tecnologias que atraiam os clientes e incentivando-os a maiores investimentos. A diferença entre essas indústrias e aquelas que comercializam commodities é que, por não poderem controlar o preço de venda do produto, a busca por melhorias concentra-se em produzir com o menor custo possível. (TOMÁZ, 2022)

Daí surge a grande preocupação dos gestores, que buscam reduzir custos em três frentes distintas: a compra de matérias-primas com valor mais baixo no mercado, a produção com o menor número de operadores possível (reduzindo os custos com mão de obra) e a busca incessante por melhorias no processo produtivo que resultem em benefícios financeiros a curto, médio e longo prazo. Dentro desse cenário, a análise crítica de formas de redução de custos por meio de investimentos na melhoria de processos é estudada com afinco por grandes empresas, com o objetivo de obter vantagem no mercado e aumentar a margem de lucro.

Dentro do processo produtivo há diversos parâmetros fortemente influentes na eficiência do processo, redução de custos e confiabilidade industrial, dependendo do setor e da atividade em que se analisa. Em diversos setores produtivos, as instalações industriais utilizam longas linhas de tubulações para transporte de fluidos, os quais demandam atenção especial, como a contaminação do fluido em escoamento, a corrosão ou fragilização da tubulação e o isolamento térmico da tubulação para minimizar a troca de calor entre o fluido e o meio em que a tubulação está inserida. (SANTANA, 2011)

Este trabalho tem como objetivo demonstrar como o investimento no aprimoramento de uma atividade essencial, no caso, a produção de aço, pode levar a lucros a curto e médio prazo, aumentando a diferença entre o lucro e o custo de produção, além de preservar o meio ambiente por meio da redução do uso de gás natural.

Em um mercado altamente competitivo, um fator que permanece em destaque é a importância de encontrar maneiras de reduzir o consumo de combustíveis. Além do custo elevado, o gás natural é um combustível não renovável, apesar de sua facilidade de transporte. Portanto, este trabalho busca

reunir dados e informações para analisar parâmetros referentes ao processo industrial e investigar como reduzir o consumo de gás natural, utilizado para aquecer o ar no processo de produção de ferro gusa nos regeneradores dos altos fornos em uma indústria siderúrgica.

Assim, essa análise busca identificar quais parâmetros influenciam a variação do consumo de gás natural nos regeneradores que aquecem o ar antes de entrar nos fornos de produção de ferro gusa. O objetivo é que este estudo permita utilizar as premissas do projeto para encontrar uma solução viável de redução do consumo de gás natural.

1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROCESSO

Um alto-forno é uma estrutura em forma de torre, geralmente feita de aço, que é usado para a produção de ferro-gusa. O ferro-gusa é a matéria-prima básica para a fabricação de aço. O processo se inicia com o carregamento, onde a matéria-prima principal para o alto-forno que é o minério de ferro, é carregado junto com outros materiais, como o coque (um tipo especial de carvão), calcário e outros agentes fundentes. Esses materiais são colocados em camadas dentro do alto-forno. (LEÃO *et al.*, 2020).

Dessa forma, ocorre a redução do minério de ferro, com o alto-forno aquecido a temperaturas extremamente altas, geralmente acima de 1500°C. A combustão do coque fornece o calor necessário para a reação química dentro do alto-forno. A alta temperatura e a falta de oxigênio permitem que o minério de ferro reaja com o carbono presente no coque, resultando na redução do minério de ferro em ferro metálico líquido, conhecido como ferro-gusa. Durante essa etapa, os materiais fundem-se e formam diferentes camadas no alto-forno, conforme pode ser visto na Figura 1.

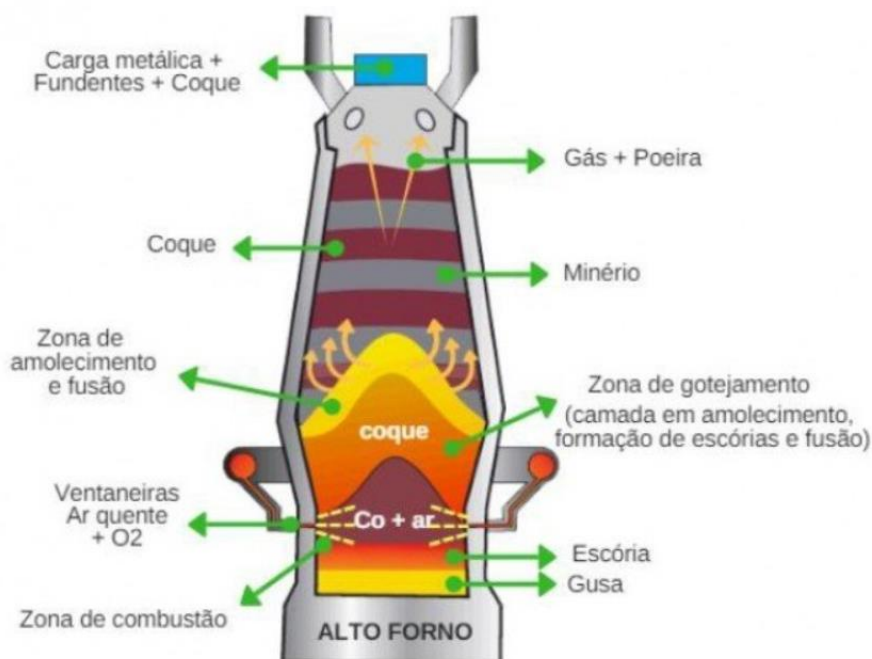


Figura 1: Funcionamento do Alto Forno
Fonte: Conexão Mineral (2018)

Como o ferro-gusa é mais denso do que as impurezas presentes nas camadas inferiores, ele se acumula na parte inferior do alto-forno. É feita uma abertura no fundo do alto-forno para permitir que o ferro-gusa líquido seja coletado e escoado para fora.

O ferro-gusa contém uma quantidade significativa de impurezas, como carbono, silício, manganês e fósforo. Para obter o aço, é necessário remover parte dessas impurezas. O ferro-gusa é então transferido para outros processos, como o conversor ou a panela de refino, onde são adicionados agentes desoxidantes e outras ligas metálicas para remover as impurezas e ajustar a composição química do aço.

Os regeneradores em um alto-forno são componentes essenciais para o processo de produção de ferro-gusa. Eles desempenham um papel crucial na recuperação e reutilização de calor, ajudando a aprimorar a eficiência energética do forno. Os regeneradores são dispositivos que permitem a recuperação do calor dos gases de exaustão do alto-forno, que atingem temperaturas extremamente elevadas.

Este trabalho propõe um estudo de caso que leva em consideração uma indústria siderúrgica que possui 2 Altos Fornos, cada um com 3 regeneradores.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 ESTUDO DE CASO

O presente estudo tem como objetivo estabelecer um padrão para análises de investimento no que tange ao revestimento de tubulações de ar soprado, por meio de uma análise e validação de um caso real que poderá ser extrapolado a estudos similares dentro de limitações paramétricas.

O referido estudo aborda o contexto de uma usina siderúrgica que planeja revestir as tubulações de ar soprado que alimentam os regeneradores, responsáveis por suprir os Altos Fornos com ar quente. O revestimento em questão consistirá na aplicação de um material refratário no trecho que vai desde a saída do ar quente proveniente da provedora de gás até a entrada do ar nos regeneradores, conforme Figura 2.

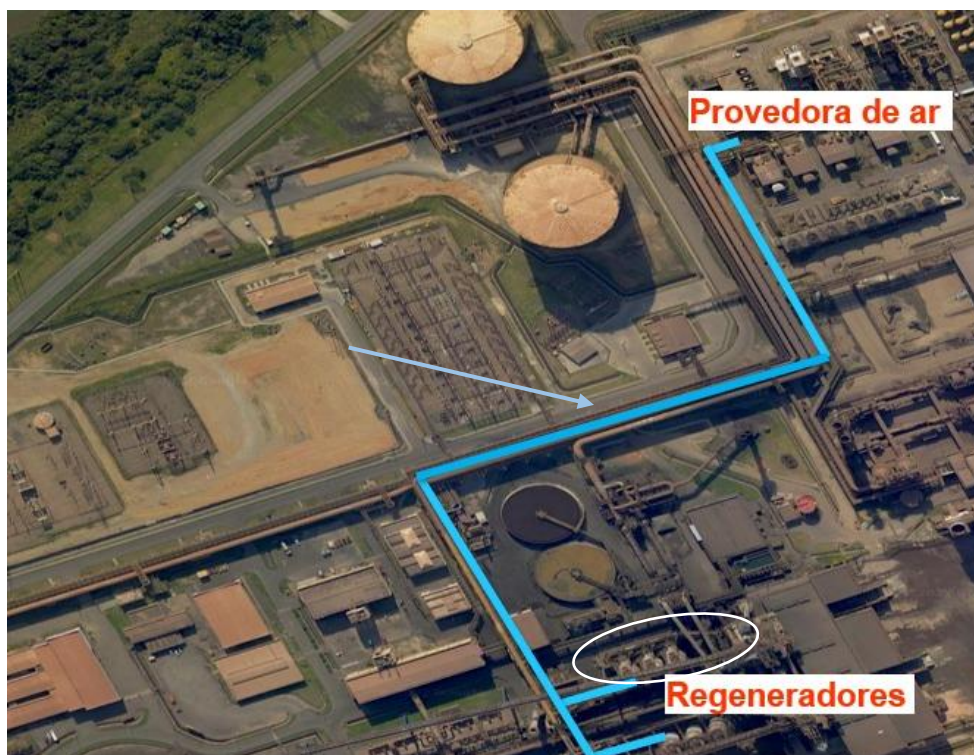


Figura 2 - Trecho que será revestido externamente
Fonte: Autores.

Esses regeneradores, por sua vez, são trocadores de calor verticais, que podem ser vistos na Figura 3, cuja função primordial é armazenar uma determinada

quantidade de energia térmica, utilizada para o aquecimento do ar de combustão soprado nos Altos Fornos, a fim de viabilizar a redução do minério de ferro no interior do Forno. (BELO, 2019).



Figura 3 – Regeneradores
Fonte: Autores

Atualmente, o procedimento adotado consiste na saída do ar quente da estação de armazenamento à temperatura de 102°C , e a subsequente chegada desse fluxo de ar nos regeneradores a 82°C . Devido à falta de isolamento térmico nas tubulações, há uma perda de calor significativa, resultando em uma redução média de temperatura de 20°C ao longo do percurso.

O revestimento térmico das mencionadas tubulações de ar soprado, mostrado abaixo na figura 4, almeja, portanto, mitigar essa perda térmica, de modo a permitir que o ar alcance os regeneradores a uma temperatura de 97°C . Não há uma temperatura mínima necessária para que o ar chegue aos regeneradores, porém quanto menor for a temperatura, mais Gás Natural será utilizado para que se atinja a temperatura ótima de entrada do ar nos Altos Fornos, que é de 1250°C .



Figura 4 - Tubulações transportadoras de ar soprado

Fonte: Autores

O cerne deste estudo consiste em mensurar o volume de Gás Natural que será poupado nesse processo, em decorrência do fato de o ar proveniente da empresa provedora alcançar os regeneradores a uma temperatura de 15°C acima da temperatura atual. Essa temperatura do ar propiciará um menor consumo de combustível para atingir a temperatura ótima de entrada do ar nos Altos Fornos (1250°C), viabilizando, assim, o devido prosseguimento do processo produtivo do ferro gusa.

É imprescindível que essa economia de combustível se apresente vantajosa, quando confrontada com o investimento requerido para a implementação do revestimento. Essa análise contemplará todos os parâmetros utilizados para alcançar a conclusão pertinente.

2.2 METODOLOGIA

Para analisar a viabilidade e o retorno financeiro do projeto de revestimento térmico das tubulações de ar soprado, utiliza-se dois conceitos fundamentais no ramo dos investimentos, a Taxa Interna de Retorno (T_{IR}) e o Valor Presente Líquido (VPL).

Segundo a definição, a T_{IR} é a taxa que zera o VPL , sendo o VPL o modelo utilizado para determinar o valor presente de cada pagamento em um fluxo de caixa. Considerando a variação do valor do dinheiro ao longo do tempo devido à taxa de

juros, o VPL corresponde à soma dos fluxos de pagamentos de um investimento. (PEREIRA & ALMEIDA, 2008).

O modelo matemático utilizado para o cálculo do valor presente é apresentado como:

$$V_P = \frac{V_F}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Onde V_P representa o valor trazido ao presente, V_F é o valor do fluxo no futuro, i é a taxa de juros e n o período, em anos. Ao somar todos os valores presentes encontrados, obtém-se o Valor Presente Líquido (VPL) do investimento.

Por outro lado, a T_{IR} pode ser comparada com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para determinar a viabilidade econômica de um projeto. A TMA é estabelecida com base em investimentos seguros que poderiam ser realizados com o montante, em vez de ser aplicado no projeto de investimento. Caso a T_{IR} seja menor que a TMA, é mais vantajoso investir em aplicações de renda fixa com menor risco. Caso contrário, o investimento é considerado viável. (SCHROEDER *et al.*, 2005).

A T_{IR} é amplamente utilizada na gestão econômica de empresas para avaliar a conveniência de realizar determinado investimento. Ao projetar fluxos de entrada e saída de caixa, como é o caso da construção de uma nova planta, a T_{IR} e o VPL são calculados com base nessas estimativas.

O modelo para o cálculo da T_{IR} é apresentado como:

$$0 = VPL = \sum_{n=1}^N \frac{F_{Cn}}{(1+T_{IR})^n} \quad (2)$$

Onde:

- VPL: Valor Presente Líquido;
- n: Número de Períodos;
- F_C : Fluxo de Caixa;
- N: Conjunto de períodos considerados

- T_{IR} : Taxa Interna de Retorno.

No contexto deste trabalho, pretende-se utilizar parâmetros de engenharia como dados de entrada para calcular a viabilidade e o retorno financeiro do projeto em questão. Esses dados de entrada, juntamente com o valor a ser investido, serão utilizados para determinar a TIR do projeto e validar o início da implementação do revestimento. Os parâmetros analisados na análise econômica foram:

- O montante investido no projeto;
- O preço do Gás Natural;
- A redução de consumo do gás natural mediante análise de consumo do último ano;
- O custo de manutenção do projeto.

2.3 INVESTIMENTO ESTIMADO

O aporte financeiro destinado ao projeto de revestimento térmico das tubulações é estimado em uma soma de 887 mil dólares (0,887MMUS\$). Esse valor será distribuído da seguinte forma: 252 mil dólares (0,252MMUS\$) para a engenharia, 520 mil dólares (0,520MMUS\$) para provisões locais (materiais de arquitetura, paisagismo e materiais de estrutura), 91,4 mil dólares (0,0914MMUS\$) para montagem e serviços de terceiros, 12,6 mil dólares (0,0126MMUS\$) para assistência técnica, e 10,4 mil dólares (0,0104MMUS\$) como *start-up* (início do projeto) e atendimento do *punchlist* (lista de prioridades).

A análise econômica do projeto é realizada ao longo de um período de 5 anos e visa garantir sua viabilidade. Como medida de contingência, foi incluído um custo de manutenção hipotético de 2%, definido experimentalmente.

No apêndice A, é possível visualizar o orçamento de forma mais detalhada, especificando como cada um dos custos por área foram formados.

Neste modelo de avaliação econômica, são considerados o custo de manutenção, a amortização do investimento ao longo dos anos e o imposto de renda sobre o montante tributável. Para realizar a análise do Valor Presente Líquido (VPL)

e da Taxa Interna de Retorno (T_{IR}), foi realizado um levantamento do consumo de gás natural nos regeneradores, hora por hora, ao longo do último ano. O objetivo desses cálculos é determinar uma estimativa de economia obtida com a redução do consumo de gás natural e multiplicar esse fator pelo custo do gás natural (0,7US\$/m³ ou 20,5US\$/MMBTU), conforme referência, a fim de obter o ganho proporcionado pelo projeto.

De maneira complementar, foi elaborada o quadro na figura 5, contendo a distribuição detalhada do orçamento do projeto, a qual confere uma visualização sistematizada das despesas envolvidas:

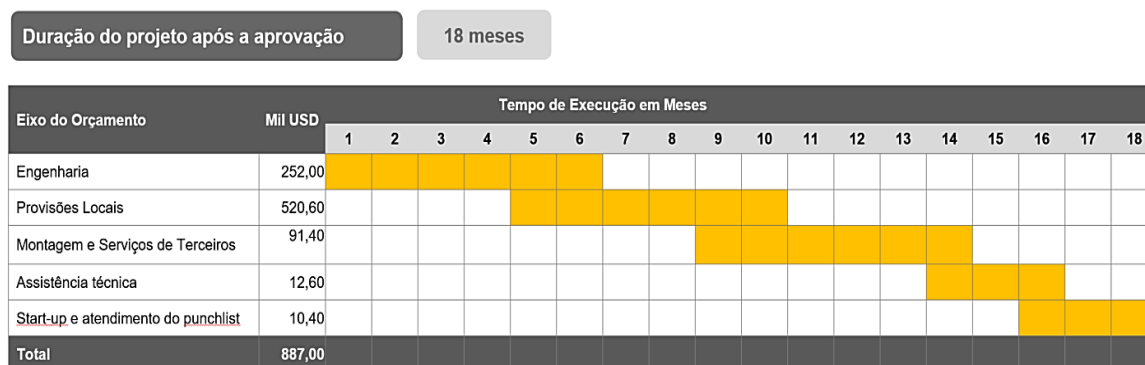


Figura 5 - Planejamento de cronograma de distribuição de recursos financeiros.
Fonte: Autores

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 AR SOPRADO NO PROCESSO PRODUTIVO DO FERRO GUSA

O processo produtivo de obtenção do ferro-gusa em altos fornos é um dos principais métodos utilizados na indústria siderúrgica. Como explica Mourão *et al.* (2007), o alto-forno é uma estrutura concebida para produzir ferro-gusa em estado líquido, que atinge uma temperatura em torno de 1500 °C. Essa temperatura é fundamental para fornecer a qualidade e quantidade necessárias para os processos produtivos subsequentes.

Para realizar o processo de produção de ferro-gusa, é necessário misturar carvão vegetal, minério de ferro e calcário, que são adicionados em camadas alternadas com camadas de coque dentro do alto-forno. O ar soprado é responsável por fazer a combustão e redução desses materiais e é uma das partes mais importantes do processo. Ele é aquecido pelo ar soprado que chega ao forno pelas tubulações.

O ar soprado que chega ao alto-forno precisa ser pré-aquecido pelos regeneradores com uma temperatura de até 1200 °C. Isso é feito para evitar uma maior utilização de coque, pois caso o ar viesse para o sistema com temperatura ambiente, seria necessária uma quantidade muito maior de combustível para atingir o calor fundamental ao processo, conforme explica Castro (2004).

Em suma, a produção de ferro-gusa em altos fornos é um processo complexo que envolve a combinação de vários materiais e etapas. Esse método é essencial para a indústria siderúrgica e é responsável pela obtenção do aço de alta qualidade e quantidade, que é utilizado em vários setores da economia.

3.2 REGENERADORES

Os regeneradores desempenham um papel crucial no processo de redução do minério de ferro nos Altos Fornos, atuando como trocadores de calor verticais. Sua principal função é armazenar e fornecer uma quantidade específica de energia térmica necessária para aquecer o ar soprado no interior dos reatores. Na figura 6, é possível observar como esses regeneradores estão dispostos dentro da planta siderúrgica.

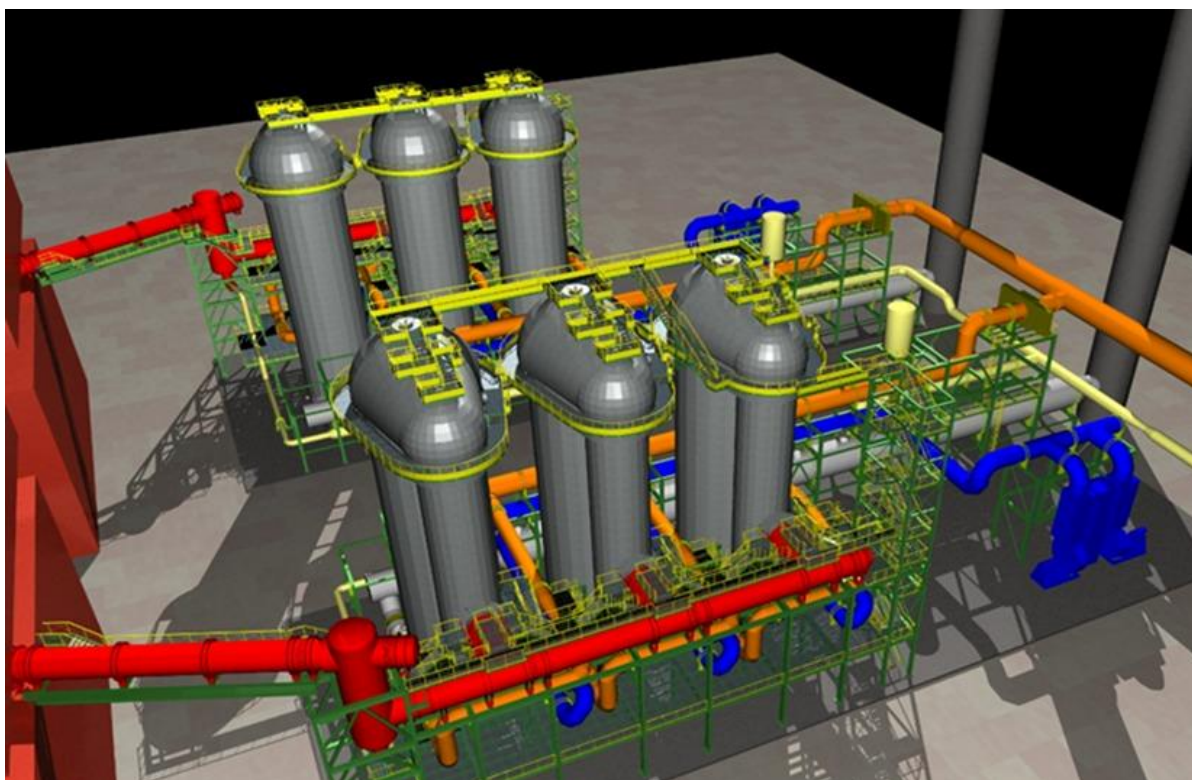


Figura 6 - Esquemático dos regeneradores
Fonte: Autores

Esses dispositivos são projetados de forma a melhorar a eficiência energética e aumentar o aproveitamento do calor gerado no processo siderúrgico. Durante a operação dos Altos Fornos, o ar é soprado através dos regeneradores, onde ocorre a transferência de calor. Os regeneradores são compostos por uma matriz de materiais refratários de alta resistência, que têm a capacidade de absorver e armazenar o calor.

Essa energia térmica é acumulada nos regeneradores durante um período específico, enquanto o processo de redução do minério de ferro está em andamento. Uma vez armazenada, a energia térmica é utilizada posteriormente para aquecer o ar soprado antes de entrar no reator. Esse aquecimento prévio é essencial para garantir a temperatura adequada dentro do reator, promovendo uma reação química eficiente e eficaz na redução do minério de ferro. Na figura 7 é mostrado como funciona o ciclo de aquecimento ar frio nos regeneradores.

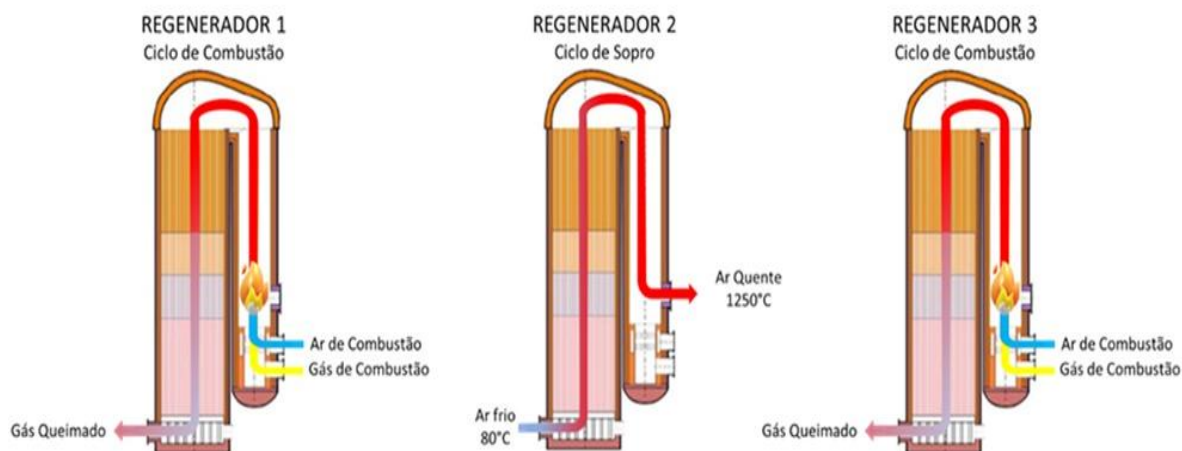


Figura 7 - Processo de funcionamento dos regeneradores
Fonte - Autores

Ao utilizar os regeneradores como trocadores de calor, ocorre uma recuperação de calor significativa no processo siderúrgico. Isso contribui para a redução do consumo de energia, aumentando a eficiência global da operação. Além disso, o uso dos regeneradores permite um melhor controle da temperatura do ar soprado, resultando em uma redução nas emissões de poluentes e no impacto ambiental associado à produção de ferro. (VIANA, 2022)

3.3 ISOLANTES TÉRMICOS

O isolamento térmico é uma propriedade fundamental dos materiais que se refere à sua capacidade de reduzir a transferência de calor entre ambientes. De acordo com a definição mencionada, o isolamento térmico é definido como a capacidade de um material em limitar a entrada ou saída de calor de um ambiente para outro (MARCOS, 2016).

No contexto das tubulações, o isolamento térmico desempenha um papel importante ao reduzir as trocas de calor entre o fluido transportado dentro da tubulação e o meio ambiente circundante. Seja para fluidos aquecidos ou resfriados, o objetivo é o mesmo: controlar a transferência de energia térmica. Quando se trata de fluidos aquecidos, o isolamento térmico ajuda a manter a energia térmica dentro da tubulação, evitando perdas desnecessárias. Por outro lado, no caso de fluidos

resfriados, o isolamento térmico impede que a tubulação absorva energia térmica do ambiente externo (TELLES, 2001).

Na figura 8, tem-se um exemplo claro dessa aplicação em tubulações.



Figura 8 - Aplicação de revestimento externo na tubulação
Fonte: Ecotec montagens industriais(2019)

Ao implementar um isolamento térmico eficiente em sistemas de tubulação, é possível alcançar vários benefícios. Em primeiro lugar, a eficiência energética é aprimorada, uma vez que as perdas de calor são reduzidas, resultando em menor consumo de energia para manter a temperatura desejada do fluido. Além disso, o isolamento térmico contribui para a preservação das condições ideais de operação, garantindo que a temperatura do fluido seja mantida sem interferências externas.

Portanto, o isolamento térmico é uma consideração crucial em projetos de tubulação, proporcionando maior eficiência energética, controle de temperatura e conservação de recursos.

Os motivos para definir a utilização ou não de um isolante térmico em uma tubulação variam entre 3 cenários: Proteção pessoal; motivo de serviço e motivo econômico.

3.3.1 PROTEÇÃO PESSOAL

A norma brasileira NBR 14724:2014 - Trabalhos com Elementos em Alta Temperatura - Procedimento é uma norma que trata especificamente do trabalho com elementos em alta temperatura. Essa norma estabelece as diretrizes e procedimentos para a execução de atividades em ambientes com temperaturas elevadas, a fim de garantir a segurança e saúde dos trabalhadores envolvidos. A partir disso, uma

tubulação deve ser isolada termicamente, buscando a proteção pessoal ao redor dessa tubulação, se a temperatura de trabalho for maior que 60°C ou abaixo de 0°C e essa tubulação estiver em uma área com possibilidade de contato de pessoas. Geralmente em regiões com menos de 2m de altura em relação ao trânsito de pessoas ou a uma distância inferior a 1m de qualquer piso de operação.

3.3.2 MOTIVO DE SERVIÇO

Nesse cenário, para conservar a natureza do serviço quando é necessário manter o fluido de trabalho em uma determinada temperatura específica, normalmente buscando manter as propriedades desse fluido durante seu transporte. Um exemplo disso é um determinado reagente em uma indústria farmacêutica, que precisa chegar ao final da tubulação em uma determinada temperatura para que ocorra a mistura da forma desejada.

3.3.3 MOTIVO ECONÔMICO

Principal motivação para a realização deste estudo de caso, ocorre quando a transferência de calor entre o fluido e o ambiente gera um prejuízo financeiro para a empresa, pois acaba sendo uma energia perdida durante o trajeto sem nenhuma função desempenhada.

A partir dessa constatação, se faz necessário um estudo de viabilidade econômica para calcular se o investimento em um isolamento térmico da tubulação é viável, pois é necessário que ele seja autossuficiente (em questão de valores) em determinado espaço de tempo apenas com a economia de energia gerada por essa diminuição da troca de calor com o ambiente.

Como quanto maior a espessura do isolante maior o custo, é comum a utilização de um gráfico conforme abaixo, relacionando a variação da espessura do isolamento com o custo do material. A espessura ideal estará localizada no ponto P, ilustrado na Figura 9:

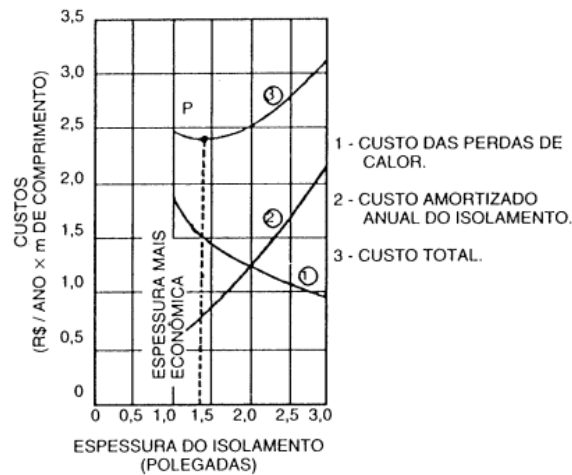


Figura 9 - Gráfico relacionando o custo com a espessura do isolamento
Fonte: Telles (2001)

Para o cálculo dos custos dessa perda de calor, representados pelas curvas do gráfico acima, é necessário a mensuração da quantidade de calor trocada de acordo com as espessuras comumente utilizadas no mercado, conforme a Equação 3 (TELLES,2001):

$$Q = \frac{2\pi KL(T_s - T_a)}{2,3 \log \frac{r_e}{r_i} + \frac{K}{r_e(h + 0,9h_r)}} \quad (3)$$

Onde:

- Q = Quantidade de calor trocada por unidade de tempo (BTU/hora).
- K = Coeficiente de condutividade térmica do isolamento considerado para temperatura em questão (BTU/pé * hora * °F).
- L = Comprimento do tubo (pés).
- T_s = Temperatura do tubo (°F).
- T_a = Temperatura do ambiente (°F)
- r_e = Raio externo do isolamento (pés).
- r_i = Raio interno do isolamento (pés)
- h = Coeficiente de convecção (BTU/pé²* hora * °F).
- h_r = Coeficiente de radiação (BTU/pé²* hora * °F).

3.3.4 PRINCIPAIS MATERIAIS ISOLANTES

De acordo com a norma térmica PETROBRAS N-1618 (2013), onde são definidos os principais materiais isolantes para utilização em revestimentos externos de tubulações:

- Isolantes térmicos rígidos
 - (a) Silicato de cálcio;
 - (b) Espuma rígida de poliuretano e poliisocianurato;
 - (c) Perlita expandida;
 - (d) Vidro celular;
- Isolantes térmicos flexíveis
 - (a) Lã de vidro;
 - (b) Lã de rocha;
 - (c) Fibra (ou lã) cerâmica.
 - (d) Aerogel;
 - (e) Espuma elastomérica;

Na indústria de processos, diversos materiais naturais e sintéticos têm sido aplicados a elementos e dispositivos que necessitam diminuir sua taxa de troca térmica, quer seja com o ambiente, ou mesmo com outro componente próximo a ele. Nessa perspectiva, há aqueles materiais mais indicados para determinadas aplicações, as quais variam de acordo com seus parâmetros de operação, conforme exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedade térmica de materiais isolantes

Material	Limites de temperatura °C	Resistência à			Condutividade térmica média BTU·pol/h·pe. ² ·°F					Observações (veja página 231)
		Água ou umidade	Fogo	Danos Mecânicos	a 40°C	a 100°C	a 200°C	a 300°C	a 400°C	
Isolantes térmicos rígidos										
Materiais em forma de calhas ou segmentos pré-moldados										
Hidrossilicato de Ca	até 1.000	Boa	Boa	Boa à compressão, fraca à tração	0,38	0,40	0,47	0,57		1, 2
Composição de Mg 85%	até 320	Fraca	Boa	Boa à compressão, fraca à tração	0,40	0,43	0,51	0,59		3, 4
Lã mineral (lã de rocha) — sílica em fios	até 900	Boa	Excelente	Fraca	0,32	0,37	0,50	0,64	0,77	5, 6, 7
sílica diatomácea (terra diatomácea)	até 1.000	Fraca	Regular	Fraca	0,58	0,60	0,68	0,78	0,86	7, 8
Lã de vidro	— 180 a 540	Excelente	Excelente	Fraca	0,25	0,28	0,30			9, 11
Espuma de plástico (poliestireno expandido)	— 50 a 80	Excelente	Não resiste	Regular	0,40					10, 11
Cortiça	— 50 a 80	Boa	Não resiste	Regular	0,25	0,26				11, 12, 13
Isolantes térmicos flexíveis										
Materiais em forma de mantas (tecidos)										
Amianto	até 400	Boa	Excelente	Regular	0,47	0,50	0,57	0,65		14
Lã mineral	} Como acima									
Lã de vidro										
Materiais plásticos aplicados por "spray"										
Poliuretanos	— 240 a 100	Boa	Não resiste	Regular	0,14					11

Nota geral: Os dados de condutividade térmica são aproximados, servindo apenas como base de comparação.

Fonte: Telles (2001)

Para a análise de viabilidade do investimento do revestimento térmico da linha de ar soprado, foram utilizados os seguintes dados técnicos de projeto:

- Comprimento da tubulação: 650m cada (1300m de tubulação no total);
- Diâmetro: 52 polegadas;
- Espessura: 0,375 polegadas;
- Temperatura média de saída da estação de fornecimento de ar: 102°C;
- Temperatura média de entrada nos regeneradores: 82°C;
- Vazão de ar soprado: 5100 m³/min.

O objetivo do projeto é revestir a tubulação com uma camada de isolante e uma chapa de alumínio para cobrir o revestimento, como pode ser visto na Figura 10:



Figura 10 - Diâmetro interno da tubulação
Fonte: Autores

Conforme visto na Figura 11, a tubulação passa pelos *pipe racks*, que são estruturas que suportam a tubulação, e chega até os regeneradores.

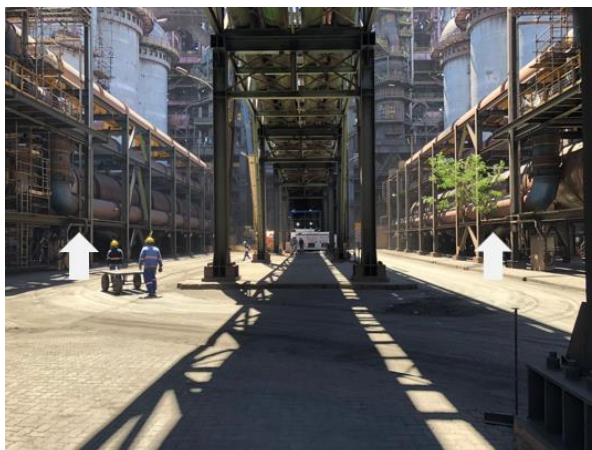


Figura 11 - Tubulações em direção aos regeneradores
Fonte: Autores

Os operadores utilizarão cintas de ancoragem para fixar o revestimento térmico na tubulação, conforme mostrado na Figura 12. Esse revestimento refratário será coberto por uma proteção mecânica constituída de uma chapa de alumínio que protegerá a manta e auxiliará na diminuição da troca de calor, levando à preservação da temperatura do ar que entra nos regeneradores, o que, conseqüentemente, diminui o consumo de gás natural.



Figura 12 - Revestimentos Térmicos Aplicados em Tubulações
Fonte: Autores

De acordo com medições realizadas na planta, os valores de temperatura de saída do ar da estação de fornecimento nos últimos dois anos foram, em média, de 102°C, de acordo com o gráfico mostrado na Figura 13.

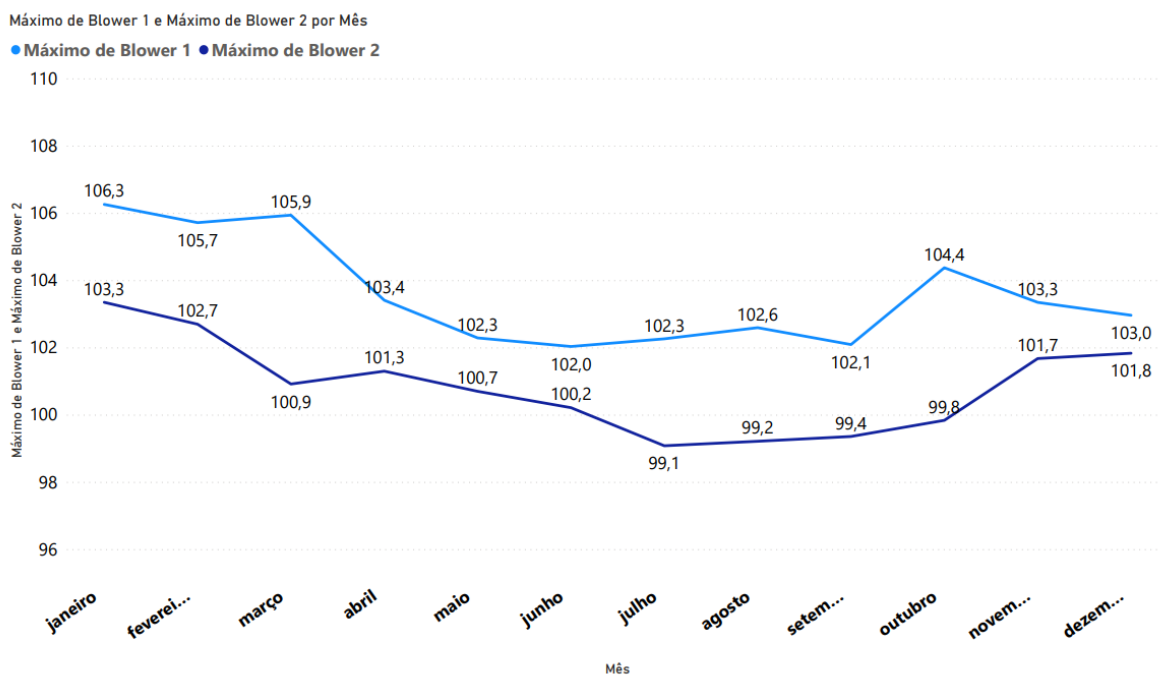


Figura 13: Temperatura máxima de saída do ar frio dos *Blowers* (sopradores) em cada mês do ano
Fonte: Autores

Já as temperaturas de entrada do ar nos *stoves*¹ em março de 2022 foram, em média, de 82°C, como pode ser visto na Figura 14, que registra as medições ao longo do ano:

¹ Termo em inglês muito utilizado para designar fornos industriais.

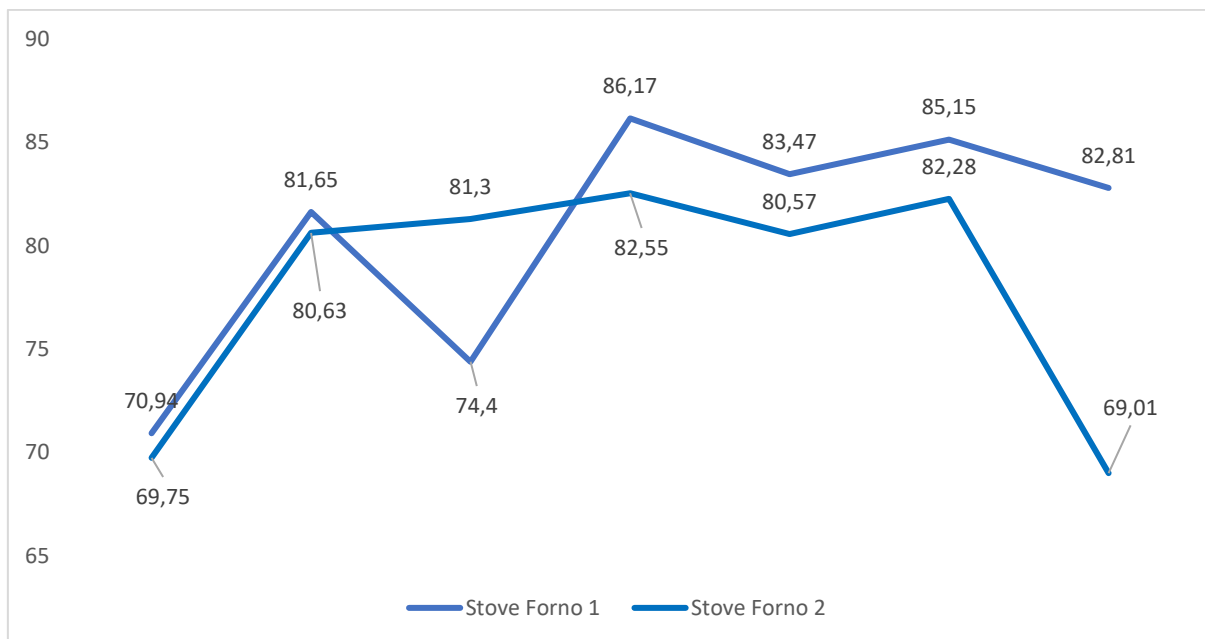


Figura 14: Temperatura de entrada do ar nos stoves dos regeneradores
Fonte: Autores

Um “stove” em um regenerador é uma câmara ou compartimento projetado para armazenar e liberar calor durante o processo de regeneração em um forno.

O tipo de isolante escolhido para a realização do projeto foi a lã de rocha de 60mm de espessura, pois é a relação ideal entre eficiência de projeto e economia financeira. De forma conservativa, é considerado que a lã de rocha de 60mm de espessura garante uma conservação de temperatura de 15°C. Dessa forma, a temperatura de chegada do ar nos regeneradores atingiria 97°C.

Os regeneradores utilizam dois tipos de gases para gerar energia e aquecer o ar que entra nos Altos Fornos, são eles o BFG (*Blast Furnace Gas*) e o Gás Natural. O aumento de 15°C na entrada de ar nos regeneradores gera a oportunidade de uma menor utilização desses gases para gerar energia. No caso a seguir, o consumo de BFG no processo será mantido e o cálculo se dará com o objetivo de mensurar a diminuição de Gás Natural e o respectivo impacto financeiro que essa ação trará. De acordo com dados coletados no processo, o BFG possui poder calorífico de 836kcal/m³ e vazão de 150000 m³/h. Já o Gás Natural possui poder calorífico de 8645kcal/m³ e vazão de 3577m³/h.

4. DIMENSIONAMENTO

A partir dos dados e parâmetros expostos, torna-se possível proceder com o dimensionamento do sistema e, de tal forma, fornecer informações suficientes para a posterior conclusão sobre as decisões do estudo de caso.

4.1 CÁLCULO DE ENGENHARIA DE PROJETO

O cálculo a seguir tem o objetivo de demonstrar a quantidade de energia que é introduzida no sistema antes da implementação do revestimento térmico. Além disso, busca-se manter essa quantidade de energia constante, aumentando a contribuição proveniente do ar mais quente e diminuindo a dependência da energia proveniente do gás natural. A energia proveniente do BFG também se manterá constante. Os valores de entrada do poder calorífico e da vazão do BFG e do Gás Natural estão detalhados na Tabela 2.

Tabela 2 - Especificações BFG e Gás natural

Dados	PCI (kcal/m ³)	Vazão (m ³ /h)
BFG	836	150000
Gás natural	8645	3577

Fonte: Autores

A energia inserida no processo atualmente, sem o revestimento térmico, é de 157,3 Gcal/h, calculada da seguinte forma:

$$E_0 = E_{\text{BFG}} + E_{\text{GN}} + E_{\text{AR}} = 157,3 \text{ Gcal/h} \quad (4)$$

De acordo com o modelo matemático destacado abaixo, calcula-se a energia do BFG e a energia do Gás Natural, multiplicando-se o poder calorífico pela vazão de entrada no sistema. Esses valores são somados à energia gerada pela entrada de ar a temperatura de 82°C.

$$E_0 = \frac{[(PCI_{BFG}) \times (Q_{BFG})] + [(PCI_{GN}) \times (Q_{GN})]}{1000000} + E_{82} \quad (5)$$

- E_0 : Energia inserida no sistema antes do revestimento térmico das linhas de ar soprado (Gcal/h);
- E_{82} : Energia que o ar entrega a 82°C;
- PCI_{BFG} : Poder calorífico do *Blast furnace gas* (kcal/m³);
- PCI_{GN} : Poder calorífico do gás natural (kcal/m³);
- Q_{BFG} : Vazão do *Blast furnace gas* (m³/h);
- Q_{GN} : Vazão do Gás Natural (m³/h).

$$E_0 = \frac{\left[\left(836 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3} \right) \times \left(150000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \right] + \left[\left(8645 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \right) \times \left(3577 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \right]}{1000000} + 1,02 \frac{\text{Gcal}}{\text{h}} \quad (6)$$

Logo, efetuando os cálculos:

$$E_0 = 157,3 \text{ Gcal/h}$$

Para inserir a mesma quantidade de energia, com o aumento de 15°C na temperatura de entrada do ar frio nos regeneradores, podemos diminuir a vazão de entrada de Gás Natural no processo. Dessa forma, o cálculo segue da seguinte forma:

$$E_0 = E_{BFG} + E_{GN} + E_{AR} = 157,3 \text{ Gcal/h} \quad (7)$$

onde:

- E_0 : Energia inserida no sistema antes do revestimento térmico das linhas de ar soprado;
- E_{BFG} : Energia gerada pelo BFG;
- E_{AR} : Energia gerada pela entrada de ar.

O objetivo do estudo é manter a energia inserida no sistema, conservando a energia gerada pelo BFG e variando a vazão de entrada de gás natural através do aumento de temperatura da entrada de ar.

Portanto:

$$E_0 = E_1 \quad (8)$$

E_0 é a energia inserida no sistema antes do revestimento térmico das linhas de ar soprado e E_1 é a energia inserida no sistema após o revestimento térmico. Igualase E_0 a E_1 pois a energia de saída dos regeneradores já era suficiente para manter o processo antes mesmo do projeto de revestimento. O propósito é quantificar a vazão de Gás Natural que será economizada em detrimento da maior energia térmica entregue ao processo.

$$E_1 = E_{BFG} + E_{GN'} + E_{AR'} \quad (9)$$

A energia entregue pelo sistema posterior ao revestimento térmico (E_1) é de 157,3 Gcal/h. Ela é composta pela energia do BFG, que se mantém constante, e pela energia do Gás Natural e energia do ar que se modificam após o revestimento pela alteração da temperatura do ar e da vazão de Gás Natural. Portanto são energias recalculadas.

A energia do BFG permanece constante antes e depois do revestimento. No entanto, no caso do Gás Natural, a energia posterior é recalculada subtraindo a variação de energia do Gás Natural da energia anterior ao revestimento:

$$E_{GN'} = E_{GN} - \Delta E_{GN} \quad (10)$$

Por outro lado, a energia recalculada do ar é obtida somando a variação de energia do ar à energia anterior ao revestimento:

$$E_{AR'} = E_{AR} + \Delta E_{AR} \quad (11)$$

Substituindo as equações anteriores na equação principal, tem-se:

$$E_{BFG} + E_{GN} + E_{AR} = E_{BFG} + E_{GN} - \Delta E_{GN} + E_{AR} + \Delta E_{AR} \quad (12)$$

Como a energia do BFG (E_{BFG}), a energia do gás natural (E_{GN}) e a energia do ar (E_{AR}) são iguais antes e depois do revestimento, conclui-se que a variação de energia do gás natural é igual a variação de energia do ar:

$$\Delta E_{GN} = \Delta E_{AR} \quad (13)$$

Para calcular a variação de energia do gás natural é necessário realizar a subtração da vazão anterior com a vazão posterior ao revestimento térmico e multiplicá-la pelo valor do poder calorífico do gás natural, conforme demonstrando na Equação 13.

$$\Delta E_{GN} = (Q_{GN0} - Q_{GN1}) \times LHV_{GN} \quad (14)$$

$$\Delta E_{GN} = \left(\frac{3577 \text{ m}^3}{\text{h}} - Q_{GN1} \right) \times 8645 \text{ kcal/m}^3$$

Para calcular a variação de energia do ar, multiplica-se a vazão do ar pelo calor específico e pela variação de temperatura da seguinte forma:

$$\Delta E_{AR} = Q_{AR} \times C_{AR} \times \Delta T \quad (15)$$

$$\Delta E_{AR} = \frac{5100 \text{ m}^3}{\text{min}} \times 1,0098 \text{ kJ/kgK} \times 15\text{K}$$

Transformando a vazão de ar para m³/h e o calor específico para kcal/kgK, tem-se:

$$\Delta E_{AR} = \frac{306.000 \text{ m}^3}{\text{h}} \times 0,2413422 \text{ kcal/kgK} \times 15\text{K} \quad (16)$$

$$\Delta E_{AR} = 1.107.788,508 \text{ kcalm}^3/\text{hkg}$$

Multiplicando o resultado pela densidade do ar (1,2754 kg/m³), tem-se:

$$\Delta E_{AR} = 1.412.873,453 \text{ kcal/h} \quad (17)$$

Ao encontrar a variação de energia do ar, calculamos através da equação 12 a vazão do gás natural que antes era a incógnita da equação, em metros cúbicos por hora:

$$\left(\frac{3577 \text{ m}^3}{\text{h}} - Q_{\text{GN1}} \right) \times 8645 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} = 1.412.873,453 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \quad (48)$$

$$Q_{\text{GN1}} = 3413,567559 \text{ m}^3/\text{h}$$

Portanto, a vazão de Gás Natural posterior ao revestimento térmico das tubulações de ar soprado é de, aproximadamente, 3413,5 m³/h. A diferença de vazão é de 163,43 m³/h, o que gera um ganho de 4,57%.

A Tabela 3, apresenta os resultados consolidados, onde são evidenciadas as mudanças de parâmetro calculadas no projeto e o respectivo impacto de cada uma delas. O aumento de 15°C na temperatura do ar elevou a energia do ar em 0,39 Gcal/h. Com o objetivo de alcançar a mesma quantidade de energia fornecida antes do revestimento térmico, se faz possível reduzir a quantidade de Gás Natural consumido em 163,43 m³/h.

Tabela 3: Resultados de Estudo de Engenharia

Variações no Processo	Temperatura do ar	Energia do ar	Vazão de GN
Pré Projeto	82°C	1,02 Gcal/h	3577 m ³ /h
Pós projeto	97°C	1,41 Gcal/h	3413,57 m ³ /h
Δ	15°C	0,39 Gcal/h	163,43m³/h
%	15%	28%	4,57%

Fonte: Autores

4.2 CÁLCULO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

Após a finalização dos cálculos de engenharia do projeto, identificou-se a viabilidade de implementação do revestimento térmico. O projeto garantirá 4,57% de economia anual de Gás Natural nas condições especificadas acima.

O segundo passo do processo consiste em realizar a análise econômica com o intuito de entender se a empresa terá um retorno que viabilize a implementação do projeto. As premissas utilizadas pela empresa em questão consistem em: realizar uma análise de VPL (valor presente líquido) com resultado positivo, atingir uma TIR (taxa interna de retorno) maior do que 15% e um payback de, no máximo, 5 anos.

A análise citada anteriormente, serve de parâmetro para que a empresa entenda se o investimento trará benefícios financeiros para a companhia ou se esse

montante deve ser aportado em investimentos de baixo risco e com retorno garantido. Como premissas e valores encontrados na análise energética do projeto, temos os seguintes valores na tabela 4:

Tabela 4 – Parâmetros de Projeto

Parâmetros de Projeto	Unidades	Valores
Investimento	\$	\$887.000,00
Câmbio	BRL/us\$	5,2
Preço do Gás Natural	\$/m ³	0,7
Custo de Manutenção anual do investimento	%	2%
Custo de Manutenção anual do investimento	\$/ano	\$17.740,00
Vazão de Gás Natural anterior ao revestimento	m ³ /h	3577
Vazão de Gás Natural após o revestimento	m ³ /h	3413,6
Economia de Gás Natural	m ³ /h	163,4
Economia de Gás Natural	MMm ³ /ano	1,432
Economia de Gás Natural	%	4,57%
Valor de economia financeira de Gás Natural	\$/h	\$114,40
Valor de economia financeira de Gás Natural	\$/ano	\$1.002.167,73

Fonte: Autores

Analisando a Tabela 5, temos que através da análise de engenharia, o projeto foi orçado em 887 mil dólares, sendo eles distribuídos da seguinte forma: engenharia (252 mil), provisões locais (520,6 mil), montagem e serviços de terceiros (91,4 mil), assistência técnica (12,6 mil) e start-up e atendimento do *punchlist* (10,4 mil).

Tabela 5 - Despesas distribuídas ao longo do projeto

Divisão de Orçamento	Valor em Dólares	Execução em meses													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Engenharia	\$252.000,00														
Provisões Locais	\$520.600,00														
Montagem e Serviços de Terceiros	\$91.400,00														
Assistência técnica	\$12.600,00														
Start-up e atendimento do punchlist	\$10.400,00														
Total	\$887.000,00														

Fonte: Autores

O câmbio utilizado como padrão para análise de investimentos na empresa em questão é de 5,2BRL/us\$. O custo do Gás Natural no mercado é de 0,7\$/m³ e o custo de manutenção definido como contingência foi de 2%. Dessa forma, o custo anual destinado à manutenção do projeto é de \$17.740,00.

De acordo com os cálculos de engenharia demonstrados anteriormente, a vazão de Gás Natural anterior ao revestimento era de 3577 m³/h. Após o revestimento

térmico das tubulações, o ar soprado atingiu uma temperatura maior e, conseqüentemente, o consumo de gás natural diminuiu para 3413,6 m³/h. Chegamos, então, em uma economia de gás natural de 163,4 m³/h (1,432 MMm³/ano). Dividindo esse valor pela vazão de gás natural anterior ao revestimento, atingimos o valor de 4,57% de economia.

Multiplicando a economia de 163,4 m³/h pelo valor do gás natural, que é de 0,7\$/m³, encontramos a quantia de 114,40\$/h, o que nos leva a uma economia anual de pouco mais de 1 milhão de dólares.

4.3 VALOR PRESENTE LÍQUIDO E TAXA INTERNA DE RETORNO

O cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) proporciona a possibilidade de analisar se seu valor é positivo, negativo ou nulo. Um VPL positivo sinaliza que o projeto detém potencial para obter retorno financeiro, sendo considerado atrativo. Já um VPL negativo indica que o projeto provavelmente não será suficientemente rentável para recuperar o investimento inicial. Enquanto um VPL igual a zero indica que o projeto não acarretará ganhos ou perdas significativas.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) opera sob a premissa de que, se a taxa de desconto utilizada for inferior à TIR, o projeto é considerado atrativo, uma vez que o VPL será positivo. Por outro lado, se a taxa de desconto for superior à TIR, o projeto é considerado desinteressante, pois resultará em um VPL negativo. A TIR também pode ser comparada com a taxa mínima de atratividade para determinar a viabilidade econômica do projeto, de acordo com tabela 6, apresentada abaixo:

Tabela 6 - Cálculo do VPL E TIR

Cálculo de VPL e TIR						
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	15%					
Ano	0	1	2	3	4	5
Valor de saída	-\$887.000,00	-\$17.740,00	-\$17.740,00	-\$17.740,00	-\$17.740,00	-\$17.740,00
Valor de Entrada	0	\$1.002.167,73	\$1.002.167,73	\$1.002.167,73	\$1.002.167,73	\$1.002.167,73
Balanco Bruto	-\$887.000,00	\$984.427,73	\$984.427,73	\$984.427,73	\$984.427,73	\$984.427,73
Amortização	\$0,00	-\$177.400,00	-\$177.400,00	-\$177.400,00	-\$177.400,00	-\$177.400,00
Montante Tributável	\$0,00	\$807.027,73	\$807.027,73	\$807.027,73	\$807.027,73	\$807.027,73
Imposto de Renda + Contribuição social por lucro líquido	\$0,00	-\$274.389,43	-\$274.389,43	-\$274.389,43	-\$274.389,43	-\$274.389,43
Benefício Líquido	\$0,00	\$710.038,30	\$710.038,30	\$710.038,30	\$710.038,30	\$710.038,30
Fluxo de Caixa Líquido	-\$887.000,00	\$710.038,30	\$710.038,30	\$710.038,30	\$710.038,30	\$710.038,30
Fluxo de caixa descontado	-\$887.000,00	\$617.424,61	\$536.890,96	\$466.861,71	\$405.966,70	\$353.014,52
Fluxo de caixa acumulado	-\$887.000,00	-\$269.575,39	\$267.315,57	\$734.177,28	\$1.140.143,99	\$1.493.158,51
VPL						R\$ 1.493.158,51
TIR						75%

Fonte: Autores

No caso em análise, a TIR encontrada foi de 75%, superando os 15% estabelecidos como requisito mínimo para a aprovação do projeto, conforme as diretrizes da empresa.

Em relação à situação específica, o investimento inicial é de 887 mil dólares. Para calcular o VPL, é necessário descontar os fluxos de caixa futuros esperados, utilizando uma taxa mínima de atratividade de 15%, bem como considerar o custo fixo anual de manutenção, estabelecido em 2% do valor investido. Os fluxos de caixa demonstrados na figura 15, foram projetados para um período de 5 anos:

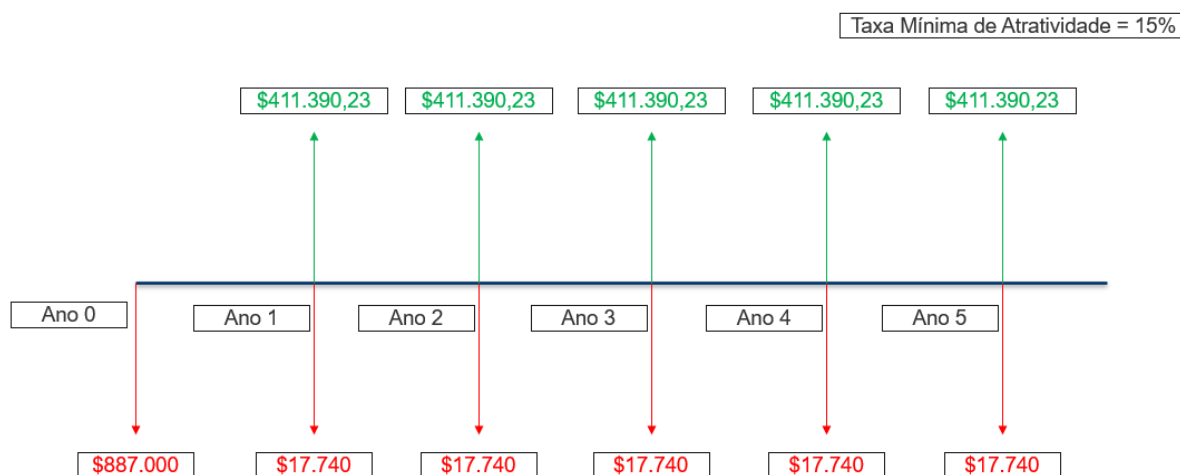


Figura 15 – Fluxo de Caixa
Fonte: Autores

A Figura 16, mostra a geração de um fluxo de caixa bruto, ou seja, os descontos financeiros tais quais a amortização e o imposto de renda ainda não foram contabilizados.

De acordo com os valores mostrados na figura 15, constata-se que o valor de saída do investimento é de 887 mil dólares, enquanto o custo anual de manutenção do projeto é de 17.740\$. Os ganhos anuais mantêm-se no patamar de \$984.427,73, sendo que a análise foi conduzida ao longo de 5 anos, adotando uma taxa mínima de atratividade de 15%.

No estudo de caso examinado, obteve-se um VPL de \$1.493.158,51, evidenciando um retorno financeiro atrativo para tal investimento.

4.4 PAYBACK

O payback é uma métrica financeira utilizada para avaliar o período necessário para recuperar o investimento inicial em um projeto. É um indicador simples e amplamente utilizado para análise de viabilidade de investimentos. O cálculo desse indicador é feito determinando-se a quantidade de tempo necessária para que o fluxo de caixa gerado pelo projeto iguale ou exceda o investimento inicial. Em outras palavras, é o tempo necessário para “recuperar” o valor investido.

O cálculo do indicador é realizado considerando o investimento do projeto em termos de valores futuros, ao multiplicar o valor investido pela taxa mínima de atratividade. O objetivo é comparar o retorno anual do projeto com um potencial retorno caso o montante fosse investido em opções seguras, em vez de ser direcionado para o projeto em questão. Dessa forma, a cada ano é possível avaliar a diferença entre o valor investido e o valor recuperado pelo investimento até o momento em que o ganho financeiro começa a ser obtido.

Conforme mencionado anteriormente, a taxa mínima de atratividade estabelecida para o projeto é de 15%. O cálculo do período de retorno do investimento (payback) foi realizado levando em consideração o ganho bruto anual de \$984.427,73, que é calculado subtraindo o ganho do projeto (\$1.002.167,73) do valor de sua manutenção (\$17.740,00), da amortização (\$177.400) e do imposto de renda e contribuição social (\$274,389,43).

Com todos os valores levados a valor presente, o VPL é de \$1.493.158,51 e o payback é calculado com os valores do fluxo de caixa acumulado, mostrando que o ganho financeiro se dá entre o ano 1 e o ano 2, como demonstrado na tabela 7.

Tabela 7 - Cálculo do payback

Cálculo do payback	
Investimento	\$887.000,00
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) + Valor do investimento	115%
Ano	Payback
1	-\$269.575,39
2	\$267.315,57
3	\$734.177,28
Momento do início do ganho no ano 2	0,38
Mês	5
Início do ganho financeiro	1 ano e 5 meses

Fonte: Autores

4.5 ESTUDOS DE SENSIBILIDADES

Sabendo da volatilidade e imprevisibilidade do mercado, se faz necessário considerar diversos cenários econômicos. Na análise econômica, a sensibilidade refere-se à medida em que um determinado fator ou variável afeta os resultados financeiros de uma empresa. Ela ajuda a avaliar o impacto das mudanças nessas variáveis-chave nos resultados esperados, permitindo uma análise mais abrangente dos riscos e oportunidades.

O estudo de caso sobre o revestimento térmico das linhas de ar soprado destaca a importância crucial de analisar a variação do preço do Gás Natural para determinar a viabilidade econômica do projeto. O preço do Gás Natural considerado na análise é de 0,7m³/h, e quanto maior for o valor desse combustível, mais vantajoso se torna o projeto, uma vez que implica em economia de combustível na implementação da proposta.

Outro fator relevante na análise de sensibilidade é o valor do investimento. O setor de engenharia da empresa realiza uma análise abrangente dos custos dos materiais, mão de obra e equipamentos de proteção individual envolvidos no projeto. Esses valores podem variar de acordo com as negociações de mercado, tornando crucial conhecer até que ponto esses custos podem aumentar, sem comprometer os ganhos do projeto.

Por fim, é importante considerar a variação na economia de gás natural. O projeto de revestimento consiste em projetar a capacidade de retenção de calor através das mantas refratárias adquiridas no mercado. É fundamental estar ciente de

que existe uma margem de erro nos ganhos, que depende do fornecedor do material. Portanto, a análise de sensibilidade revela a economia mínima de gás natural necessária para justificar a implementação do projeto.

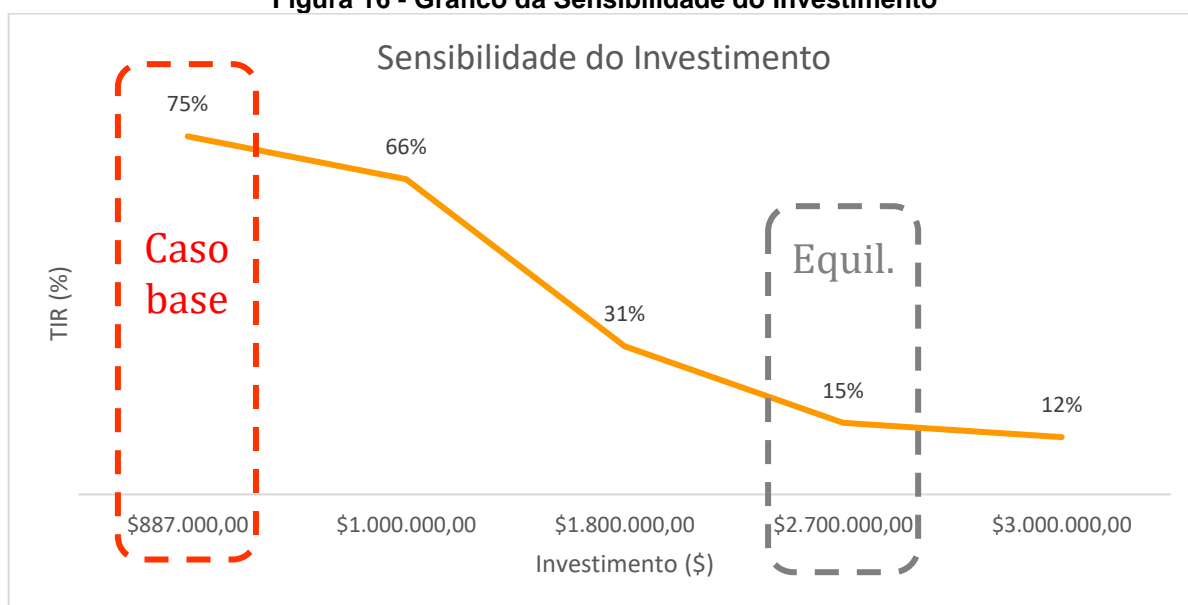
Com base na Tabela 8 e na Figura 16, é possível observar que o investimento alcança o ponto de equilíbrio em \$2.700.000,00. Este ponto de equilíbrio é definido como a taxa mínima de atratividade em que o investimento no revestimento térmico se torna mais vantajoso do que outros investimentos seguros que trariam rentabilidade para a empresa. É importante destacar que, abaixo desse valor, o investimento é considerado viável, uma vez que os ganhos financeiros superam os custos envolvidos. No entanto, acima desse valor, o investimento perde sua atratividade, pois os custos adicionais começam a superar os benefícios financeiros esperados. Assim, ultrapassar o ponto de equilíbrio pode resultar em perdas financeiras e na inviabilidade do projeto.

Tabela 8 - Sensibilidade do investimento

Investimento (\$)	
Investimento (\$)	TIR (%)
\$ 887.000,00	75%
\$ 1.000.000,00	66%
\$ 1.800.000,00	31%
\$ 2.700.000,00	15%
\$ 3.000.000,00	12%

Fonte: Autores

Figura 16 - Gráfico da Sensibilidade do Investimento



Fonte: Autores

O estudo de engenharia identificou que o uso de mantas refratárias resultará em uma economia de 163,4 m³/h de Gás Natural. No entanto, é importante considerar que esse valor pode variar de acordo com a eficiência do material utilizado. Portanto, é crucial determinar o limite mínimo de economia que torna o projeto viável. Com base na análise apresentada na figura 17 e na tabela 9, constatou-se que a economia mínima de 54m³/h ainda justifica o investimento necessário.

Tabela 9 – Sensibilidade de economia de GN

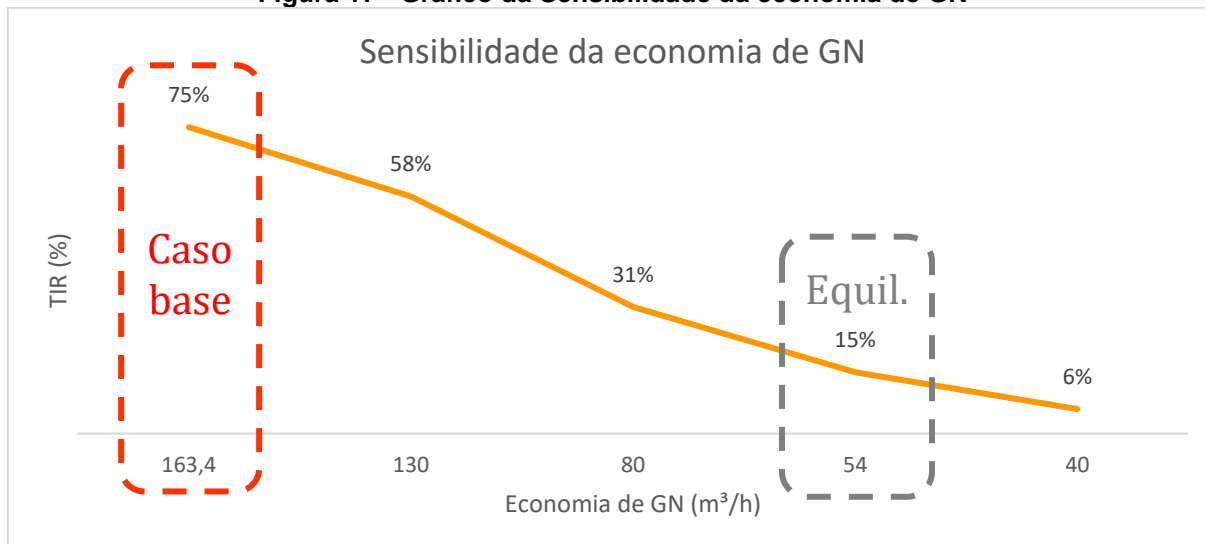
Economia de GN (m ³ /h)	
Economia de GN (m ³ /h)	TIR (%)
163,4	75%
130	58%
80	31%
54	15%
40	6%

Fonte: Autores

A Figura 18 demonstra o ponto exato onde a economia de Gás Natural deixa de ser o suficiente para que o projeto seja rentável para a empresa. A análise realizada auxilia diretorias de diversas empresas tomarem decisões assertivas quanto ao aporte

financeiro de seu capital. Como podemos ver a seguir, de acordo com o caso base do estudo, existe uma margem de segurança considerável que torna o estudo viável.

Figura 17 - Gráfico da Sensibilidade da economia de GN



Fonte: Autores

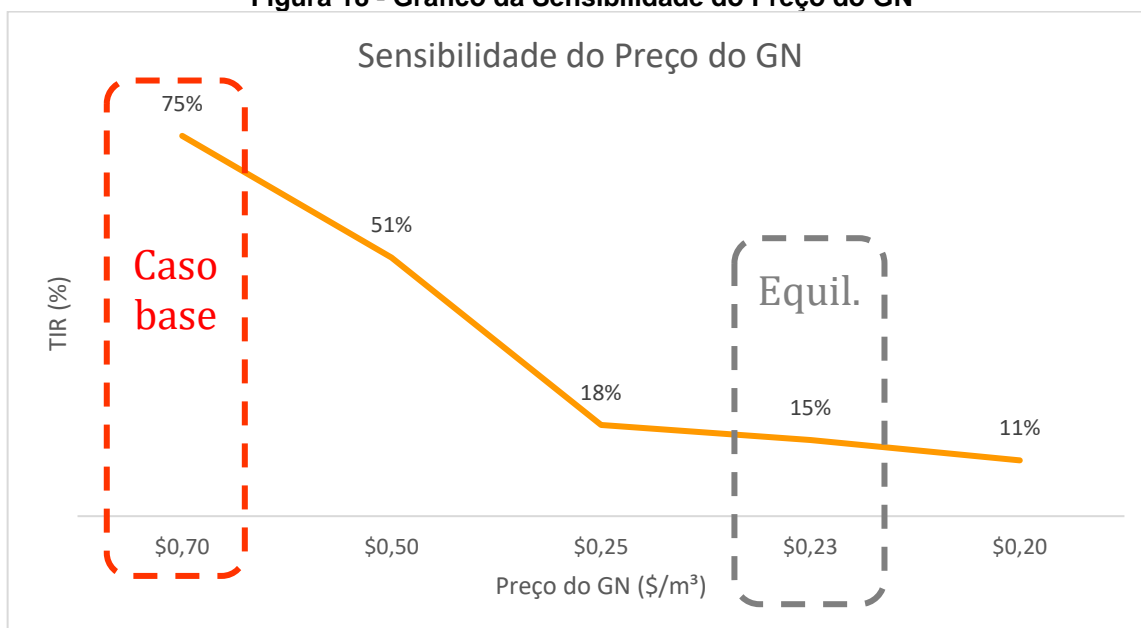
Com relação à sensibilidade da economia de Gás Natural, é importante considerar o valor de mercado atual, que é de 0,7\$/m³. Quanto menor for esse valor, menos rentável se torna o projeto. Isso ocorre porque economizar um produto com baixo valor de mercado para a empresa pode não justificar totalmente o investimento. Durante o estudo realizado para o projeto, identificou-se o ponto de equilíbrio do preço do gás natural, que é de 0,23\$/m³. Qualquer valor abaixo desse limite inviabiliza a validação do projeto, pois leva a TIR a atingir valores menores do que 15%, conforme é visto na Tabela 10 e na Figura 18.

Tabela 10 - Sensibilidade preço GN

Preço GN (\$/m³)	
Preço GN (\$/m³)	TIR (%)
\$ 0,70	75%
\$ 0,50	51%
\$ 0,25	18%
\$ 0,23	15%
\$ 0,20	11%

Fonte: Autores

Figura 18 - Gráfico da Sensibilidade do Preço do GN



Fonte: Autores

5. CONCLUSÃO

Após uma análise detalhada, foi concluído que o projeto de revestimento externo das linhas de ar soprado é não apenas tecnicamente viável, mas também oferece benefícios econômicos significativos. Um estudo comparativo foi realizado para determinar o material e a espessura ideais do revestimento, resultando em uma redução de 15°C nas perdas térmicas do ar soprado.

Essa redução na perda de calor permitiu que o gás chegasse ao final do processo produtivo com uma temperatura mais elevada, o que resultou em uma economia de 4,57% no consumo de gás natural, totalizando uma redução de 163,4 m³/h. Levando em consideração o valor médio de 0,7225 dólares por metro cúbico de gás natural durante a execução do projeto, foi feita uma estimativa de retorno do investimento em um período de 1 ano e 5 meses, embora essa estimativa possa variar de acordo com as flutuações do mercado ao longo do tempo.

É importante ressaltar que a premissa estabelecida para a solução proposta neste estudo era de um payback máximo de 5 anos. Portanto, a implementação do revestimento nas tubulações de ar soprado que alimentam os altos fornos é extremamente viável.

Essa medida não apenas resultará em economias significativas de energia e redução nos custos operacionais, mas também contribuirá para a sustentabilidade e eficiência do processo produtivo em geral.

Portanto, com base nos estudos realizados, a implementação do revestimento interno nas linhas de ar soprado é uma decisão estratégica e benéfica para a empresa, trazendo ganhos financeiros e ambientais a longo prazo. Ao aproveitar os benefícios econômicos e a redução no consumo de recursos naturais, a empresa garantirá sua competitividade no mercado, demonstrando seu compromisso com a eficiência energética e a responsabilidade ambiental.

Para um futuro trabalho, sugere-se a implementação de revestimentos térmicos em outras áreas da indústria siderúrgica. Considerando o sucesso do revestimento térmico externo nas linhas de ar soprado dos regeneradores de altos fornos, pode-se explorar a possibilidade de aplicar revestimentos semelhantes em outras áreas que enfrentam perdas de calor significativas. Isso poderia incluir outras tubulações, equipamentos ou sistemas de transporte de calor dentro da fábrica, visando reduzir as perdas térmicas e melhorar o consumo de energia. Além disso,

recomenda-se um maior aprofundamento em outros materiais para revestimento térmico, realizando um estudo mais aprofundado nas variações de ganho energético de acordo com o material e espessura escolhidos para essa função.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 14724:2014 - Trabalhos com Elementos em Alta Temperatura - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BARBOSA, Rômulo; FLEURY, Lorena. Dossiê Conflitos Ambientais: Environmental Conflicts. **Argumentos-Revista do Departamento de Ciências Sociais da Unimontes**, v. 17, n. 1, p. 4-7, 2020.

BELO, Eduardo de Oliveira. **Análise de falhas dos equipamentos de um alto forno**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BIOHERMICA ISOLAMENTOS. Isolamento térmico com lã de rocha. Disponível em: <<http://biohermicaisolamentos.com.br/informacoes/isolamento-termico-com-la-de-rocha>> Acesso em 20/06/2023

CASTRO, L.; FIGUEIRA, R.; TAVARES, R. Princípios básicos e processos de fabricação do gusa ao aço líquido. Apostila UFMG. Belo Horizonte, 2004.

DA SILVA TELLES, Pedro Carlos. **Tubulações industriais: materiais, projeto e montagem**. Livros Técnicos e Científicos, 2001.

ECOTEC MONTAGENS INDUSTRIAIS. isolamento térmico de tubulação industrial. 2019 Disponível em: Isolamento térmico de tubulação industrial – Ecotec Montagens Industriais. Acesso em 20/06/2023.

LEÃO, Adriano Souza et al. Avaliação ambiental da produção de ferro gusa: revisão sistemática da literatura, bibliometria e patentes. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 16, p. 905-936, 2020.

LERIN, Dantara. Desenvolvimento de placa de revestimento a vácuo, para isolamento térmico de fachadas de edificações. 2018.

MARCOS, Juliana Sofia Lopes. **Materiais naturais alternativos de isolamento térmico**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de Tras-os-Montes e Alto Douro (Portugal).

MOURA, Cristina da Conceição Brites de et al. Aplicação de isolamento térmico pelo exterior tipo ETICS associado a revestimento cerâmico. 2012.

MOURÃO, Marcelo Breda et al. Introdução à siderurgia. 2007.

NICOLAU, Diego Maia. Análise da resistência de amostras de vergalhões CA-50 submetidos ao teste de tração para verificação de suas especificações. 2020.

N-1618 (2014), **Material Isolamento Térmico**. Norma Petrobras. Contec. Rev G.

PEREIRA, Warley Augusto; ALMEIDA, L. da S. Método manual para cálculo da taxa interna de retorno. **Revista Objetiva**, v. 4, n. 64, p. 1-13, 2008.

SANTANA, José Jorge Barros de. **Estudo de um isolante térmico para tubos fabricado em material compósito**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SCHROEDER, Jocimari Tres et al. O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento. **Revista Gestão Industrial**, v. 1, n. 2, 2005.

SILVA, Arthur. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE CÂMARAS FRIGORÍFICAS COM DIFERENTES ISOLANTES TÉRMICOS**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SPINELLI, Rodrigo. Isolamento térmico: aplicação e avaliação de materiais naturais e inovadores para edificações. 2019.

TOMÁZ, Carlos André da Silva. A eficiência hedge no mercado de commodities: uma análise para uma empresa do setor do agronegócio. 2022.

VIANA, André Ravanelli dos Reis. Modelagem numérica dos trocadores de calor de máquina stirling. 2022. 65 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

APÊNDICE A - Detalhamento do Orçamento do Projeto

Orçamento detalhado

	Quantidade	U.M.	Mto.Unitario	Mto.Total(BRL)	Mto.Total(USD)	%	Notas e Comentários
1-000 - Engenharia				R\$1.318.000,00	\$252.007,65	26%	
1-100 - Estudos Anteriores				R\$0,00	\$0,00	0%	
1-300 - Engenharia Conceitual	18	A1/equiv.	20.000,00	R\$360.000,00	\$66.921,61	7%	
1-300 - Engenharia Básica	20	A1/equiv.	20.000,00	R\$400.000,00	\$76.481,84	8%	
1-400 - Engenharia Detalhada	20	A1/equiv.	20.000,00	R\$400.000,00	\$76.481,84	8%	
1-500 - Custo Interno Termm (Hh)	480	Hh	350,00	R\$168.000,00	\$32.122,37	3%	
2-000 - Provisões Locais				R\$2.722.984,00	\$520.647,04	53%	
2-100 - Materiais Mecânicos (chapa de aluminio)	19.496,00	kg	80,00	R\$1.559.680,00	\$299.217,97	31%	
2-200 - Materiais de Estrutura (cintas de ancoragem)	9.748	vb	50,00	R\$487.400,00	\$93.193,12	10%	
2-300 - Materiais Elétricos		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
2-400 - Materiais de Automação		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
2-500 - Materiais de Tubulação (revestimento de lâ de rocha)	42.244,00	kg	16,00	R\$675.904,00	\$129.236,95	13%	
2-600 - Materiais de Civil		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
2-700 - Materiais de Arquitetura		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
2-800 - Materiais de Paisagismo e Design		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
2-900 - Móveis e Imóveis		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
3-000 - Provisões do Exterior				R\$0,00	R\$0,00	0%	
3-100 - Materiais Mecânicos		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
3-200 - Materiais de Estrutura		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
3-300 - Materiais Elétricos		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
3-400 - Materiais de Automação		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
3-500 - Materiais de Tubulação		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
3-600 - Materiais de Civil		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
3-700 - Materiais de Uso Geral		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
4-000 - Importação, Impostos e Fretes				R\$0,00	R\$0,00	0%	
4-100 - Gastos de Importação		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
4-200 - Impostos		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
4-300 - Fretes				R\$0,00	\$0,00	0%	
5-000 - Montagem e Serviços de Terceiros				R\$477.668,00	\$ 91.332,31	9%	
5-100 - Montagem de Estruturas (ancaagens)	9.748,00	kg	3	R\$29.244,00	\$5.591,89	1%	
5-200 - Montagem Elétrica e de Instrumentos		Hh		R\$0,00	\$0,00	0%	
5-300 - Montagem de Mecânica (chapas)	19.496,00	kg	10	R\$194.960,00	\$37.277,25	4%	
5-400 - Montagem Tubulação (isolamento)	42.244,00	kg	6	R\$253.464,00	\$48.463,48	5%	
5-500 - Montagem Civil		Hh		R\$0,00	\$0,00	0%	
5-600 - Montagem Arquitetura		Hh		R\$0,00	\$0,00	0%	
5-700 - Canteiro		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	conforme padrão Doc ID: 5065
5-800 - Serviços Diversos(mobilização / desmobilização de equipamento)		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
5-900 - Aluguel de Equipamentos		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	Andaimes, plataformas, quindastes e outros
5-1000 - Serviço e Fomecimento		vb		R\$0,00	\$0,00	0%	
6-000 - Assistência e Start-up				R\$66.000,00	\$ 12.619,50	1%	
6-100 - Assistência Local				R\$0,00	\$0,00	0%	
6-200 - Assistência do Exterior				R\$0,00	\$0,00	0%	
6-300 - Assistência Local Start-up	220	Hh	300	R\$66.000,00	\$12.619,50	1%	Databook, Handover, lista de pendências e outros
6-400 - Assistência del Exterior Puesta en Marcha				R\$0,00	\$0,00	0%	
7-000 - Aluguéis, Despesas de Viagem, Licenças e outros				R\$0,00	R\$0,00	0%	
7-100 - Aluguéis				R\$0,00	\$0,00	0%	
7-200 - Mobilidade, Despesas de Viagem e Translados		vb	2.000,00	R\$0,00	\$0,00	0%	Diligenciamento
7-300 - Capacitação				R\$0,00	\$0,00	0%	
7-400 - Despesas de Reembolso referente Gestão do Projeto		vb	1.000,00	R\$0,00	\$0,00	0%	Táxi, combustível e outros
7-500 - Despesas de Representação				R\$0,00	\$0,00	0%	
7-600 - Energéticos e outros Líquidos				R\$0,00	\$0,00	0%	
7-700 - Transporte de Pessoal				R\$0,00	\$0,00	0%	
7-800 - Seguros de Obra / Construção				R\$0,00	\$0,00	0%	
7-900 - Recuperação de Sucata				R\$0,00	\$0,00	0%	
7-910 - Vários				R\$0,00	\$0,00	0%	
7-920 - Permissões/Licenças e Habilitações				R\$0,00	\$0,00	0%	
8-000 - Imprevistos				R\$463.911,17	R\$88.701,94	9%	
8-100 - Imprevistos	10%	%	4.639.111,68	R\$463.911,17	\$88.701,94	9%	
9-000 - Peças de reposição para start-up				R\$54.459,68	R\$10.412,94	1%	
9-100 - Peças de reposição para start-up	2%	%	R\$2.722.984,00	R\$54.459,68	\$10.412,94	1%	
10-000 - Hardware, Software e Licenças				R\$0,00	R\$0,00	0%	
10-100 - Hardware				R\$0,00	\$0,00	0%	
10-200 - Software e Licenças				R\$0,00	\$0,00	0%	
Total				BRL 4.639.111,68		100%	

Fonte: Autores