



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**MARCELLA BARBOSA SOUZA E SILVA**

**PROJETO DE UM SISTEMA DE EXTINÇÃO A SECO DE COQUE  
PARA UMA PLANTA PILOTO DE COQUERIA DE UMA INDÚSTRIA  
SIDERÚRGICA.**

**OURO PRETO - MG  
2018**

**MARCELLA BARBOSA SOUZA E SILVA**  
**marcellaab.02@gmail.com**

**PROJETO DE UM SISTEMA DE EXTINÇÃO A SECO DE COQUE  
PARA UMA PLANTA PILOTO DE COQUERIA DE UMA INDÚSTRIA  
SIDERÚRGICA.**

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Mecânica  
da Universidade Federal de Ouro  
Preto como requisito para a obtenção  
do título de Engenheira Mecânica.

**Professora orientadora:** Elisângela Martins Leal, PhD.

**OURO PRETO – MG**  
**2018**

S729p Souza e Silva, Marcella Barbosa .  
Projeto de um sistema de extinção a seco de coque para uma planta piloto de coqueria de uma Indústria Siderúrgica [manuscrito] / Marcella Barbosa Souza e Silva. - 2018.

48f.: il.: color; tabs.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elisângela Martins Leal.  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. MSc<sup>a</sup>. Marina do Carmo Carias.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Projetos mecânicos. 2. Indústria Siderúrgica. 3. Coqueria. 4. Coque. 5. Extinção a seco do coque. I. Leal, Elisângela Martins. II. Carias, Marina do Carmo. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 621

Catalogação: [ficha.sisbin@ufop.edu.br](mailto:ficha.sisbin@ufop.edu.br)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ATA DA DEFESA**

Aos 6 dias do mês de dezembro de 2018, às 10h30min, no Auditório da Fundação Gorceix, localizado na Escola de Minas, Campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto, foi realizada a defesa de monografia da aluna Marcella Barbosa Souza e Silva, sendo a comissão examinadora constituída por: Prof. MSc. Savio Sade Tayer, Prof. MSc. Marcelo Teodoro Assunção, MSc. Marina do Carmo Carias e Profa. DSc. Elisângela Martins Leal. A candidata apresentou o trabalho intitulado: “**Projeto de um sistema de extinção a seco de coque para uma planta piloto de coqueria de uma indústria siderúrgica**”, sob orientação da Profa. DSc. Elisângela Martins Leal e coorientação da MSc. Marina do Carmo Carias. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo os presentes consideram a aluna aprovada.

Ouro Preto, 6 de dezembro de 2018.

*Elisângela Martins Leal*

Profa. DSc. Elisângela Martins Leal  
**Professora Orientadora**

*Marina do Carmo Carias*

MSc. Marina do Carmo Carias  
**Coorientadora**

*Savio*

Prof. MSc. Savio Sade Tayer  
**Professor Avaliador**

*Marcelo Teodoro Assunção*

Prof. MSc. Marcelo Teodoro Assunção  
**Professor Avaliador**

*Marcella Barbosa Souza e Silva*

Marcella Barbosa Souza e Silva  
**Aluna**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força e por abrir caminhos para meu sucesso profissional.

Aos meus pais, por serem pontos de apoio, portos firmes e maiores incentivadores.

À minha irmã Nathália, por todo cuidado e atenção.

Ao André, por me ouvir e me ajudar tanto, mesmo apesar da distância.

À minha orientadora e amiga Elisângela, pela orientação, dedicação e confiança na entrega deste trabalho de tanta complexidade e importância em minhas mãos.

À Marina Carias, por todas as oportunidades, incentivos e por ter confiado a mim esta grande tarefa.

À Gerdau, pela oportunidade de desenvolvimento do meu lado profissional, por ser minha referência de empresa e meu primeiro contato com a área industrial, em especial, ao Dr. Guilherme Liziero Ruggio da Silva, pela confiança.

Aos demais colaboradores da Gerdau, por todos os conhecimentos e experiências compartilhados, em especial ao Ramon e ao Pedro.

Aos professores e colegas da UFOP que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, em especial aos colegas André Marques e Gotardo Vieira.

Agradeço de forma geral a todos que participaram deste processo, direta ou indiretamente. Eu não conseguiria completar esta longa jornada sem o apoio de cada um!

## RESUMO

SILVA, M. B. S. Projeto de um sistema de extinção a seco do coque para uma planta piloto de coqueria de uma indústria siderúrgica. 2018. Monografia. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

Projeto mecânico é uma competência muito importante dentro da engenharia mecânica. Uma das funções do engenheiro mecânico é desenvolver projetos, visando melhorias no sistema industrial. Baseado nisso, foi pensado em unir a execução de um projeto com as constantes necessidades de aprimoramento na área da siderurgia. As indústrias siderúrgicas apresentam fundamental importância no contexto econômico do Brasil. Tem-se, então, uma grande preocupação com a qualidade de seus produtos, e atrelado a isso, este trabalho foi proposto, com a proposta de melhorar continuamente o processo de produção do aço, através da realização da extinção a seco do coque em uma planta piloto de coqueria de uma grande indústria siderúrgica no Brasil. Este projeto inclui a proposição de um modelo, buscando as melhores condições de operação do mesmo, o que resulta em menores impactos ambientais e melhor qualidade do produto em questão: o coque. O objetivo principal deste trabalho é projetar o sistema de extinção a seco do coque e analisar a influência dos parâmetros operacionais do protótipo no forno da planta piloto da empresa, utilizando-se o *software SolidWorks* tanto para a modelagem quanto para as análises de simulação. A pesquisa é realizada por meio de uma abordagem quantitativa, exploratória e de caráter bibliográfico. São apresentados os principais fatores que interferem no funcionamento desejado do sistema criado, que são a temperatura e a carga às quais o sistema será submetido, e prediz-se quantitativamente suas influências através das simulações. Os resultados obtidos mostraram uma influência negativa do aumento excessivo da temperatura do forno de operação e da carga a ser enfiada dentro da caixa projetada. Contudo, os valores para as deformações não atingem o limite de escoamento do material, indicando que a caixa não sofrerá deformação plástica e sua estrutura não será danificada. Assim, são satisfatórios os resultados das simulações, e o projeto torna-se possível de ser executado dentro da indústria, concluindo-se que o objetivo do trabalho foi atingido, por meio de análises que atestaram que o projeto suporta as solicitações às quais será submetido.

**Palavras-chave:** Projetos Mecânicos, Indústria Siderúrgica, Coqueria, Coque, Extinção a Seco do Coque, *SolidWorks*.

## ABSTRACT

SILVA, M. B. S. *Project of a coke dry quenching system for a pilot plant of coking plant of a steel industry.* 2018. Monograph. (Graduation in Mechanical Engineering). Federal University of Ouro Preto.

*Mechanical design is a very important competence within mechanical engineering. One of the functions of the mechanical engineer is to develop projects, aiming at improvements in the industrial system. Based on this, it was thought to unite the execution of a project with the constant needs of improvement in the area of the steel industry. The steel industries are fundamentally important in the economic context of Brazil. There is a great concern about the quality of its products, and linked to this, this work was proposed, with the proposal to continuously improve the steel production process, through the dry extinguishment of the coke in a pilot plant of a large steel industry coke plant in Brazil. This project includes proposing a model, seeking the best operating conditions of the same, which results in lower environmental impacts and better quality of the product in question: coke. The main objective of this work is to design the coke dry extinguishing system and to analyze the influence of the operational parameters of the prototype in the kiln of the company's pilot plant, using the software for both modeling and simulation analysis. The research is carried out through a quantitative, exploratory and bibliographic approach. It is presented the main factors that interfere in the desired functioning of the created system, which are the temperature and the load to which the system will be submitted, and its influences are predicted quantitatively through the simulations. The results obtained showed a negative influence of the excessive temperature increase of the operation furnace and the load to be encased inside the designed box. However, the values for the deformations do not reach the yield limit of the material, indicating that the box will not undergo plastic deformation and its structure will not be damaged. Thus, the results of the simulations are satisfactory, and the project becomes possible to be executed within the industry, concluding that the objective of the work was reached, through analyzes that attest that the project supports the requests to which it will be submitted.*

**Keywords:** *Mechanical Project, Steel Industry, Coking Plant, Coke, Coke Dry Quenching, SolidWorks.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção mundial de aço por país (em milhões de toneladas).....	2
Figura 2: Divisão do planejamento de projetos. ....	9
Figura 3: História do surgimento da Siderurgia Moderna. ....	11
Figura 4: Esboço de um alto forno.....	12
Figura 5: Coqueria de uma grande indústria siderúrgica no Brasil. ....	13
Figura 6: Coque. ....	15
Figura 7: Extinção a úmido do coque. ....	16
Figura 8: Torres de extinção do processo de extinção a úmido do coque.....	17
Figura 9: Coque incandescente. ....	17
Figura 10: Diagrama esquemático do estudo do sistema CDQ. ....	18
Figura 11: Fluxograma de Materiais e Métodos.....	24
Figura 12: Visão Geral do Forno Piloto.....	27
Figura 13: Desenho do Forno Piloto.....	28
Figura 14: Esboço da caixa de extinção a seco, sem a tampa. ....	30
Figura 15: Esboço da caixa de extinção a seco, com a tampa. ....	31
Figura 16: Esboço da caixa de extinção a seco, vista do fundo, com a tampa. ....	32
Figura 17: Esboço da caixa de extinção a seco, mostrando os basculantes. ....	32
Figura 18: Primeiro modelo da caixa proposto. ....	34
Figura 19: Segundo modelo da caixa proposto. ....	35
Figura 20: Esboço da malha de elementos finitos do sistema. ....	36
Figura 21: Relação entre temperatura do forno e deformação, no modelo antigo. ....	37
Figura 22: Relação entre temperatura do forno e deformação, modelo atualizado. ....	38
Figura 23: Aplicação de forças no modelo.....	39
Figura 24: Relação entre a carga máxima suportada pela caixa e deformação. ....	40

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Variáveis e indicadores.....	25
Tabela 2: Condições de operação do forno da unidade piloto da usina.....	29
Tabela 3: Informações de operação do forno, da caixa e do coque em dias típicos.....	33

## LISTA DE SÍMBOLOS

CSQ – Coke Stabilizing Quenching

CWQ – Coke Wet Quenching

CDQ – Coke Dry Quenching

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
	1.1 Formulação do problema .....	1
	1.2 Justificativa .....	5
	1.3 Objetivos.....	5
	1.3.1 Geral.....	5
	1.3.2 Específicos.....	5
	1.4 Estrutura do trabalho .....	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
	2.1 Projetos Mecânicos .....	7
	2.1.1 Projetos mecânicos dentro das Indústrias Siderúrgicas .....	10
	2.2 Indústrias Siderúrgicas .....	11
	2.3 Coquerias .....	13
	2.4 Extinção do coque.....	16
	2.4.1 Técnica de CDQ (Coke Dry Quenching).....	18
	2.5 <i>SolidWorks</i> .....	20
3	METODOLOGIA .....	21
	3.1 Tipo de pesquisa.....	21
	3.2 Materiais e métodos.....	23
	3.3 Variáveis e indicadores.....	24
	3.4 Instrumento de coleta de dados.....	25
	3.5 Tabulação de dados .....	25
	3.6 Considerações finais do capítulo.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
	4.1 Análise do forno da planta piloto na empresa.....	27
	4.2 Esboço do projeto.....	28

4.3	Simulações .....	33
4.3.1	Análise térmica levando em consideração a temperatura máxima de operação do forno .....	36
4.3.2	Análise estrutural levando em consideração a máxima carga suportada pela caixa .....	38
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	41
5.1	Conclusões .....	41
5.2	Recomendações.....	42
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo será feita uma breve explicação a respeito da importância de se realizar o projeto de um sistema de extinção a seco de coque em uma indústria siderúrgica no Brasil, assim como das características e dos processos que envolvem a obtenção do ferro e beneficiamento deste em aço em tais usinas. Sendo assim, apresenta-se o problema que deu origem à análise, a razão de sua importância, a justificativa para sua realização, os objetivos geral e específicos e a estrutura do trabalho.

### 1.1 Formulação do problema

Uma das principais funções ligadas à profissão do Engenheiro Mecânico é a realização de projetos para elaboração de um sistema mecânico, baseado na formulação de um plano para satisfazer uma necessidade específica ou para solucionar um problema (REDAÇÃO INDÚSTRIA HOJE, 2013).

Baseado nisso, segundo Maia (2015), um projeto mecânico deve levar em consideração uma série de requisitos técnicos até chegar ao produto final que se deseja construir, tendo em mente que o produto deve ser, principalmente, funcional, seguro, confiável e viável financeiramente.

Já Ribeiro (2016) aborda que, com o advento de tecnologias que permitem a elaboração de esboços mais rigorosamente representados, é possível planejar e prever muitos desses projetos, principalmente onde há sempre a necessidade de se aprimorar determinados equipamentos, sistemas e setores de produção, como, por exemplo, nas indústrias siderúrgicas.

De acordo com Mourão (2013), a siderurgia compreende o ramo da metalurgia que se dedica à fabricação de aço. As usinas siderúrgicas podem ser classificadas quanto ao seu processo produtivo em integradas e semi-integradas. Usinas integradas são aquelas que possuem três etapas de operação: redução, refino e laminação, enquanto que usinas semi-integradas operam em apenas duas fases: refino e laminação.

A primeira etapa de redução consiste na obtenção do ferro gusa, a partir da fusão e redução da carga de minério de ferro, por um combustível que pode ser tanto o carvão vegetal quanto o coque (de origem mineral). Na etapa seguinte de refino, o ferro gusa é

transformado em aço através de conversores a oxigênio ou elétricos, onde a maior parte do carbono contido é removido juntamente com outras impurezas. Posteriormente, o aço líquido é então solidificado em equipamentos de lingotamento contínuo para produzir semi-acabados, lingotes, blocos que serão processados na última etapa de laminação, e transformados em uma gama de produtos (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2015).

O Brasil é o 9º maior produtor de aço no mundo, de acordo com dados apresentados por Fonseca (2018), o que o coloca em uma posição estratégica no cenário mundial. No Brasil, o parque produtor de aço está instalado em dez estados. Entre eles, destacam-se os da região sudeste, que respondem por 94% do aço produzido no país, sendo Minas Gerais, o estado que apresenta maior concentração de empresas que atuam no setor.

A Figura 1 retrata a produção mundial por país, em milhões de toneladas, no período de 2007 a 2012.

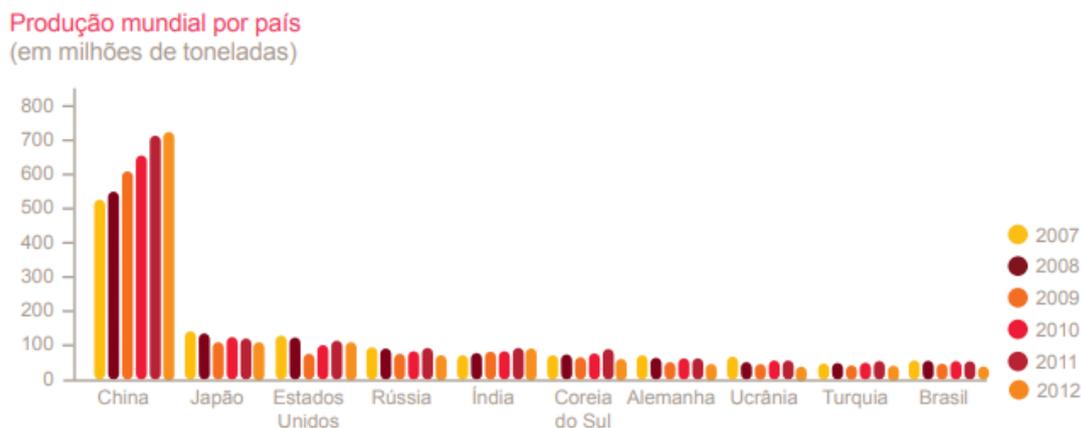


Figura 1: Produção mundial de aço por país (em milhões de toneladas).  
Fonte: Wordsteel, 2012.

Dentre essas muitas empresas do estado de Minas Gerais, e diante da necessidade constante de se aprimorar os setores industriais, surgiu-se a oportunidade de modificar um sistema específico da coqueria de uma indústria siderúrgica do estado, conforme será abordado neste trabalho.

A coqueria é o setor responsável pela obtenção do coque, que é um tipo de combustível derivado do carvão mineral, através da sua coqueificação. Esta consiste no aquecimento do carvão mineral a altas temperaturas e em ambiente fechado para a remoção da sua matéria volátil (GEERDES *et al.*, 2004).

Segundo Souza (2016, p. 153):

No processo de aquecimento a altas temperaturas de coqueificação e na ausência de ar, as moléculas orgânicas complexas que constituem o carvão mineral se dividem, produzindo gases, compostos orgânicos sólidos e líquidos de baixo peso molecular e um resíduo carbonáceo relativamente não volátil. Este resíduo resultante é o coque, que se apresenta como uma substância porosa, celular, heterogênea, sob pontos de vista químico e físico.

Assim, a qualidade do coque depende muito do carvão mineral do qual se origina, do seu teor de impurezas, da eficiência do processo de coqueificação e do processo utilizado para sua extinção.

A extinção é a última etapa do processo de produção do coque, e pode ser feita a úmido ou a seco. Enquanto que na tradicional extinção a úmido (*Coke Wet Quenching* - CWQ) há grandes emissões de CO<sub>2</sub> e perda de energia térmica, o processo a seco de *Coke Dry Quenching* (CDQ) é uma alternativa de economia de energia, na qual a extinção do coque na torre é feita utilizando gás inerte ao invés de água. Além disso, a extinção gradual do coque no processo a seco, permite obter um coque com melhores propriedades (JASE-W, 2017).

Embora o CDQ seja bastante empregado, principalmente no Japão, onde a sua difusão é de 90% (NAGAIRO *et al.*, 2016), no Brasil apenas uma empresa siderúrgica detém essa tecnologia (ARCELORMITTAL TUBARÃO, 2015).

No que tange a proteção ambiental, o processo de CDQ apresenta distintas vantagens como conservação de energia, redução da poluição, recuperação de calor na forma de vapor a partir do coque incandescente, redução do consumo de grande quantidade de água que é gasto no processo a úmido, além de melhoria da qualidade do coque produzido (OKAZAKI, 2012).

A implantação de tecnologias ambientalmente amigáveis que mantenham a qualidade da produção e o menor custo produtivo é uma alternativa no atual cenário siderúrgico mundial. Diante disso, o objetivo principal deste trabalho visa a elaboração de um sistema para o uso do CDQ em uma planta piloto de coqueria de uma empresa siderúrgica. Para a elaboração do projeto, foi pensado em um sistema hermeticamente fechado, no qual um gás inerte (nitrogênio) entra em contato com o coque, realizando o

resfriamento e apagamento do mesmo através de um subsistema de direcionamento do fluido (flautas) interno.

O sistema conta com guias de encaixe e deslizamento lateral e rodas na parte inferior para travessia no forno. Quando terminado o processo de coqueificação, o sistema será retirado e será acoplado ao mesmo uma tampa na parte superior, que será composta por um subsistema de injeção e escape do fluido de trabalho. Uma das preocupações deste trabalho é de tornar o sistema o mais seguro e funcional possível. Para isso, será necessário também fazer um estudo da viabilidade deste projeto.

Segundo Brito (2014) analisar viabilidade consiste em estudar um conjunto de parâmetros necessários para se identificar as possibilidades de se realizar um projeto, com segurança e confiabilidade. Esta análise inclui, principalmente, os estudos das viabilidades econômico-financeira, comercial, ambiental, política e técnica.

Neste trabalho é dada ênfase na viabilidade técnica do projeto, bem como as possíveis consequências de se implantar tal sistema, através da ajuda de mecanismos de simulação computacional, como o software *SolidWorks*®.

A partir do *software SolidWorks*®, é possível realizar modelagens 2D e 3D, e visualizar toda a constituição do objeto criado, tanto por dentro quanto por fora, identificando, de forma pormenorizada todo o projeto, através de simulações, que favorecem a correção de possíveis falhas detectadas pelo próprio *software* (SALDANHA, 2017).

Para atender ao proposto acima, faz-se necessário o conhecimento específico de cada etapa que compõe a elaboração do projeto mecânico. Isto permite que o mesmo sirva como ferramenta de avaliação do sistema em questão através de variações de parâmetros. Assim, pode-se tirar conclusões sendo que, em alguns casos, é possível detectar o mau funcionamento do sistema, antecipando uma intervenção no mesmo, diante de um colapso operacional, e noutros casos, permite também analisar e controlar os melhores pontos de operação.

Assim, tem-se a seguinte problemática:

**Como projetar um sistema de extinção a seco do coque para uma planta piloto de coqueria de uma indústria siderúrgica?**

## **1.2 Justificativa**

A constante busca pela redução do uso de recursos hídricos traz à tona ideias que favoreçam o menor gasto de água, principalmente por parte das indústrias siderúrgicas, que compõem o grupo de empresas que mais utilizam água no nosso país (SANTOS, 2014). Além disso, Chumbao (2010) diz que busca-se também a redução da emissão de  $CO_2$ , que representa uma preocupação constante devido ao efeito estufa, principalmente em países onde as restrições ambientais são maiores.

Ainda é importante destacar que a atual necessidade de importação de carvão mineral, devido à baixa qualidade dos carvões brasileiros, torna a produção do coque de alto custo, sendo responsável por cerca de 30% no custo do produto acabado, refletindo na competitividade do aço nacional (PAIVA, 2002). Com a implementação do projeto CDQ, carvões mais baratos e com baixo poder coqueificante poderão ser utilizados, sem onerar a qualidade do coque.

Para que as empresas siderúrgicas sejam capazes de se manter no mercado, é necessário melhorar os processos produtivos, de forma a aproveitar melhor os recursos, de forma ambientalmente consciente.

Diante disso e da importância da função do engenheiro mecânico na elaboração deste tipo de projeto, aliou-se o projeto CDQ às necessidades em questão. Acredita-se que será de muito valor para a consolidação do aprendizado nesta área da profissão, bem como para aquisição de experiência.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Geral**

Projetar um sistema de extinção a seco de coque em uma planta piloto de coqueria de uma indústria siderúrgica.

### **1.3.2 Específicos**

- Realizar revisão bibliográfica acerca dos temas: Projetos Mecânicos, Indústria Siderúrgica, Coqueria, Coque, Extinção a Seco do Coque;

- Descrever a metodologia adotada, apontar as variáveis e indicadores de estudo e apresentar instrumentação de coleta e tabulação de dados obtidos;
- Identificar os parâmetros físicos e de operação do forno de aquecimento do coque;
- Projetar um sistema de extinção de coque, utilizando o *software SolidWorks®*;
- Analisar a viabilidade técnica do projeto através do *software SolidWorks®*;
- Realizar sugestões de trabalhos futuros.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

O trabalho será dividido em cinco capítulos e apresenta-se segundo a estrutura a seguir:

No primeiro capítulo é apresentada a formulação do problema, a justificativa para a realização do trabalho e seus objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica dos conceitos e teorias a respeito de um sistema de extinção a seco de coque, introduzindo seu funcionamento esperado, tratando dos seus principais componentes e resultados de operação. Além disso, fala da siderurgia e da ferramenta de simulação computacional utilizada.

Posteriormente, o terceiro capítulo apresenta o processo metodológico adotado na pesquisa, bem como as ferramentas utilizadas para a coleta de dados, essenciais na obtenção dos resultados.

As discussões e resultados encontrados a partir da coleta de dados são relatados no quarto capítulo. Além disso, são propostos pontos de operação para o aumento da eficiência do sistema de extinção.

E finalmente, o quinto capítulo encerra o trabalho com as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, aborda-se o embasamento teórico, através de conceitos sobre o projeto proposto, apresenta-se os principais constituintes do processo estudado e forma-se uma base fundamentada sobre o tema proposto. Trata-se também da siderurgia como um todo e da coqueria inserida neste contexto. Ao final, aborda-se o produto do estudo em questão: o coque, e suas propriedades.

### 2.1 Projetos Mecânicos

Dentre as muitas atuações do engenheiro mecânico, destaca-se a competência de realizar projetos mecânicos, que são representados por esboços técnicos, testados e simulados, a fim de serem colocados em prática (MAIA, 2016).

De acordo com o Conselho Federal de Engenharia e Agronomia – CONFEA (2015, p.2):

Considerando a necessidade de ratificar o entendimento de “projeto” a fim de evitar controvérsias quanto à exata definição e aplicação de suas tipificações, decide:

Art. 1º Conceituar o termo “Projeto” como a somatória do conjunto de todos os elementos conceituais, técnicos, executivos e operacionais abrangidos pelas áreas de atuação, pelas atividades e pelas atribuições dos profissionais da Engenharia e da Agronomia, nos termos das leis, dos decretos-lei e dos decretos que regulamentam tais profissões.

Conforme diz a Orientação Técnica IBRAOP/OT - IBR 001/2006, o Projeto Básico consiste nos principais conteúdos e elementos técnicos correntes aplicáveis às obras e serviços, sem restringir as constantes evoluções e impactos da ciência, da tecnologia, da inovação, do empreendedorismo e do conhecimento e desenvolvimento do empreendimento social e humano, nas seguintes especialidades:

- a) Levantamento Topográfico;
- b) Sondagem;
- c) Projeto Arquitetônico;
- d) Projeto de Terraplenagem;
- e) Projeto de Fundações;
- f) Projeto Estrutural;

- g) Projeto de Instalações Hidráulicas;
- h) Projeto de Instalações Elétricas;
- i) Projeto de Instalações Telefônica, de dados e som;
- j) Projeto de Instalações de Prevenção de Incêndio;
- k) Projeto de Instalações Especiais (lógicas, alarme, detecção de fumaça);
- l) Projeto de Instalações de Ar-condicionado;
- m) Projeto de Instalações de Transporte Vertical;
- n) Projeto de Paisagismo.

Já o Projeto Executivo, consiste no conjunto dos elementos necessários e suficientes à execução completa da obra ou do serviço.

Projetar consiste tanto em formular um plano para satisfação de uma necessidade específica, quanto em solucionar um determinado problema. Assim, segundo Shigley (2005), se o objetivo principal do projeto mecânico é a criação de algo, o produto deve ser funcional, seguro, competitivo, utilizável, manufaturável e mercável.

Para se conseguir obter todos estes resultados, é necessário padronizar as idéias de projeto. Ainda de acordo com Shigley (2005), entende-se como projeto mecânico um conjunto de tarefas complexas, as quais permitem atingir o planejamento e elaboração de um sistema mecânico, partindo-se de uma série de requisitos técnicos.

A Figura 2 mostra a divisão do planejamento de projetos, segundo alguns autores pesquisados.

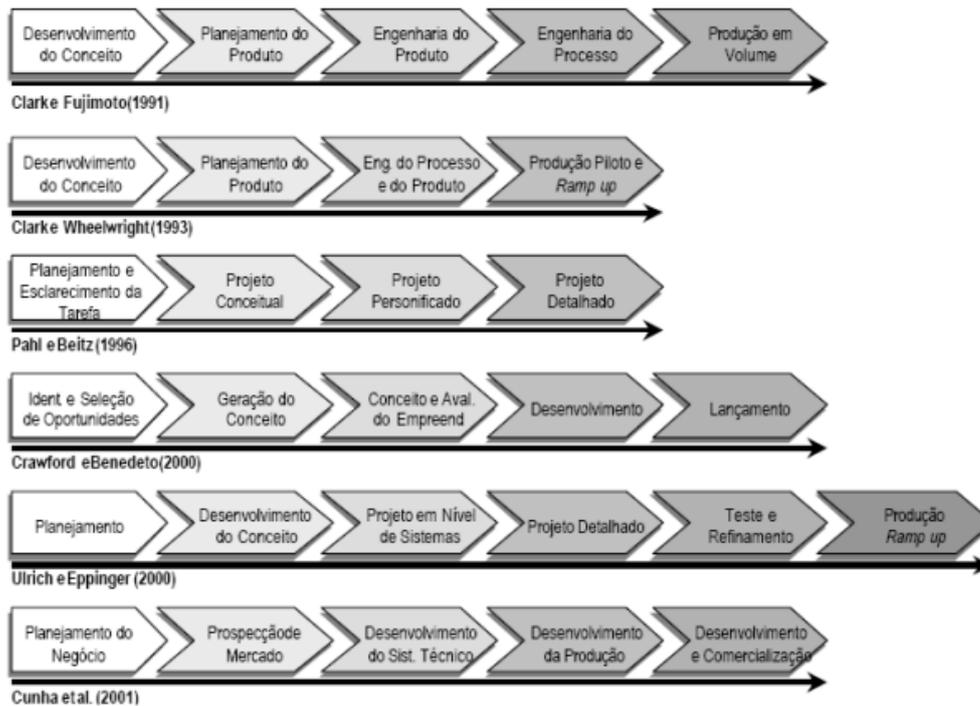


Figura 2: Divisão do planejamento de projetos.  
Fonte: Codinhoto, 2003.

É possível perceber, com base na figura 2, que o planejamento de um projeto engloba várias etapas.

O Gerenciamento de Projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades e técnicas para a execução de projetos de forma efetiva e eficaz. Trata-se de uma competência estratégica para organizações, permitindo com que elas unam os resultados dos projetos com os objetivos do negócio – e, assim, melhor competir em seus mercados.

O gerenciamento de projetos se divide em 5 grupos:

- Início
- Planejamento
- Execução
- Monitoramento e Controle
- Encerramento

Baseado nisso, Duarte *et. al.* (2012) afirma que projetos mecânicos são de suma importância na engenharia mecânica, e abrangem todas as áreas relacionadas às funções destes engenheiros. São divididos em planejamento dos modelos, escolha do melhor modelo, validação do modelo, ajuste de parâmetros, modelagem, análise dinâmica e técnicas de otimização.

O planejamento do modelo consiste na formulação de idéias iniciais sobre o projeto, bem como condições necessárias para seu bom funcionamento e principais objetivos para os quais este deve operar. Já a escolha do melhor modelo é a análise feita por um conjunto de fatores, que levam o engenheiro a avaliar qual é a melhor das idéias previamente pensadas, e pode ser chamada de planejamento do projeto. A validação do modelo consiste na modelagem computacional que permite a obtenção de resultados mais confiáveis, os quais partem da fundamentação teórica oriunda de estudos feitos no planejamento do modelo.

O ajuste de parâmetros consiste em se ter condições de contorno que possibilitem as análises e simulações que devem ser feitas, provavelmente com ajuda de *softwares*, levando-se em consideração parâmetros de funcionamento e exposição do projeto quando estiver operando em condições reais.

A modelagem e a análise dinâmica consistem em jogar todas as informações dos parâmetros, obtidas em algum software de trabalho, para simular situações reais de operação do equipamento que se está projetando, mais conhecido como execução do projeto. E, por fim, técnicas de otimização representam a análise dos resultados das modelagens feitas, chegando-se a resultados que tornam possíveis adaptações e adequações, ou a aprovação final do projeto (DUARTE *et al.*, 2012), assim, chegando-se ao monitoramento e controle do projeto, e seu encerramento.

A atuação de projetistas mecânicos faz-se muito necessária dentro das empresas, independente de sua atuação, pois há nestas a busca constante pelo aprimoramento de técnicas e serviços, bem como a aquisição de projetos mais econômicos e funcionais.

### **2.1.1 Projetos mecânicos dentro das Indústrias Siderúrgicas**

Conforme aborda Ribeiro (2016), nas indústrias siderúrgicas, por exemplo, há sempre a necessidade de otimizar certos processos, algumas vezes já obsoletos, e o desenvolvimento de novas técnicas que vão surgindo com o desenvolvimento de tecnologias e estudos.

De acordo com Fogaça (2011), como exemplo, temos que até o final do século XVIII, o ferro era obtido após se esquentar algumas camadas de mineral de carvão vegetal em fornos altíssimos. Como resultado deste processo, tinha-se uma massa de ferro exposta a fogo vivo, submetida, posteriormente, a intensos golpes de martelo.

Assim conseguia-se o ferro. Os fornos consumiam uma quantidade muito alta de carvão, e a escassez de madeira logo apareceu. Devido a isso, surgiu-se a necessidade de buscar outro tipo de combustível. O carvão mineral era uma opção. E então, a solução encontrada foi utilizar o coque, derivado do carvão mineral, nos altos-fornos. Desde então, a indústria siderúrgica começou a fabricar elementos mais rebuscados, conhecidos como elementos das indústrias pesadas, como tubos, vigas e chapas. Este processo industrial foi a base de uma nova era, conhecida como Revolução Industrial. Para toda a mudança e adaptação, projetos mecânicos foram necessários, para otimizar o processo e organizar as linhas de produção, que passaram a operar em situações novas e até então pouco conhecidas.

Justamente nessas adaptações a elaboração de projetos mecânicos que este trabalho se objetiva, a fim de contribuir para melhorias no processo de produção das indústrias siderúrgicas e na sua função de beneficiamento do aço.

## 2.2 Indústrias Siderúrgicas

De acordo com o Instituto Aço Brasil (2015, p. 9):

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida na Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como adicionar a ele propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, dentre outras. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo, o aço passou a representar cerca de 90% de todos os metais consumidos pela civilização industrial.

A Figura 3 ilustra a história da siderurgia, desde a invenção do aço, até os tempos da siderurgia moderna.

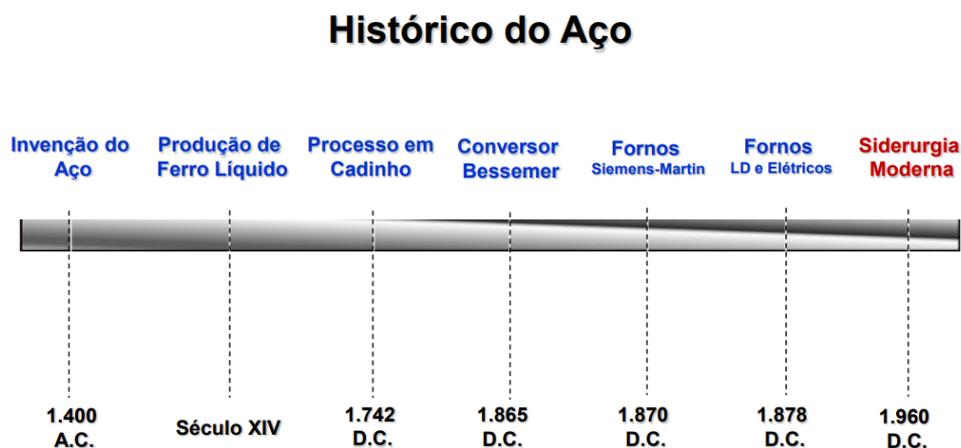


Figura 3: História do surgimento da Siderurgia Moderna.  
Fonte: Sheid, 2011.

Observa-se na Figura 3 que a invenção do aço é bem antiga, e que o aprimoramento das indústrias siderúrgicas já é algo mais contemporâneo. Ainda há muito o que se desenvolver nesse assunto.

De acordo com Fogaça (2011), as indústrias siderúrgicas são as empresas responsáveis pela obtenção do ferro e seu beneficiamento em aço. Todos os produtos obtidos do ferro fazem parte da indústria siderúrgica. Assim, é possível fabricar uma variedade de utensílios relacionados a todo tipo de atividade econômica, tais como a construção civil, a indústria automobilística, a indústria naval, as máquinas pesadas, etc.

Numa indústria siderúrgica, a produção de aço segue algumas etapas. Antes de serem levados ao alto forno, o minério de ferro e o carvão são previamente preparados para melhoria do rendimento e economia do processo. O minério pode ser utilizado como granulado, e os seus finos, sinterizados e pelletizados. Assim, as cargas de alimentação dos fornos de redução são constituídas por minério granulado, sínter e pelotas (SINFERBASE, 2012).

Conforme diz o Instituto Aço Brasil (2015), dentro do alto forno, ocorre a redução, processo de remoção de oxigênio do ferro, para ligar-se ao carbono. Neste processo, o ferro se liquefaz e é chamado de ferro gusa ou ferro de primeira fusão. Impurezas formam a escória, que é a matéria prima para a fabricação de cimento.

A Figura 4 traz o desenho esquemático de um alto forno.



Figura 4: Esboço de um alto forno.  
Fonte: Esquadrão do Conhecimento, 2016

A etapa posterior a este processo é o refino. O ferro gusa é levado para a aciaria, ainda em estado líquido, para ser transformado em aço, através da queima de impurezas e adições.

Por fim, na empresa pesquisada para este trabalho, a última fase do processo é a laminação. O aço, em processo de solidificação, é deformado mecanicamente e transformado em produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como chapas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barra, dentre outros (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2015).

### 2.3 Coquerias

Dentro das indústrias siderúrgicas, há o setor da coqueria. A coqueria é constituída de fornos dispostos lado a lado, onde o carvão mineral é depositado, permanecendo por algumas horas, a alta temperatura, sem contato com o ar. A Figura 5 representa a coqueria de uma grande indústria siderúrgica brasileira.



Figura 5: Coqueria de uma grande indústria siderúrgica no Brasil.  
Fonte: Pesquisa direta, 2017.

As coquerias apresentam duas possíveis configurações: baterias de fornos com frente de coqueificação vertical (tecnologia *by-product* ou convencional) ou frente de coqueificação horizontal (tecnologia *heat-recovery* ou *nonrecovery*). Nas coquerias do tipo *heat-recovery*, o gás residual da queima dos voláteis é alimentado em uma caldeira de recuperação de calor, produzindo vapor de alta pressão para geração de energia ou aquecimento. Já nas coquerias do tipo *by-product*, a matéria volátil liberada na coqueificação é coletada e refinada em produtos. (CARIAS, 2018). Este trabalho trata da coqueificação em coquerias do tipo *by-product* ou convencional, pois, além de ser a configuração mais usual, é a utilizada pela empresa pesquisada.

De acordo com Sheid (2011), durante o aquecimento, os componentes voláteis do carvão são destilados e evaporados. O material sólido que resta nos fornos é uma massa de carbono, denominada coque.

Conforme o que diz Santos (2018), coqueificação é o processo onde o carvão é aquecido por 24 a 36 horas, a fim de expulsar matérias voláteis e criar o coque, de queima mais eficiente e limpa que será utilizado como combustível no alto-forno. Neste processo, as baterias do forno de coque (do tipo vertical, *by-product* ou convencional) são preenchidas com o carvão pela parte superior do forno, e o carvão é processado a aproximadamente 1300°C, na ausência de ar. O forno é aquecido a partir das paredes até o centro, onde o carvão é transformado em coque, obrigatoriamente distante das paredes. Qualquer resíduo nas paredes pode resultar em perdas da produção e altos custos para recomeçar o processo. Um controle assertivo do fornecimento e distribuição do calor nas paredes é essencial para um produto de qualidade e sem custos de manutenção.

As principais etapas do processo de coqueificação são: perda de umidade; desvolatilização primária; fluidez; inchamento; resolidificação e desvolatilização secundária.

Após estas etapas, o coque é transferido para uma área de sua extinção, onde é resfriado antes de ser transportado para as esteiras transportadoras até os altos-fornos. A correta medição de temperatura no resfriamento é essencial para que as esteiras não sejam danificadas devido à alta temperatura do material.

A Figura 6 mostra o material resultante da coqueificação: o coque.



Figura 6: Coque.  
Fonte: Alexander, 2017.

Assim, as operações da coqueria se resumem, basicamente, em carregamento, coqueificação, descarregamento, apagamento e expedição do carvão transformado em coque, conforme o que explica Nassif (2012).

O carregamento é o processo em que a carga de carvão mineral é nivelada e depositada sobre o forno, para que seja aquecida e transformada em coque.

O processo de coqueificação é o aquecimento a altas temperaturas do carvão, transformando-o em coque.

O descarregamento trata-se do momento em que este coque é retirado do forno, e levado para o local onde será extinto.

O apagamento, ou extinção, é o processo de resfriamento do coque, e pode ocorrer a úmido ou a seco.

A expedição do carvão transformado em coque é o transporte deste para o local onde ele será utilizado, dentro da indústria siderúrgica.

A preocupação em melhorar a eficiência dos processos, principalmente em países em desenvolvimento, é extremamente importante, a fim de se conseguir conter o aquecimento global e de lidar com problemas de recursos na indústria do aço.

A implantação de tecnologias de eficiência energética é ambientalmente amigável na cadeia de produção do coque, pois ao mesmo tempo em que mantém a qualidade exigida e o menor custo produtivo, também é uma boa alternativa no atual cenário siderúrgico mundial.

## 2.4 Extinção do coque

A última etapa do processo de produção do coque consiste no seu apagamento, que pode ser feito a úmido ou a seco.

Existem dois tipos de extinção a úmido: a convencional (*coke wet quenching* - CWQ), e a *coke stabilizing quenching* – (CSQ). A diferença consiste no fato de que no tipo CWQ, a extinção é realizada pelo topo da torre de extinção, já no tipo CSQ esta é realizada pelo topo e pelo fundo.

O processo de extinção a úmido CWQ contribui para grandes emissões de  $CO_2$  e perda de energia térmica. Já o processo de *coke dry quenching* (CDQ) representa uma alternativa de poupança de energia, na qual a extinção do coque na torre é feita utilizando gás inerte ao invés de água. Além disso, a extinção gradual do coque no processo a seco, permite obter um coque com melhores propriedades, tornando-se útil para uma operação estável do alto-forno. Portanto, é de interesse, tanto teórico quanto prático, estudar os efeitos da implantação do CDQ no processo de produção do coque (JASE-W, 2017).

As Figuras 7 e 8 mostram a extinção a úmido do coque.



Figura 7: Extinção a úmido do coque.  
Fonte: Habashi, 2006

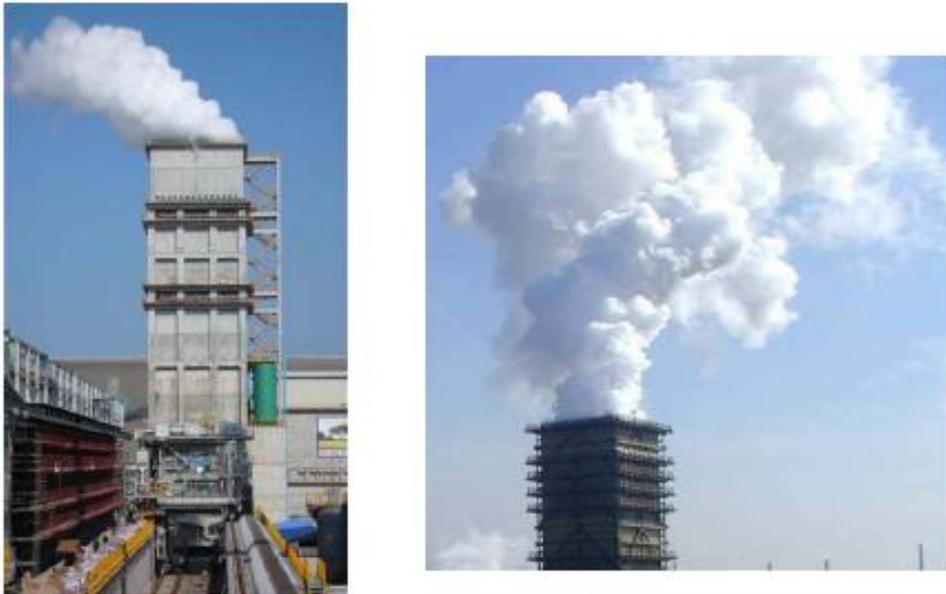


Figura 8: Torres de extinção do processo de extinção a úmido do coque.  
Fonte: Reinke *et al.*, 2012.

De acordo com as Figuras 7 e 8, é possível perceber a quantidade de vapor que é liberada nesse processo. Já a Figura 9 mostra o coque incandescente, momentos antes de sua extinção.



Figura 9: Coque incandescente.  
Fonte: Paul Wurth SMS Group, 2015.

### 2.4.1 Técnica de CDQ (Coke Dry Quenching)

A técnica de CDQ foi introduzida no ano de 1920 pelos irmãos Sulzer, na Rússia, e, posteriormente, melhorada pelo Instituto Giprokoks. Trata-se de um processo em que o coque incandescente é refrigerado por um gás circulante, com o intuito de inibir a sua combustão e gaseificação (SUN et al.,2015).

A Figura 10 traz a representação esquemática do sistema CDQ.

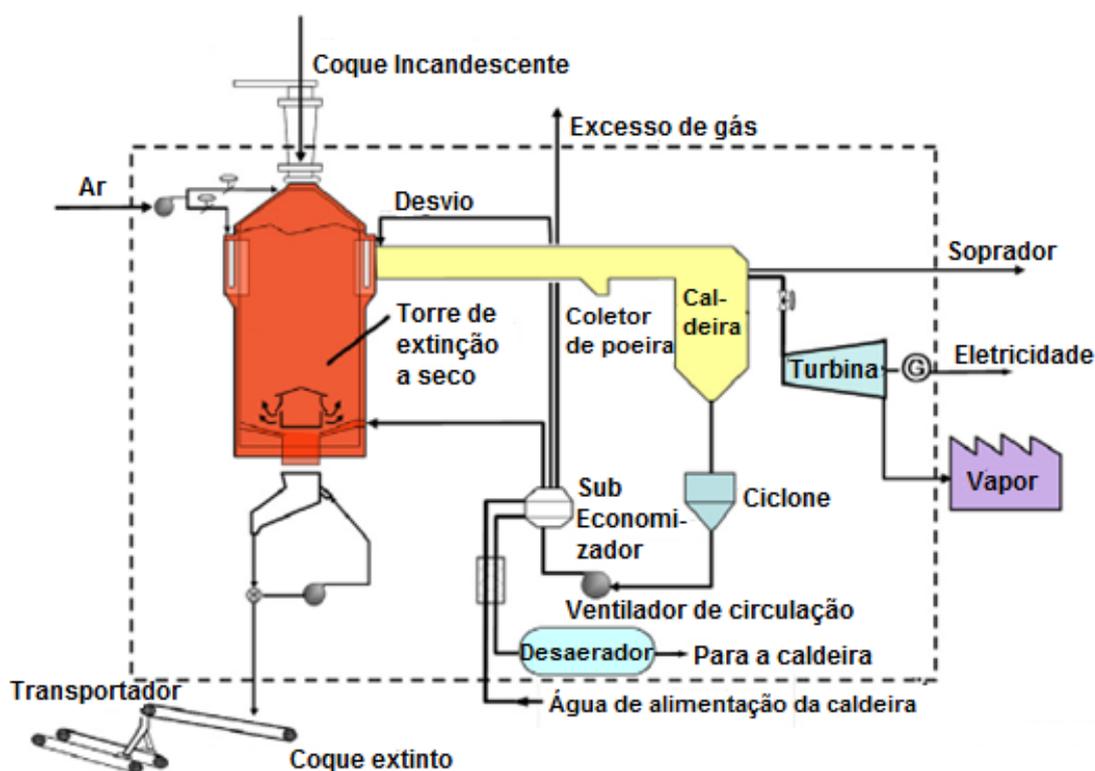


Figura 10: Diagrama esquemático do estudo do sistema CDQ.  
Fonte: Zhang *et. al.*, 2014.

De acordo com a Figura 10 é possível entender o processo de resfriamento a seco do coque, e analisar cada um dos componentes necessários ao sistema.

A torre de extinção age como trocador de calor. Nela, o coque incandescente a uma temperatura típica de 1050°C é carregado dentro de uma pré-câmara no topo da torre e o gás de circulação, composto principalmente de nitrogênio (cerca de 70%), arrefecido a partir da caldeira de recuperação, é introduzido, a aproximadamente 130°C, e então, entra em contato com a carga de coque, resfriando-o. O coque deixa a torre de extinção a uma temperatura de aproximadamente 200°C, enquanto que o gás deixa a torre a uma temperatura em torno de 900-980°C e dirige-se à caldeira, onde, em contato

com água, gera vapor (CARIAS, 2018). A turbina produz potência de eixo e um gerador utiliza essa potência de eixo para produzir parte da energia elétrica e a outra parte retorna ao processo para um novo ciclo (ERRERA et al., 2000; SUN et al., 2015;).

No que tange a proteção ambiental, o processo de CDQ apresenta distintas vantagens, o que inclui conservação de energia, redução da poluição, uso de recursos, recuperação de calor na forma de vapor a partir do coque incandescente, evita o consumo de grande quantidade de água, como é feito no processo a úmido, além de melhorar a qualidade do coque produzido, garantindo um melhor desempenho no alto-forno (JASE-W, 2016).

No entanto, o CDQ apresenta também algumas desvantagens. O tempo de extinção nesse processo é maior (2,5 a 3 horas). Além disso, o custo de implantação, operação e manutenção são bem maiores, se comparados ao processo convencional. Diante disso, as empresas brasileiras preferem continuar com a tradicional extinção a úmido, visto que no Brasil há uma vasta disponibilidade de recursos hídricos.

#### 2.4.1.1 Benefícios do CDQ

O CDQ é um sistema que recupera o calor sensível do coque quente através do uso de um gás inerte, e com o calor recuperado, produz vapor a alta temperatura e pressão em uma caldeira. O calor produzido, sem custo energético adicional, é então usado para geração de energia elétrica, produção de aço, etc. Devido ao sistema de extinção a seco, sem uso de água, e do eficiente uso da energia, o CDQ apresenta as seguintes características, conforme diz Costa (2018):

- ***Economia de energia:*** ao gerar energia elétrica através do vapor produzido pelo CDQ, uma unidade de CDQ que tem capacidade de tratamento de 100t/h, pode gerar cerca de 18MW de energia elétrica; energia essa, que seria perdida no processo tradicional.
- ***Melhoria das condições ambientais:*** no processo CDQ, não há produção de fumaça ou poeira, pois, o processo é completamente fechado, desse modo, o ambiente ao redor do sistema não é poluído pelo processo.
- ***Redução de emissão de CO<sub>2</sub>:*** o processo CDQ gera energia elétrica sem produção de CO<sub>2</sub>.

- **Melhoria na qualidade do coque:** no CDQ, a resistência do coque a frio (*drum index* – DI, realizada a temperatura ambiente), e a resistência após reação de CO<sub>2</sub> (*Coke strength after-CO<sub>2</sub> Reaction* – CSR, que leva em consideração a temperatura do alto-forno), são melhoradas em cerca de 2%, pois o coque é resfriado gradualmente na câmara através do uso do gás refrigerante. Como resultado, o coque é livre de poros superficiais causados pela vaporização da água e de trincas internas que ocorrem no processo a úmido.
- **Aumento da Produção do alto forno:** a taxa de combustível utilizada pelo alto-forno pode ser reduzida, pois o coque obtido a partir do CDQ não tem quase nenhuma umidade e não requer adição de calor. Além disso, a geração de energia elétrica utilizando o TRT (*Top pressure gas Recovery Turbine*) é aumentada, pois a temperatura máxima do forno é mais alta.

## 2.5 SolidWorks

O *SolidWorks* é um *software* de CAD 3D, que funciona no sistema *Windows*. Baseia-se em computação paramétrica, criando formas tridimensionais a partir de operações geométricas elementares. É capaz também de realizar simulações, através de análises técnicas térmicas, estruturas e de fluidos diversos, por exemplo.

É um *software* bastante utilizado por estudantes de engenharia e projetistas mecânicos, para se prever o comportamento de determinadas estruturas, equipamentos e sistemas.

Tendo em vista tudo o que foi exposto, o presente trabalho tem como objetivo projetar um sistema de extinção a seco de coque em uma planta piloto de coqueria de uma indústria siderúrgica utilizando para isso o *software SolidWorks*.

### **3 METODOLOGIA**

O presente capítulo descreverá a característica do desenvolvimento da pesquisa, com o objetivo de determinar a sua natureza e classificação, a área da pesquisa, método e instrumentos de coleta utilizados, assim como as variáveis e indicadores adotados, para que possam ser feitas as análises e cálculos necessários.

#### **3.1 Tipo de pesquisa**

Segundo Gil (1999), a pesquisa tem um caráter pragmático, é uma maneira formal e sistemática de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é encontrar soluções para um problema, mediante o uso de procedimentos científicos.

De acordo com Minayo (2003), existem duas formas de realizar uma pesquisa, a qualitativa e a quantitativa. O método qualitativo é baseado na interpretação, o qual ocupa um lugar central na teoria e é constituído por um conjunto de técnicas que serão adotadas para construir uma realidade. A pesquisa é, assim, uma atividade básica da ciência que se preocupa com as ciências sociais sem que possa ser quantificada, trabalhando com crenças, significados, valores e outros construtos profundos de relações que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis.

A pesquisa qualitativa explora as características e cenários que não podem ser facilmente descritos numericamente. Os dados são coletados pela observação, descrição e gravação.

Já a pesquisa quantitativa, para Silva (2004), é todo o tipo de informação que pode ser traduzido em números utilizando métodos estatísticos, as opiniões e dados obtidos de acordo com os boletins de informação e pesquisa de campo.

Com relação ao objetivo da pesquisa, Gil (1999) classifica a pesquisa como exploratória, na qual sua finalidade é esclarecer, desenvolver e modificar ideias e conceitos, tendo em vista hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores, envolvendo levantamento bibliográfico, documental, entrevistas e estudos de caso. E ainda proporcionar uma visão geral, aproximada acerca de determinado fato; descritiva, em que se observa, analisa, e descreve as características de determinada população ou fenômeno ou estabelece relações entre variáveis, tendo como principal técnica a coleta

de dados; e explicativa, que identifica os fatores que contribuem ou determinam a ocorrência dos fenômenos, de modo a aprofundar o conhecimento da realidade, pois explica a razão e o porquê das coisas.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa bibliográfica baseia-se na utilização de livros e obras acadêmicas, sejam estas impressas ou digitalizadas e obtidas via Internet, e também por meio de dados que se obtêm através de estudo de casos e experimentos. Já a pesquisa experimental está mais próxima às Ciências Naturais, sendo a grande responsável pelos maiores avanços científicos, por meio da manipulação de variáveis controladas adequadamente, com o intuito de observar, examinar e interpretar as alterações e reações ocorridas em seu objeto de pesquisa, utilizando técnicas especiais, e equipamentos adequados.

Fonseca (2002) especifica pesquisa documental como sendo elaborada através das mais diversas fontes sem tratamentos analíticos. Ainda segundo o mesmo autor, a pesquisa participante caracteriza-se pelo envolvimento e identificação do pesquisador com as pessoas investigadas.

Já a pesquisa-ação é realizada e concebida a partir de bases empíricas em estreita associação com uma ação ou resolução de um problema no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Segundo Yin (2001), estudo de caso envolve um estudo minucioso e exaustivo de um ou mais objetos de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados. Para Gil (1999), os exemplos mais característicos desse tipo de pesquisa são os de investigações sobre ideologias ou aquelas que se propõem à análise das diversas posições acerca de um problema.

Baseado nas informações apresentadas, este trabalho consiste, quanto à abordagem, em uma pesquisa quantitativa, pois utiliza de dados numéricos, cálculos e processo de análise estatístico, deixando de lado resultados alcançados por observações e interpretações. Quanto ao objetivo, é uma pesquisa exploratória, devido ao fato de que irá se observar e analisar o princípio de funcionamento de um sistema de extinção a seco do coque, a fim de descrever, registrar e comparar os resultados obtidos. O presente trabalho ainda abrange uma pesquisa de caráter bibliográfico, visto que é fundamentada em uma variedade de livros, teses, dissertações, artigos e internet, com o objetivo de enriquecimento teórico para realização do estudo proposto e experimental,

uma vez que realiza simulações de variados cenários utilizando um software adequado. Será feito um estudo de caso de um sistema de extinção de coque, no qual será observada a possibilidade de implantação deste sistema, baseado em seus benefícios.

### 3.2 Materiais e métodos

Para o presente trabalho será necessário um estudo bibliográfico a fim de apresentar a teoria sobre o funcionamento do sistema de extinção a seco do coque. Além disso, será apresentada a importância de se realizar o projeto deste sistema, aliado à função do engenheiro mecânico de realizar projetos mecânicos, e a necessidade das indústrias siderúrgicas de se adequarem a novas tecnologias.

Após a revisão bibliográfica, será feito um levantamento de dados de operação do forno de operação do sistema projetado, como temperatura de operação, dimensões e carga suportada, para, então, o sistema ser projetado e simulado.

O projeto leva em consideração a facilidade de operação do mesmo, aliada às condições de operação do forno, visando, assim, a segurança, a fácil operação e manutenção e a vida longa do sistema.

As análises do sistema serão realizadas através de um software, que vai possibilitar a obtenção de resultados satisfatórios ou não para o início da confecção do projeto.

Na análise térmica será observado se o sistema consegue suportar a temperatura do forno em que vai ser utilizado, bem como suas deformações e meios de corrigir possíveis falhas de projeto. Entra-se com as condições de contorno necessárias e observa-se a deformação prevista para o sistema, fazendo-se, assim, adequações ao projeto, caso sejam necessárias, para garantir o bom funcionamento do mesmo.

Na análise estrutural, será levada em consideração a carga aplicada no sistema, e será observado o seu comportamento, durante a aplicação dessas cargas, bem como deformações provenientes desta utilização. Da mesma forma, são aplicados os carregamentos estruturais ao sistema, e é observado o seu comportamento em resposta a estes esforços.

Para a realização das simulações, será empregado o *software SolidWorks*, que possibilita uma boa análise dos resultados requeridos, através de sua capacidade de prever este tipo de situação de carregamentos térmicos e estruturais.

Após a modelagem e análises, será feita uma interpretação dos resultados, observando se são ou não satisfatórios para que o sistema seja, de fato, confeccionado pela empresa interessada.

Por fim, tem-se uma conclusão e recomendações para trabalhos futuros.

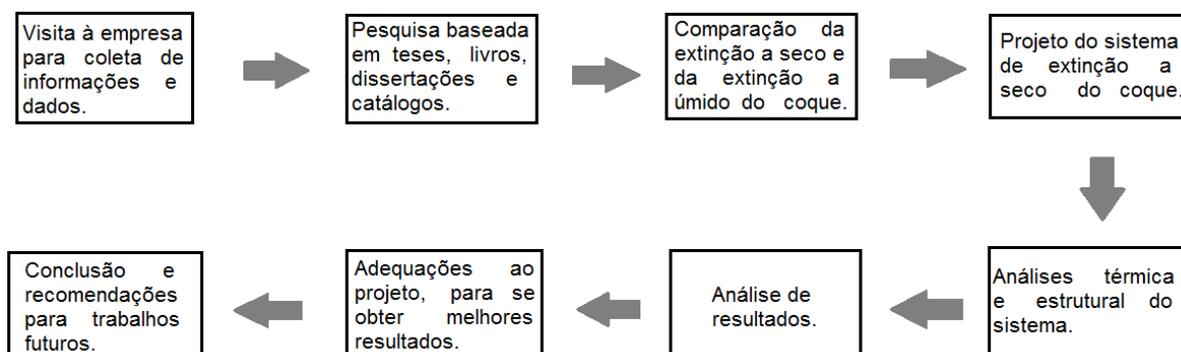


Figura 11: Fluxograma de Materiais e Métodos.

Fonte: Pesquisa direta, 2017.

### 3.3 Variáveis e indicadores

Segundo Gil (1999) pode-se dizer que variável é qualquer coisa que pode ser classificada em duas ou mais categorias. É uma medida ou classificação, uma quantidade que varia, um conceito operacional que apresenta ou contém valores, propriedade, aspecto ou fator, identificado em um objeto de estudo e passível verificação.

Para o estudo e medição de cada variável, existem alguns indicadores que são selecionados de acordo com os objetivos da pesquisa, sendo classificados de forma qualitativa ou quantitativa. Referente às definições apresentadas e os objetivos do trabalho, são separadas as variáveis e indicadores, segundo mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis e indicadores.

Variáveis	Indicadores
Características Operacionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura;</li> <li>• Carga;</li> <li>• Gás de resfriamento.</li> </ul>
Simulação Térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura do forno;</li> <li>• Temperatura do coque;</li> <li>• Tempo de exposição ao forno;</li> </ul>
Simulação Estrutural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga de coque;</li> <li>• Material da caixa;</li> <li>• Propriedades do material;</li> <li>• Abertura das tampas inferiores.</li> </ul>

Fonte: Pesquisa direta, 2018.

### 3.4 Instrumento de coleta de dados

Nesta etapa acontece a coleta de dados em torno do tema abordado a fim de obter o embasamento necessário para a pesquisa através de revisões bibliográficas, observações e experimentos.

Como já mencionado neste capítulo, esta pesquisa é de natureza bibliográfica, quantitativa e exploratória, logo todos os dados necessários para o estudos serão adquiridos através de uma profunda pesquisa bibliográfica, utilizando livros, teses, dissertações, manuais e catálogos, associada com uma observação direta a fim de reunir dados práticos, e também através de um estudo de caso que será realizado com o intuito de conseguir informações úteis para realizar simulações de pontos de operação recorrentes no cenário siderúrgico.

### 3.5 Tabulação de dados

A partir dos dados obtidos pela teoria e prática, estes serão implementados no *software SolidWorks*, que permite maior facilidade na modelagem do ciclo, melhor visualização dos dados e simulações propostas neste trabalho. Emprega-se o *software* Microsoft Word para relatar e discutir os resultados obtidos.

### **3.6 Considerações finais do capítulo**

Neste capítulo foram mostradas as classificações referentes ao tipo de pesquisa, apresentando as ferramentas e técnicas utilizadas de forma a executar este trabalho. Abordaram-se também todos os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento efetivo da pesquisa. Além de ter delimitado a área em que ocorre esta pesquisa e também a forma como foi realizada a coleta e tabulação dos dados obtidos. No próximo capítulo serão apresentados os resultados obtidos no estudo de caso, de acordo com a modelagem computacional realizada e a simulação de cenários no *software SolidWorks*, além de mostrar as análises e por fim será feita uma discussão dos resultados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto em questão foi proposto por uma grande indústria do setor siderúrgico, através das necessidades de mudança do atual sistema de extinção do coque da mesma. Na atual configuração do sistema, a empresa conta com a tecnologia CSQ de resfriamento do coque, e surgiu-se a ideia de implantar o sistema CDQ na planta piloto de coqueria, para que sejam realizados testes, que, se satisfatórios, levarão à implantação do sistema na planta industrial da indústria.

### 4.1 Análise do forno da planta piloto na empresa

Para que fosse possível a análise da caixa através de *softwares*, foi necessário ter um esboço da mesma, com todos os seus parâmetros bem definidos, medidas compatíveis com o forno da Planta Piloto de Coqueria da empresa, e todas as exigências da Empresa para que houvesse um bom funcionamento dela, por um longo período de tempo. Assim, foi desenvolvido o esboço. As Figuras 12 e 13 mostram o forno da Planta Piloto da empresa.



Figura 12: Visão Geral do Forno Piloto  
Fonte: Silva, 2016.

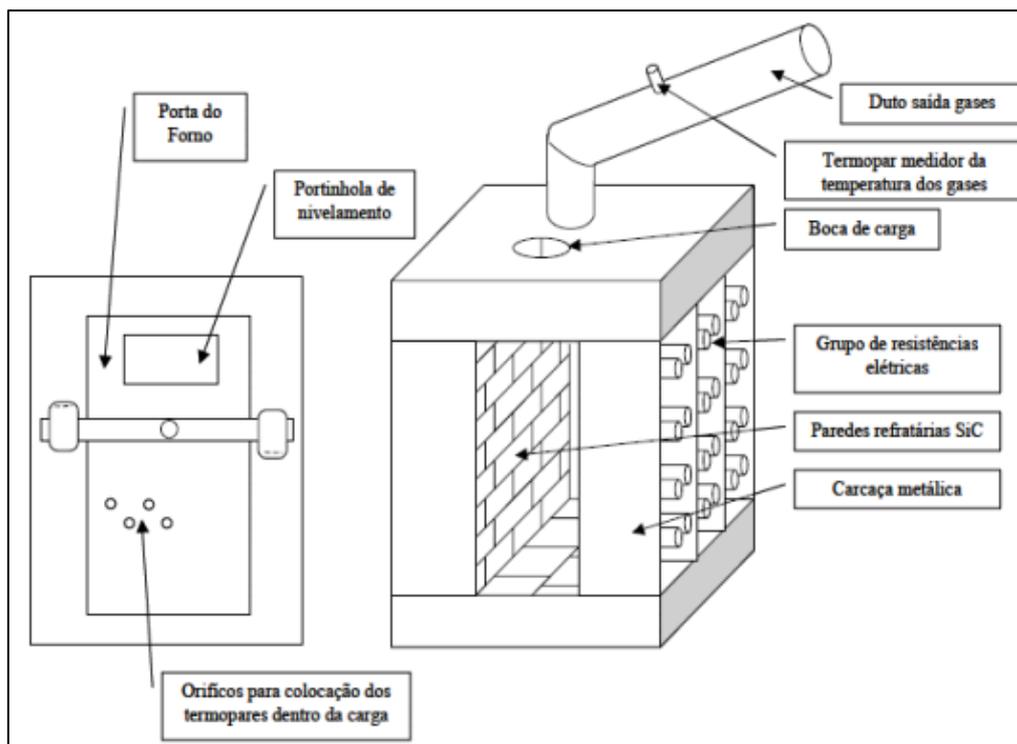


Figura 13: Desenho do Forno Piloto  
 Fonte: Empresa pesquisada, 2018.

A Figura 13 representa a estrutura do forno de aquecimento de coque da planta piloto de coqueria da empresa pesquisada.

O forno possui paredes compostas por material refratário, revestidas por uma carcaça metálica. O mesmo é, atualmente, alimentado com a carga de carvão pelo topo, onde também há o duto para saída dos gases produzidos pela coqueificação. O forno conta, ainda, com orifícios para implantação de termopares dentro da carga enforada.

## 4.2 Esboço do projeto

A caixa foi projetada seguindo-se as regras de segurança da empresa, e todos os seus componentes ajudam para que a funcionalidade e praticidade da mesma seja um ponto positivo para quem vai operá-la na indústria. O software escolhido para fazer o esboço do projeto foi o *SolidWorks*. O material escolhido para a caixa e todos os seus componentes é o AISI 316L, por ser produzido na própria empresa, e possuir propriedades como boa ductilidade, alta resistência mecânica e alta resistência térmica.

O AISI 316L é um aço inoxidável austenítico, com 0,03% de carbono, 2% de manganês, de 16 a 18% de cromo, de 10 a 14% de níquel e de 2 a 3% de molibdênio.

A Tabela 2 apresenta algumas informações sobre o forno da planta piloto de coqueria, utilizadas para a concepção do esboço da caixa de extinção.

Tabela 2: Condições de operação do forno da unidade piloto da usina

Temperatura de operação do forno	1250°C
Comprimento do forno	930 mm
Largura do forno	455 mm
Altura do forno	830 mm
Capacidade de carga	250 kg (base seca)
Tempo atual de permanência da carga no forno	Mínimo de 20 horas
Material da caixa a ser projetada	Aço INOX 316-L
Volume útil	0,350 m <sup>3</sup>
Densidade de carga	750 kg/m <sup>3</sup>
Aquecimento do forno	72 resistências de carvão de silício

Fonte: Adaptada de Carias, 2018.

Verificou-se a possibilidade de se realizar testes simultâneos com quatro misturas diferentes de carvões, e, por isso, a caixa foi feita com quatro compartimentos, sendo possível de realizar estes testes num intervalo de tempo mais curto.

As dimensões da caixa são, após três revisões, são:

- **Comprimento:** 890 mm;
- **Largura:** 420 mm;
- **Altura:** 800 mm.

A caixa conta com a presença de rodas, para facilitar seu manuseio para entrada e saída do forno. As rodas devem ser confeccionadas do mesmo material da caixa, garantindo, assim, que elas resistam aos esforços térmicos e estruturais aos quais a caixa será submetida.

A Figura 14 mostra o esboço da caixa de coque, sem a tampa. Já a Figura 15 mostra o esboço da caixa com a tampa. A Figura 16 exhibe a vista de fundo da caixa, mostrando as tubulações que passarão o fluido inerte. Já a Figura 17 exhibe essa vista de fundo agora com as tampas.

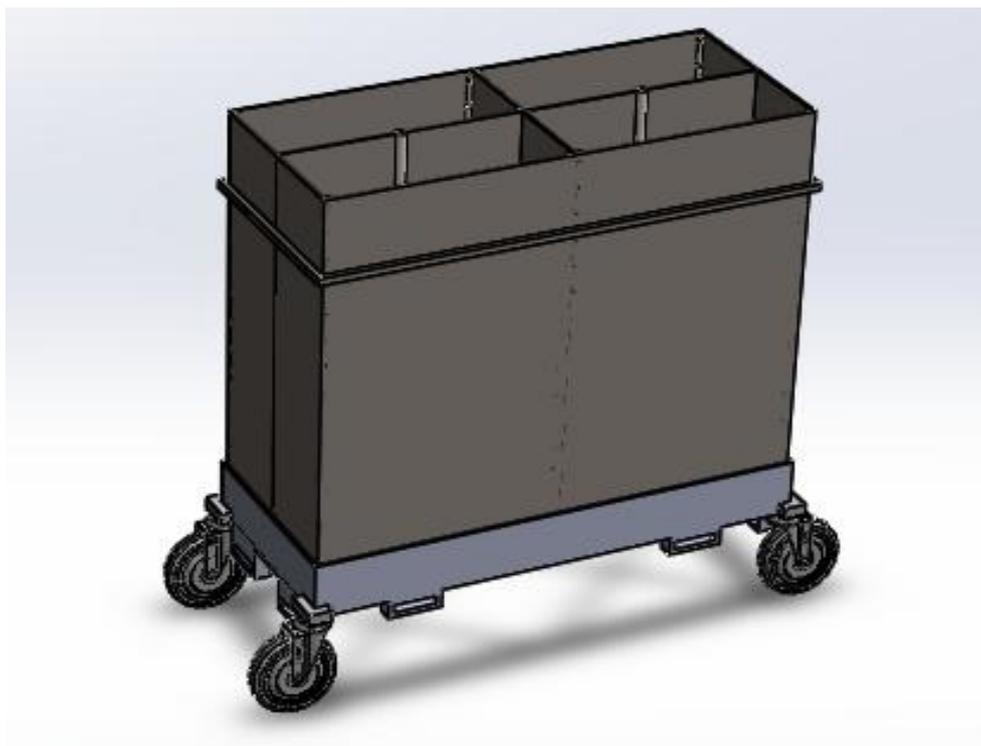


Figura 14: Esboço da caixa de extinção a seco, sem a tampa.  
Fonte: Pesquisa Direta, 2017.

A Figura 14 representa o esboço da caixa de coque, sem a tampa de extinção. Como pode ser observado, a caixa possui 4 compartimentos. Cada compartimento será utilizado para receber uma mistura de carvão mineral com diferentes biomassas e umidades. Pode-se também notar que há uma tubulação que será utilizada para inserção do gás inerte (nitrogênio) para o processo de extinção.



Figura 15: Esboço da caixa de extinção a seco, com a tampa.  
Fonte: Pesquisa Direta, 2017.

Na Figura 15 pode-se verificar a tampa projetada para o equipamento. A tampa da caixa foi projetada para ser acoplada à caixa após a sua saída do forno. Através da tampa, será injetado o gás inerte responsável pela extinção do coque presente na caixa, e este gás será distribuído ao longo da caixa por flautas presentes nos vértices e fundo desta.

A descarga do coque, após sua extinção, será realizada através dos basculantes inferiores, que podem ser observados nas Figuras 16 e 17. Cada basculante se abre independente dos outros, sendo possível descarregar cada um dos compartimentos da caixa de uma vez. Essa descarga acontecerá no carrinho de extinção, já existente na Planta Piloto de Coqueria da Usina.

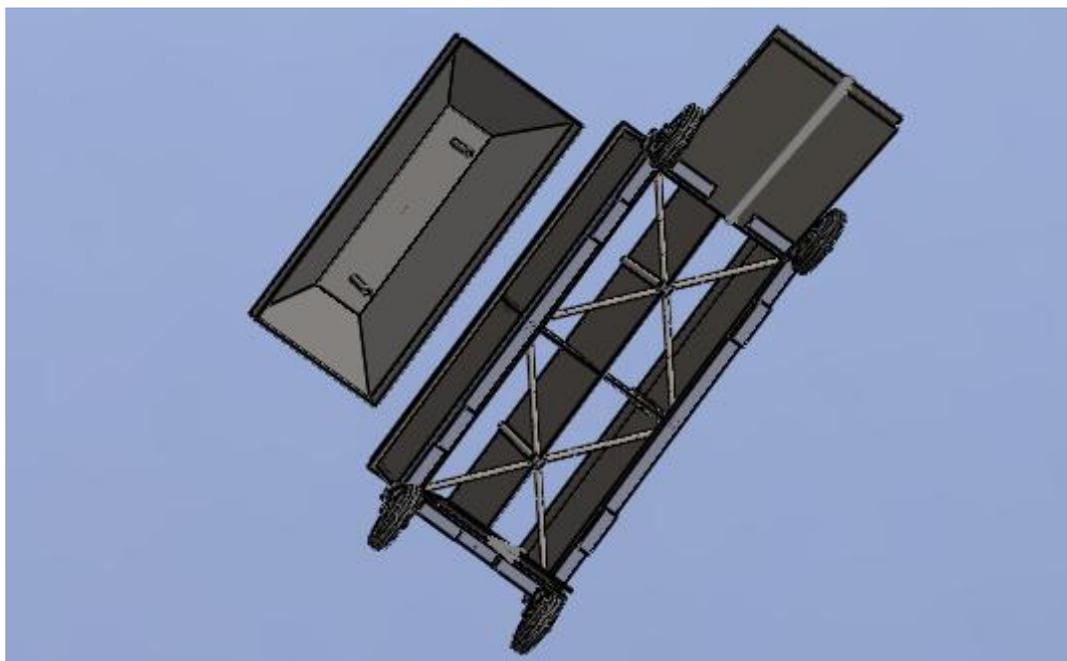


Figura 16: Esboço da caixa de extinção a seco, vista do fundo, com a tampa.  
Fonte: Pesquisa Direta, 2017.

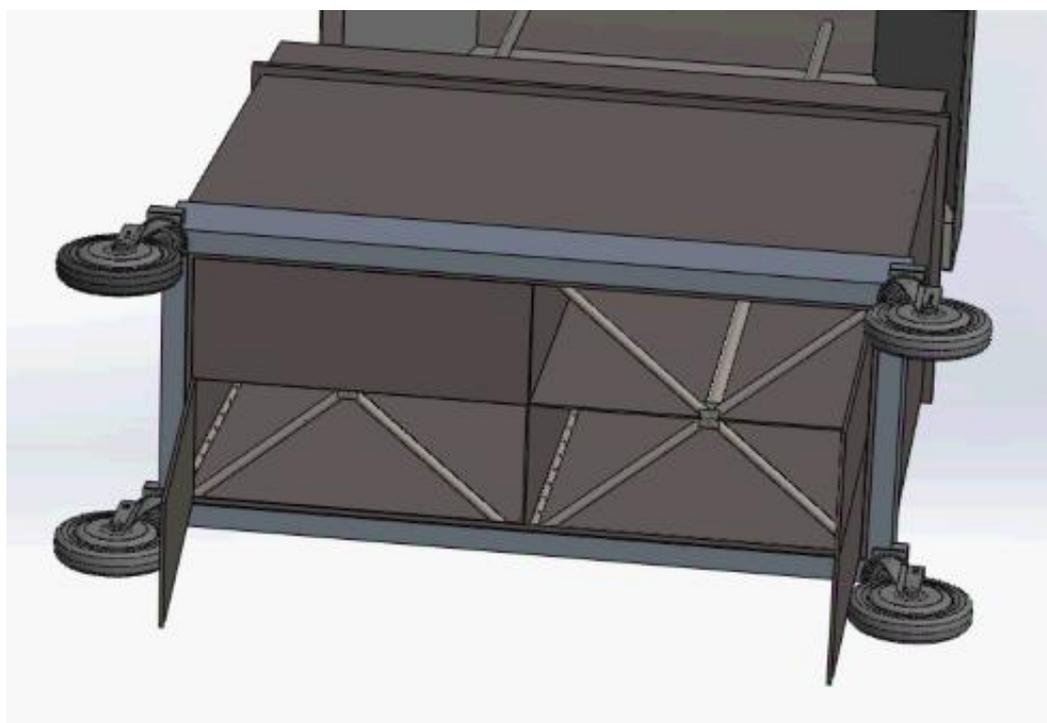


Figura 17: Esboço da caixa de extinção a seco, mostrando os basculantes.  
Fonte: Pesquisa Direta, 2018.

O peso estimado da caixa, descarregada e sem a tampa de extinção é 87 kg. As paredes foram reduzidas ao máximo permitido pelas simulações, para que não houvesse deformação plástica. Este peso foi o mínimo conseguido para o projeto.

### 4.3 Simulações

Para a execução das análises da caixa, também foi utilizado o *software SolidWorks*, onde os parâmetros de operação do forno e da caixa foram inseridos.

A Tabela 3 mostra os dados de operação do forno, da caixa e do produto, tomados em um período de funcionamento padrão da Planta Piloto de Coqueria da empresa, isto é, sem paradas de manutenção e com fornecimento de carvão constante. Esses dados foram inseridos na criação de um ponto de operação no modelo computacional.

Tabela 3: Informações de operação do forno, da caixa e do coque em dias típicos.

Temperatura máxima do Forno: 1250°C
Temperatura de entrada da Caixa no forno: Temperatura Ambiente
Temperatura no início da extinção (coque): 1100°C
Temperatura na saída da caixa (coque): 180°C

Fonte: Pesquisa direta, 2018.

A partir dos dados inseridos no *software*, foram desenvolvidos os casos considerando cenários possíveis de ocorrer na rotina de uma usina siderúrgica, uma vez que podem ser alteradas a quantidade de fluido de extinção, a temperatura do forno ou a capacidade do mesmo. A Figura 18 mostra o primeiro modelo da caixa analisado nas simulações.

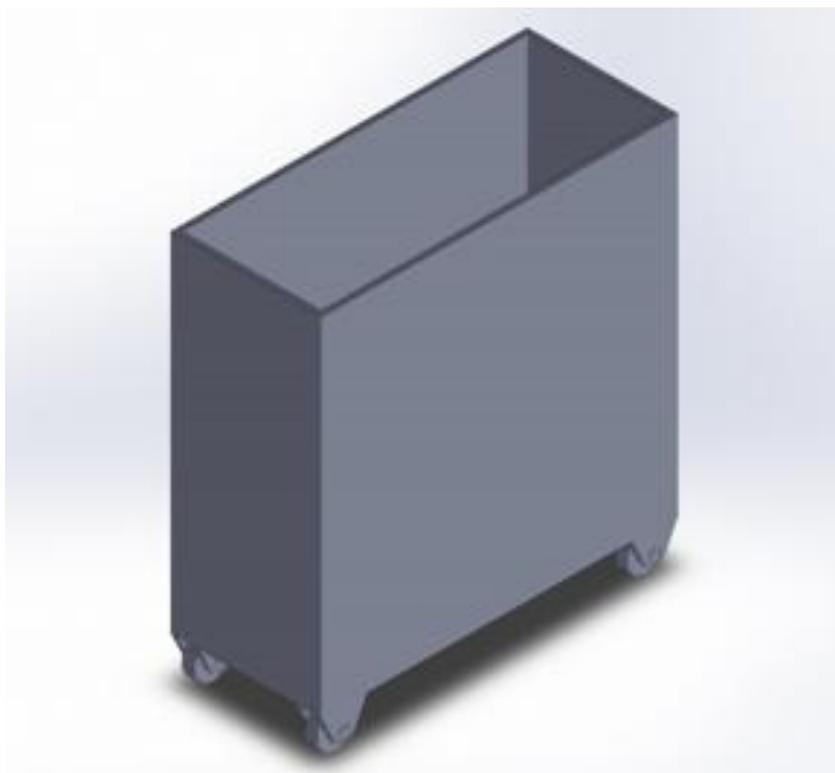


Figura 18: Primeiro modelo da caixa proposto.  
Fonte: Pesquisa Direta, 2017

O modelo da Figura 18 não se apresentou satisfatório na simulação térmica realizada, e então, partiu-se para a proposta do segundo modelo, que está representado pela Figura 19.

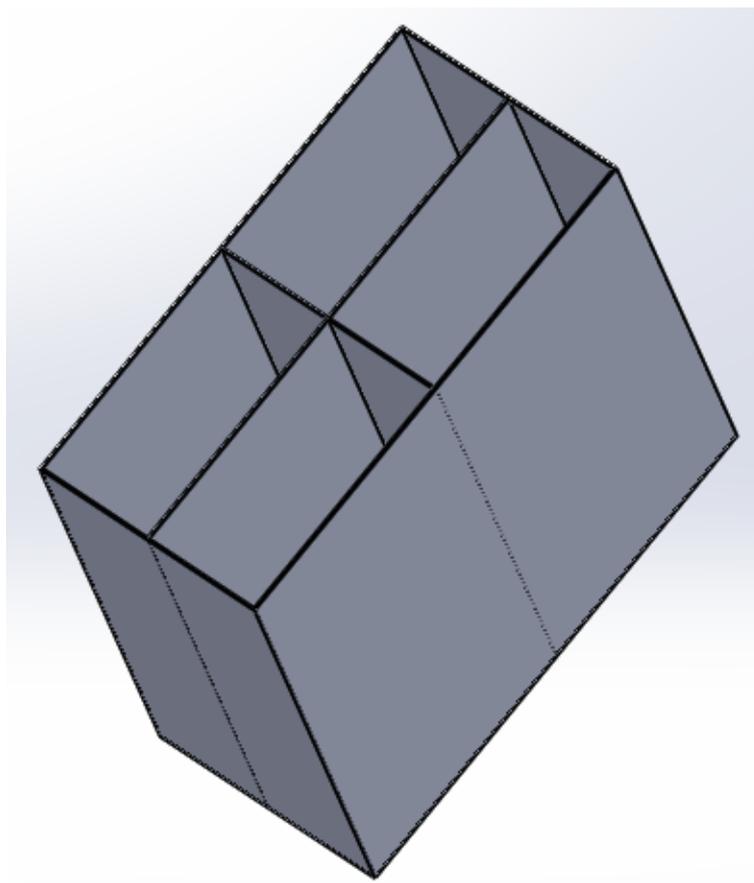


Figura 19: Segundo modelo da caixa proposto.  
Fonte: Pesquisa direta, 2018

Este modelo apresentava mais probabilidades de se mostrar satisfatório nas simulações realizadas, e então, gerou-se a malha do sistema no *software SolidWorks*, que é representada pela Figura 20.

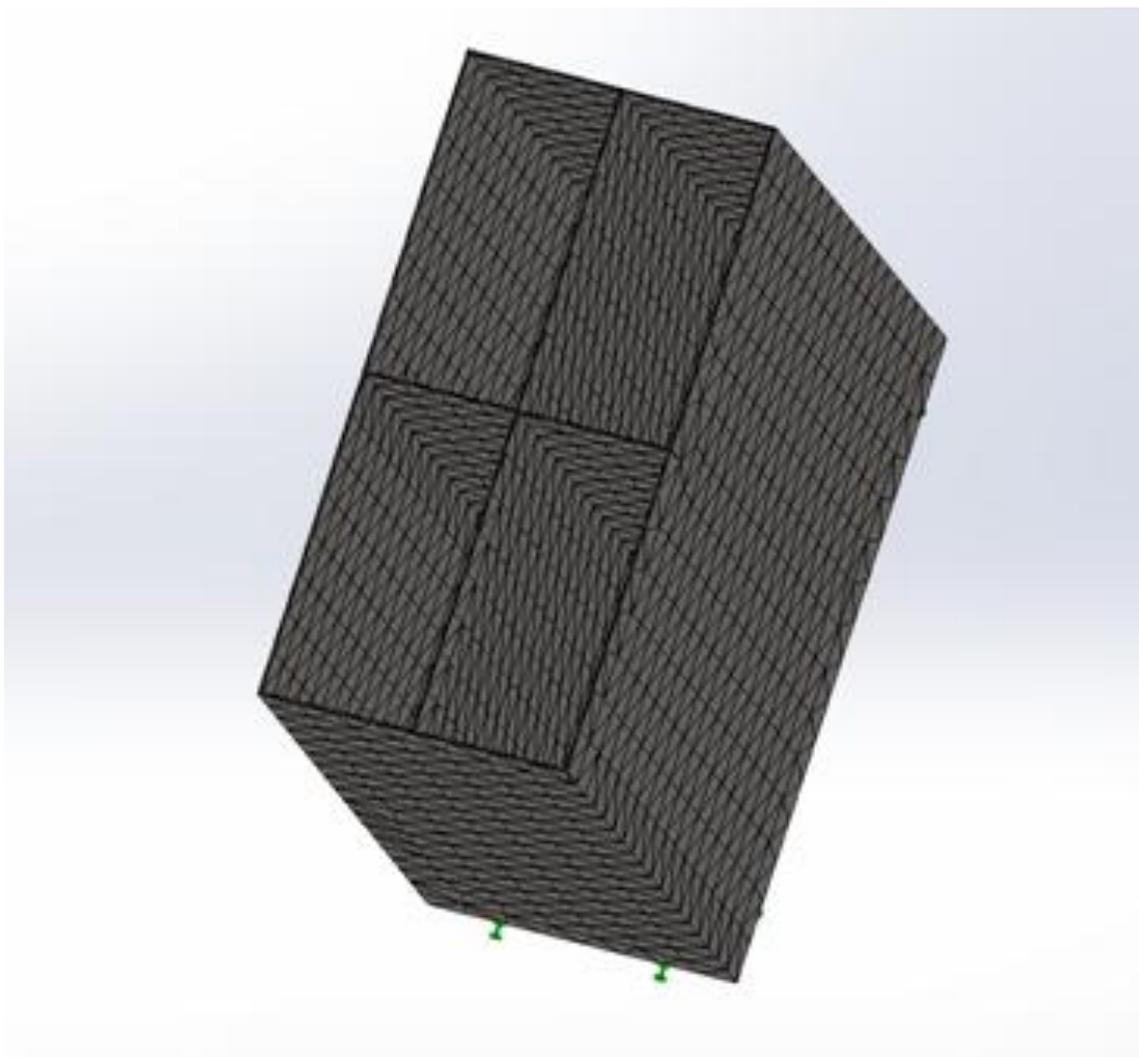


Figura 20: Esboço da malha de elementos finitos do sistema.  
Fonte: Pesquisa Direta, 2018

Os seguintes tópicos descrevem os casos e são analisadas as simulações realizadas.

#### **4.3.1 Análise térmica levando em consideração a temperatura máxima de operação do forno**

O forno da Planta Piloto de Coqueria da empresa foi projetado para trabalhar à temperatura máxima de 1250°C. Normalmente, este opera em temperaturas mais baixas do que a de projeto, mas para se analisar o caso extremo, foi realizada a simulação com a temperatura máxima de 1250°C. Assim, será levada em consideração a temperatura de saída do coque da caixa igual a 180°C. A análise nestas condições é representada pela Figura 21.

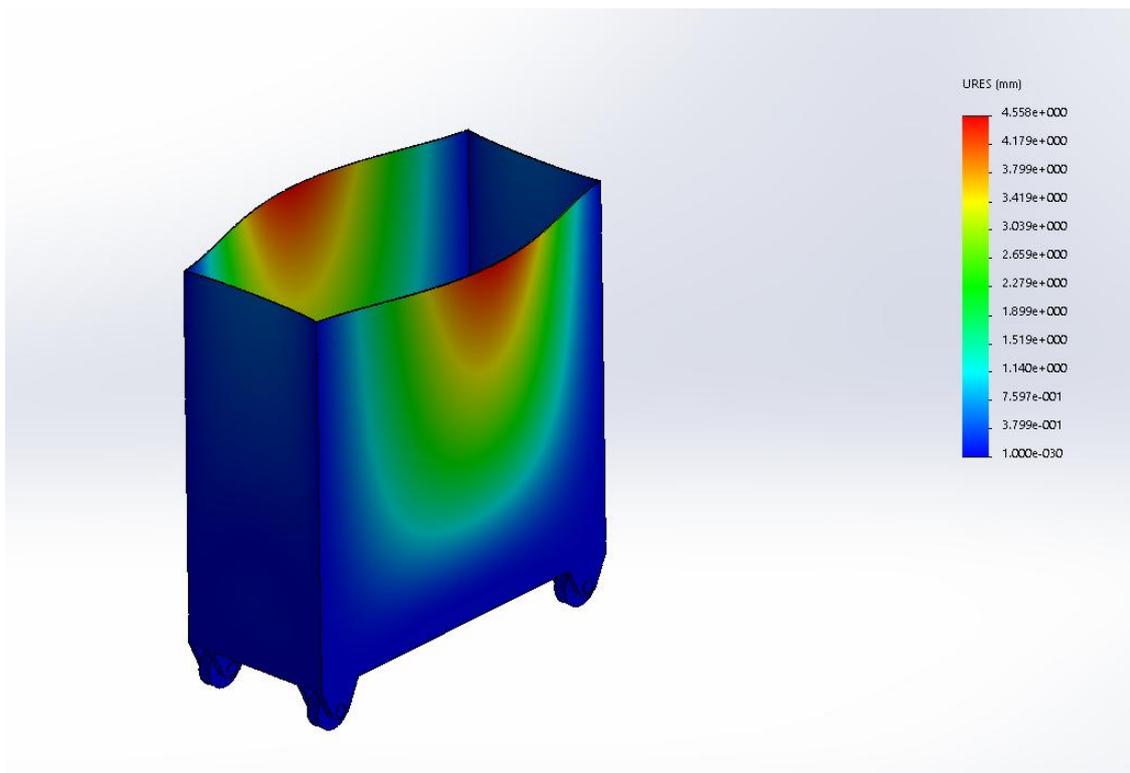


Figura 21: Relação entre temperatura do forno e deformação, no modelo antigo.  
Fonte: Pesquisa Direta, 2017.

Verifica-se que, nessa temperatura, é provável que ocorra uma pequena deformação nas extremidades maiores da caixa. Esta deformação quase atinge o limite de escoamento do material (representado pela cor vermelha na escala do lado direito da Figura 21). Isso significa que a caixa pode sofrer uma deformação plástica, comprometendo, assim, sua função.

Pensando nisto, foi proposto que a caixa fosse dividida ao meio, na horizontal e vertical. Essas divisões serviriam como restritores à deformação e foi neste momento que se chegou à conclusão de que, dividindo-se a caixa, poderiam ser realizados testes de 4 misturas diferentes de carvão simultaneamente.

Nessas novas condições, foi obtido o resultado mostrado na Figura 22.

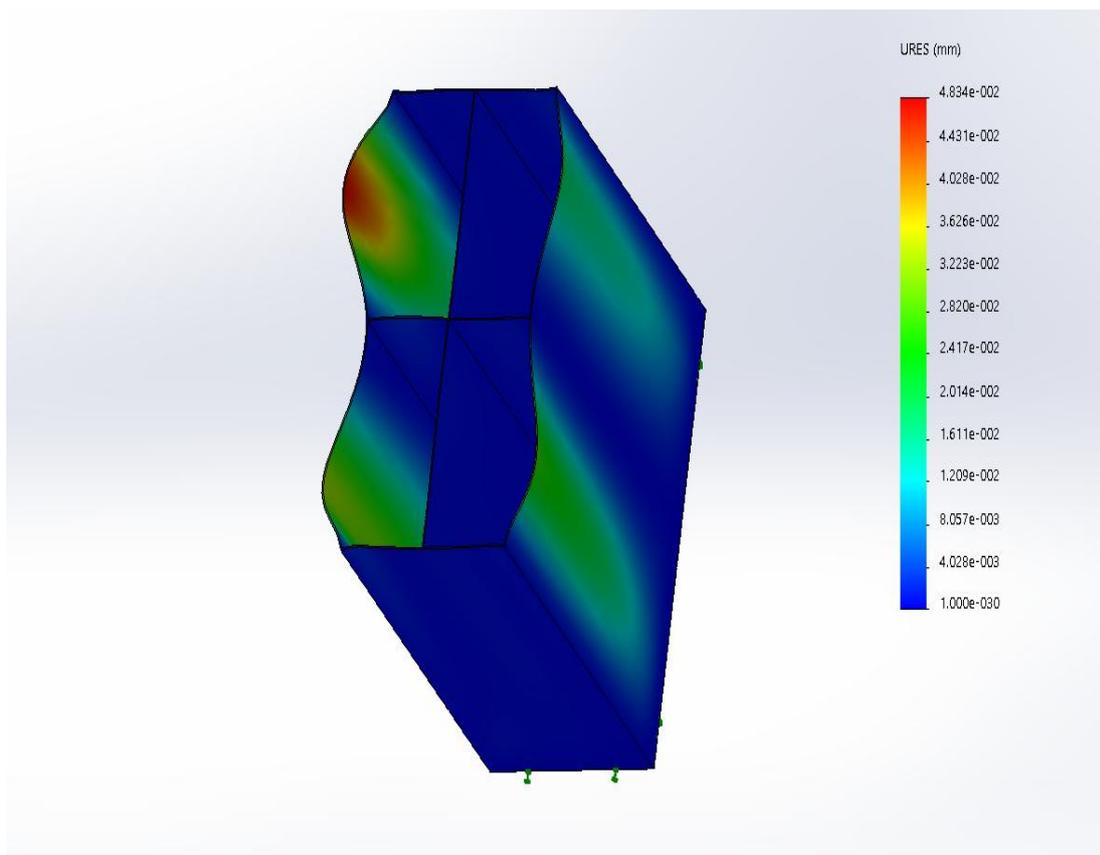


Figura 22: Relação entre temperatura do forno e deformação, modelo atualizado.  
Fonte: Pesquisa Direta, 2017.

Neste caso, já não houve uma aproximação tão expressiva da deformação da caixa com o limite de escoamento do material. Como foi analisado o maior valor possível de temperatura, pode-se perceber que, operando em temperaturas mais baixas, não se chegará perto deste problema de deformação térmica da caixa, comprovando, assim, que o material escolhido para a caixa realmente suporta altas temperaturas, e que só era necessária uma adequação para que ela suportasse maior carga térmica.

#### 4.3.2 Análise estrutural levando em consideração a máxima carga suportada pela caixa

A análise estrutural levando-se em consideração a carga da caixa foi realizada com base no novo modelo do projeto, proposto depois das observações feitas através da simulação térmica.

De acordo com as informações de projeto do forno, ele suporta a carga máxima de 250 kg. A caixa foi projetada para suportar esta carga máxima, ainda que, na maioria

dos testes realizados na Planta Piloto de Coqueria da empresa, a carga enforcada seja inferior (na faixa de 150 a 180 kg).

Mais uma vez, para se verificar a condição mais agressiva de trabalho da caixa, a resistência da mesma foi analisada considerando-se a carga máxima suportada. Assim, a simulação foi realizada considerando a carga de 2500 N, aplicados proporcionalmente a cada uma das paredes e divisões da caixa, e na sua totalidade no fundo da mesma, como mostra a Figura 23.

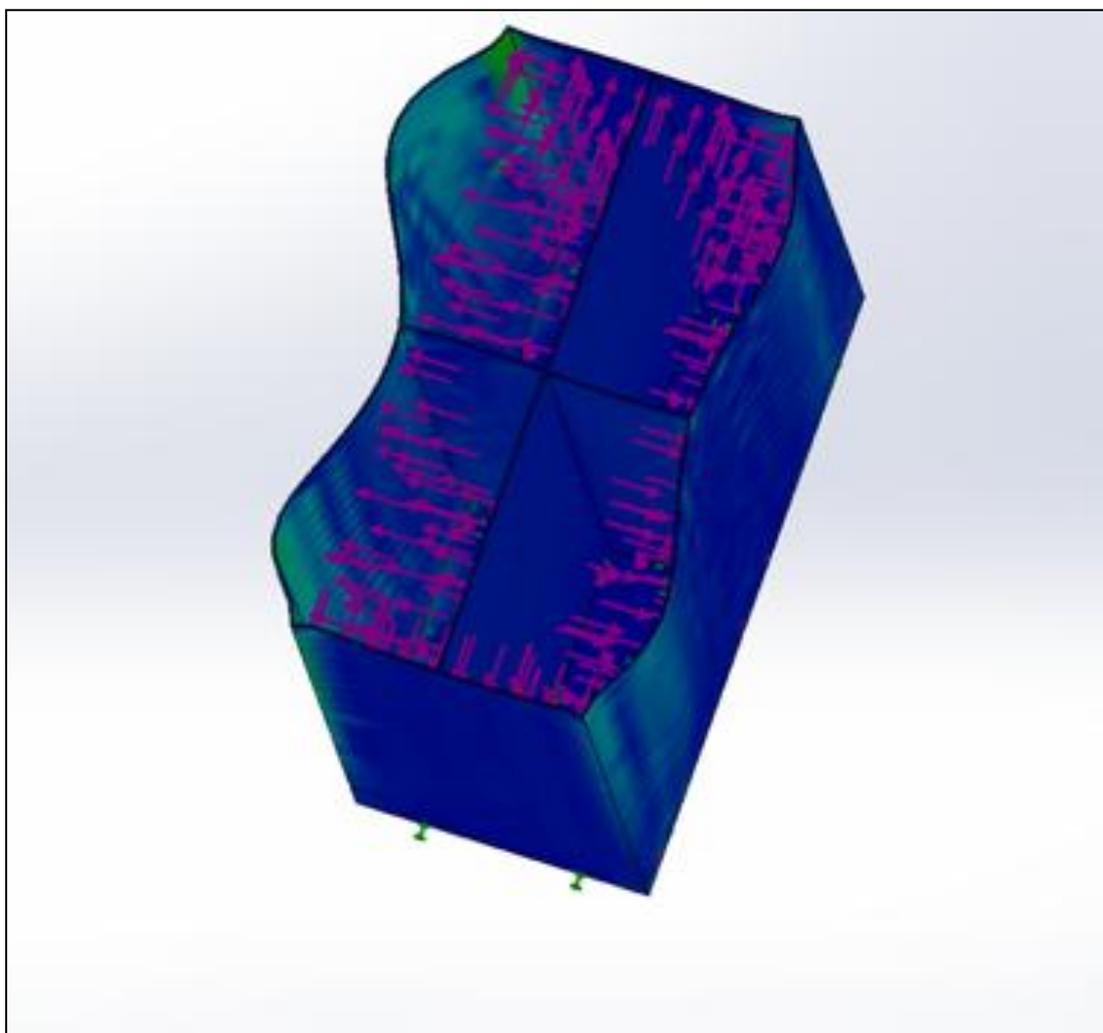


Figura 23: Aplicação de forças no modelo.  
Fonte: Pesquisa Direta, 2018.

O resultado desta análise é mostrado na Figura 24.

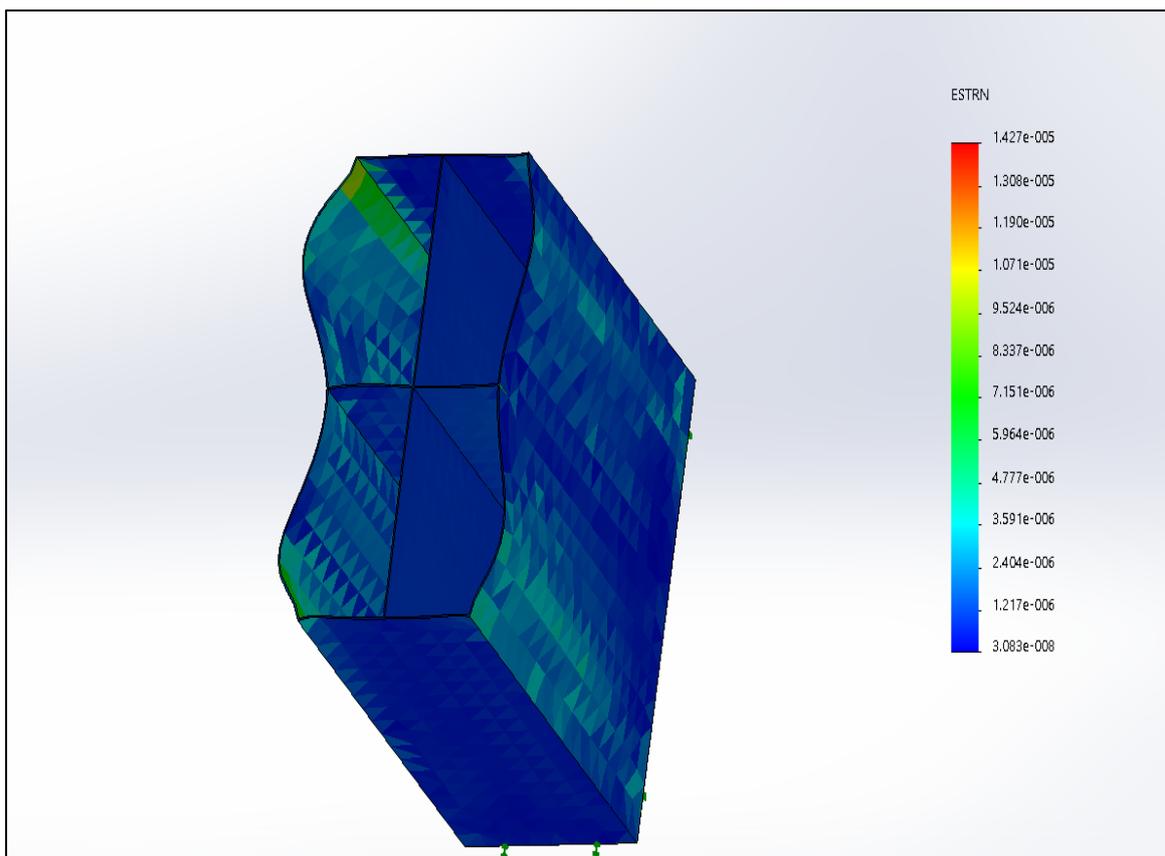


Figura 24: Relação entre a carga máxima suportada pela caixa e deformação.  
Fonte: Pesquisa Direta, 2018.

A caixa não atinge valores próximos ao seu limite de escoamento. Isso significa que a ela não sofrerá deformações plásticas ao longo da sua operação.

Vale lembrar que esta análise não desconsidera a temperatura do forno em que a caixa estará inserida. Ela analisa o esforço estrutural da caixa, em um contexto de elevada temperatura, simulando de forma mais verossímil o projeto em questão.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões do presente trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

### 5.1 Conclusões

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise técnica de como irá se comportar o projeto em questão, inserido em um contexto de uma Usina Siderúrgica. Além disso, permitiu um estudo de caso em uma empresa do setor, para se obter dados reais do processo.

Os parâmetros de operação do forno da Planta Piloto de Coqueria foram fornecidos pela empresa. Isso possibilitou a criação de um projeto através do *software SolidWorks*, e a partir disso, foi possível prever o comportamento do modelo diante de cenários atrelados à rotina da usina em questão, respondendo à pergunta problema deste trabalho.

Foi apresentado o modelo do projeto, previu-se suas influências através das simulações e destacou-se as melhores condições de operação do mesmo.

Foram realizadas todas as propostas do projeto, atingindo-se os objetivos geral e específicos.

Os resultados obtidos mostraram que o primeiro modelo proposto não resistia à deformação plástica quando submetido à carga térmica do forno. Já o segundo modelo se mostrou satisfatório, visto que a temperatura e a carga às quais o sistema será submetido estão dentro da normalidade esperada pelas simulações, e não haverá deformação plástica da caixa projetada. Isso provou que era necessária uma adequação ao projeto, devido à deformação térmica prevista se aproximar do limite de escoamento do material. Dessa forma, foi realizada a modificação do projeto, e feitas novas análises, que se mostraram satisfatórias, visto que o protótipo não sofrerá deformação plástica, o que é benéfico e desejado para o projeto.

Por fim, o trabalho mostrou que com um *software* adequado, tem-se inúmeras possibilidades de análise que podem auxiliar de forma satisfatória na melhoria da eficiência de um projeto.

Conclui-se que as simulações realizadas foram decisivas para que se escolhesse o modelo ideal a ser proposto, e que o *software* ajudou muito na realização dessas simulações.

## 5.2 Recomendações

Após a modelagem e simulações desenvolvidas no presente trabalho, podem ser sugeridas algumas propostas para continuidade em futuros trabalhos.

- Realização de simulação fluidodinâmica, para que seja possível prever o comportamento do fluido no interior da caixa.
- Realização de simulação térmica cíclica, levando-se em consideração o tempo em que a caixa permanece dentro do forno, submetida a altas temperaturas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, Dzhogolik. **O que é carvão de coque e onde ele é usado.** 2017. Disponível em: <<http://pt.nextews.com/d64412a3/>>. Acesso em 23 de out.2017.

ARCELORMITTAL TUBARÃO. **Pó de CDQ.** 2015. Disponível em: <[http://tubarao.arcelormittal.com/produtos/co\\_produtos/catalogo\\_produtos/coqueria/po\\_cdq.asp](http://tubarao.arcelormittal.com/produtos/co_produtos/catalogo_produtos/coqueria/po_cdq.asp)>. Acesso em 24 de out.2017.

BRITO, D. **Metodologia para elaboração de estudos de viabilidade econômica para empreendimentos na construção civil.** Monografia - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

CARIAS, M. C. **Viabilidade técnica dos processos de briquetagem e de controle de umidade de carvão para a produção do coque metalúrgico.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

CHUNBAO, C. X. U.; CANG, D. A brief overview of low CO2 emission technologies for iron and steelmaking. **Journal of Iron and Steel Research, International**, v. 17, n. 3, p. 1-7, 2010.

CODINHOTO, R. **Diretrizes para o planejamento e controle integrado do processo de projeto e produção da construção civil.** 176 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CONFEA. **Conceitua o termo “Projeto” e define suas tipificações.** Decisão normativa nº 106, de 17 de abril de 2015. Disponível em: <<http://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=56161>>. Acesso em 03 de fev.2018.

COSTA, L. C. **Parâmetros de controle do processo de coqueificação das baterias de fornos de coque da COSIPA.** 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

DAS, S. K. *et al.* Coal blend moisture - a boon or bane in cokemaking? **Coke and Chemistry**, v. 56, n. 4, p. 126-136, 2013.

DIEZ, M. A. *et al.* Coal for metallurgical coke production: predictions of coke quality and future requirements for cokemaking. **International Journal of Coal Geology**, v. 50, n. 1-4, p. 389-412, 2002.

DUARTE, C. C. Montenegro *et al.* Análise do conceito de sucesso aplicado ao gerenciamento de projetos de tecnologia da informação. **Revista de Administração da UFSM**, v. 5, n. 3, p. 459-478, 2012.

ERRERA, M. R.; MILANEZ, L. F. Thermodynamic analysis of a coke dry quenching unit. **Energy Conversion and Management**, v. 41, n. 2, p. 109-127, 2000.

ESQUADRÃO DO CONHECIMENTO. **A fabricação do aço**. Disponível em: <[esquadraodoconhecimento.wordpress.com/ciencias-da-natureza/quim/a-fabricacao-do-aco/](http://esquadraodoconhecimento.wordpress.com/ciencias-da-natureza/quim/a-fabricacao-do-aco/)>. Acesso em 15 de mai.2017.

FOGAÇA, J. **Obtenção do ferro**. Disponível em <[//mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/obtencao-ferro.htm](http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/obtencao-ferro.htm)>. Acesso em 15 de mai.2018.

FONSECA, D. **Produção mundial de aço bruto tem crescimento de 5,9% em outubro, diz WSA**. Disponível em: <[//www.agenciama.com.br/producao-mundial-de-aco-bruto-tem-crescimento-de-59-em-outubro-diz-wsa/](http://www.agenciama.com.br/producao-mundial-de-aco-bruto-tem-crescimento-de-59-em-outubro-diz-wsa/)>. Acesso em 19 de dez.2018.

FONSECA, S. **Metodologia da pesquisa científica**. Apostila - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

GEERDES, M. *et al.* **Coque. In: O Processo de Redução em Alto-Forno**, IJmuiden, Holanda, 2004.

GIL, A. C.. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

HABASHI, F. **Pollution problems in the mineral and metallurgical industries.** Sainte-Foy, Québec: Métallurgie Extractive Québec, 1996.

INFRATEMP. Disponível em <[www.infratemp.com.br](http://www.infratemp.com.br)>. Acesso em 23 de out.2017.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Disponível em <[acobrasil.org.br/site2015/processo.html](http://acobrasil.org.br/site2015/processo.html)>. Acesso em 02 de dez.2017.

JASE-W Japanese Smart Energy Products & Technologies. **Coke Dry Quenching (CDQ).** Disponível em: <[http://www.jase-w.eccj.or.jp/technologies/pdf/iron\\_steel/S-10.pdf](http://www.jase-w.eccj.or.jp/technologies/pdf/iron_steel/S-10.pdf)>. Acesso em 23 de out.2017.

MAIA, M. **Projeto mecânico – O que é e para que serve o detalhamento.** Disponível em <<http://www.fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/projetos-mecanicos/projeto-mecanico-detalhamento/>>. Acesso em: 24 de out.2017.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade.** Editora Vozes Limitada, 2011.

MOURÃO, M. **Fundamentos da Siderurgia – Processos de Fabricação II.** Cursos ABM, 2013.

NAGAIRO, K. **Nippon Steel's Activities and Technologies for Environmental Protection and its Perspective.** Disponível em: <[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:\\_6\\_DmcijJloJ:www.iom3.org/fileproxy/314688+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:_6_DmcijJloJ:www.iom3.org/fileproxy/314688+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br)>. Acesso em 11 de dez.2017.

NASSIF, L. **Coqueria e degradação Ambiental.** Disponível em <[jornalggm.com.br/blog/luisnassif/coqueria-e-degradacao-ambiental](http://jornalggm.com.br/blog/luisnassif/coqueria-e-degradacao-ambiental)>. Acesso em 21 de out.2017.

NOMURA, S. *et al.* Coal blending theory for dry coal charging processes. **SHINNITTETSU GIHO**, v. 384, p. 43, 2006.

OKAZAKI, T.; ONO, T. Program for Sustainable Development in Nippon Steel. **Nippon Steel Technical Report**, nº101, p. 189-195, 2012.

PAIVA, R. V. C. **Competitividade nacional e industrial: o setor siderúrgico em questão**. Tese de Doutorado – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2002.

PAUL WURTH. **Apagamento de Coque: Maior adequação ambiental associada à recuperação de energia**. Disponível em <[www.paulwurth.com/pt/NOSSAS-ATIVIDADES/Produ%C3%A7%C3%A3o-de-Coque/Apagamento-de-coque](http://www.paulwurth.com/pt/NOSSAS-ATIVIDADES/Produ%C3%A7%C3%A3o-de-Coque/Apagamento-de-coque)>. Acesso em 02 de mar.2018.

REDAÇÃO INDÚSTRIA HOJE. **Profissão Engenheiro Mecânico**. Disponível em <[//industriaohje.com.br/profissao-engenheiro-mecanico](http://industriaohje.com.br/profissao-engenheiro-mecanico)>. Acesso em 07 de mar.2018.

REINKE, M. *et al.*, **Desenvolvimentos tecnológicos para o avanço do desempenho ambiental de coquerias convencionais**. 2012.

RIBEIRO, C. **Top 10 softwares para engenharia**. Disponível em <[//blogdaengenharia.com/top-10-softwares-para-engenharia/](http://blogdaengenharia.com/top-10-softwares-para-engenharia/)>. Acesso em 24 de out.2017.

SALDANHA, L. **Migração de projetos de engenharia de software CAD 2d para 3d**. Disponível em <[//www.4ieng.com.br/single-post/migracao-de-projetos-de-engenharia-de-software-cad-2d-para-3d-parte2](http://www.4ieng.com.br/single-post/migracao-de-projetos-de-engenharia-de-software-cad-2d-para-3d-parte2)>. Acesso em 24 de out.2017.

SANTOS, A. B. Reúso de efluentes no processo industrial de siderurgia. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

SANTOS, P. **Desafio Aceito**. Disponível em: <[//www.fkbvalvulas.com/articulo/desafio-acceptado](http://www.fkbvalvulas.com/articulo/desafio-acceptado)>. Acesso em: 23 de out.2017.

SHEID, A. A **Elaboração do Aço.** Disponível em <<ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM049/Aula%201.pdf>>. Acesso em 21 de out.2017.

SHIGLEY, E. *et al.* **Projeto de Engenharia Mecânica.** 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 960f.

**Siderurgia no Brasil.** Disponível em: <[www.pwc.com.br/pt/publicacoes/setores-atividade/assets/siderurgia-metalurgia/metal-siderurgia-br-13a.pdf](http://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/setores-atividade/assets/siderurgia-metalurgia/metal-siderurgia-br-13a.pdf)>. Acesso em 07 de mar.2018.

SILVA, C. R. O.; MOURA, Epitácio Macário. Metodologia do trabalho científico. **Fortaleza: Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará,** 2004.

SINFERBASE. **Minério de Ferro. Tipos de Produtos.** Disponível em: <<https://sinferbase.com.br/wp-content/uploads/2017/11/84.pdf?x23777>>. Acesso em 27 de nov.2018

SOUZA, J. **Nasce a cidade da curva do rio.** 1 ed. Volta Redonda. 299 p. 2016.

SUN, K. *et al.* **Model predictive control for improving waste heat recovery in coke dry quenching processes.** Energy, v. 80, p. 275-283, 2015.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso-: Planejamento e Métodos.** Bookman editora, 2015.

WORDSTEEL ASSOCIATION, **Steel industry co-products - worldsteel position paper.** Disponível em < <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2018/steel-industry-co-products---worldsteel-position-paper.html>>. Acesso em 07 de março 2018.

ZHANG, J. *et al.* Modeling and constrained multivariable predictive control for ORC (Organic Rankine Cycle) based waste heat energy conversion systems. **Energy**, v. 66, p. 128-138, 2014.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
ENGENHARIA MECÂNICA



Certifico que a aluna Marcella Barbosa Souza e Silva, autora do trabalho de conclusão de curso intitulado "Projeto de um sistema de extinção a seco de coque para uma planta piloto de coqueria de uma indústria siderúrgica" efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

*Elisângela Martins Leal*

Elisângela Martins Leal  
(Orientadora)

Ouro Preto, 19 de dezembro de 2018