

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

RAFAEL IACILLO SOARES

**SOFTWARE DE BUSCA DE METAIS FERROSOS E GERAÇÃO
DE CURVAS DE COMPORTAMENTO MECÂNICO**

VOLTA REDONDA

2018

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**SOFTWARE DE BUSCA DE METAIS FERROSOS E GERAÇÃO
DE CURVAS DE COMPORTAMENTO MECÂNICO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais, linha de pesquisa em materiais metálicos.

Aluno:

Rafael Iacillo Soares

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

VOLTA REDONDA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

S676s Soares, Rafael Iacillo.

Software de busca de metais ferrosos e geração de curvas de comportamento mecânico. / Rafael Iacillo Soares. - Volta Redonda: UniFOA, 2018.

149 p. : II

Orientador (a): Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2018

1. Materiais - dissertação. 2. Metais ferrosos - software. 3. Comportamento mecânico. I. Habibe, Alexandre Fernandes. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1

FOLHA DE APROVAÇÃO

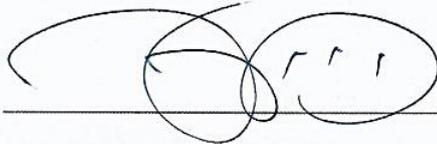
Aluno: Rafael Iacillo Soares

**SOFTWARE DE BUSCA DE METAIS FERROSOS E GERAÇÃO DE CURVAS
DE COMPORTAMENTO MECÂNICO**

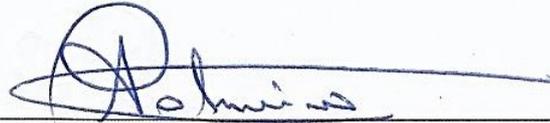
Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Banca Examinadora

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a final vertical stroke, positioned above a horizontal line.

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

A handwritten signature in blue ink, starting with a large circular loop followed by a long horizontal stroke, positioned above a horizontal line.

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

A handwritten signature in blue ink, featuring a large circular loop and several horizontal strokes, positioned above a horizontal line.

Prof. Dr. Diego Orlando

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. JUSTIFICATIVA	17
1.2. OBJETIVO GERAL.....	18
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. METAIS.....	19
2.1.1. HISTÓRICO	20
2.1.2. METAIS FERROSOS	22
2.2. PROPRIEDADES DOS METAIS	23
2.2.1. RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	24
2.2.2. DUREZA.....	24
2.2.3. FRAGILIDADE	24
2.2.4. MALEABILIDADE	25
2.2.5. DUCTILIDADE	25
2.2.6. ELASTICIDADE.....	25
2.2.7. DENSIDADE	26
2.2.8. FUSIBILIDADE.....	26
2.2.9. CONDUTIVIDADE.....	26
2.2.10. PROPRIEDADES METÁLICAS.....	27
2.3. ENSAIO DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO.....	28
2.3.1. MATERIAIS DUCTEIS	29
2.3.2. MATERIAIS FRÁGEIS	32
2.4. ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE BRINELL.....	33
2.5. ENSAIO DE DUREZA DE ROCKWELL.....	34
2.6. NORMAS E DESIGNAÇÕES	35
2.6.1. AÇOS DE CARBONO E LIGADOS	35
2.6.2. AÇOS INOXIDÁVEIS	37
2.6.3. ALUMÍNIO	37
2.6.4. SISTEMA DE NUMERAÇÃO UNIFICADO.....	39
2.7. PROCESSAMENTOS E TRATAMENTOS DOS METAIS.....	40
2.7.1. EFEITO DE TAMANHO DE GRÃO:.....	40
2.7.2. ARREFECIMENTO E ENDURECIMENTO:	40
2.7.3. TRABALHO A FRIO	41
2.8. LINGUAGEM JAVA COM O PADRÃO MVC, USANDO A IDE NETBEANS.	42

2.9. SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BANCO DE DADOS RELACIONAL E A MODELAGEM DE DADOS SEGUNDO PETER CHEN ...	56
3. METODOLOGIA	63
3.1. DESIGNAÇÃO DO TEMA.....	63
3.2. LEVANTAMENTO DE DADOS.....	64
3.3. SELEÇÃO DAS FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO .	65
3.4. MODELAGEM DO BANCO DE DADOS.....	66
3.5. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA E TESTES	67
3.6. ALIMENTAÇÃO DA BASE DE DADOS E TESTES	68
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
4.1. O BANCO DE DADOS.....	69
4.2. DOCUMENTAÇÃO DE ANÁLISE.....	81
4.2.1. CASO DE USO	82
4.2.2. DIAGRAMA DE CLASSES.....	86
4.3. USABILIDADE DO SOFTWARE	88
4.3.1. INICIANDO APLICAÇÃO	88
4.3.2. TELA PRINCIPAL.....	89
4.3.3. AÇÕES BÁSICAS	91
4.3.4. PADRÕES DOS ICONES	91
4.3.5. PADRÕES DAS JANELAS.....	95
4.3.6. BUSCA PRINCIPAL	97
4.3.7. GERAÇÃO DE CURVAS.....	108
4.4. ALGORÍTMO DE GERAÇÃO DA CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO.....	122
4.4.1. Descrição do Algoritmo	122
4.4.2. Testes do Algoritmo.....	128
4.4.3. Primeiro teste do Algoritmo	128
4.4.4. Segundo teste do Algoritmo	131
4.4.5. Terceiro teste do Algoritmo	135
5. CONCLUSÕES	140
6. TRABALHOS FUTUROS.....	141
7. REFERÊNCIAS.....	142
8. ANEXO I.....	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Deformação elástica em uma barra de metal.	27
Figura 2 - Movimento de deslocamento em um cristal.	28
Figura 3 - Uma curva tensão-deformação típica do aço estrutural.	30
Figura 4 - Curva tensão-deformação para materiais frágeis.	32
Figura 5 - Sintaxe Java	45
Figura 6 - Exemplo Java	45
Figura 7 - Acesso ao servidor através do protocolo HTML	51
Figura 8 - Modelo padrão MVC	54
Figura 9 - Arquitetura SGBDR.....	57
Figura 10 - Ilustração gráfica dos componentes de um DER	59
Figura 11 - Exemplo de DER segundo Peter Chen.....	60
Figura 12 - MySQL Worlbench	61
Figura 13 - Tabelas de Sistema – SGBD Firebird	62
Figura 14: Fluxograma da Metodologia.....	63
Figura 15 - DER Simplificado do Banco de Dados.....	69
Figura 16 - Diagrama de Caso de Uso do SBGCCM	82
Figura 17 - Diagrama de Classes do SBGCCM	87
Figura 18 - Tela de Acesso ao Sistema (Administrador selecionado).....	88
Figura 19 - Tela Principal do Visitante.....	89
Figura 20 - Barra de Menu (Controle)	89
Figura 21 - Menu Busca	90
Figura 22 - Menu Opções (Temas)	90
Figura 23 - Menu Ajuda	90
Figura 24 - Elementos Padrões das Janelas.....	95
Figura 25 - Tela Busca Principal (Critérios de Busca).....	97
Figura 26 - Critério de Busca por Grupo.	98
Figura 27 - Critério de Busca por Composição.....	99
Figura 28 - Critério de Busca por Propriedade.	99
Figura 29 - Critério de Busca por Chave.	100
Figura 30 – Critério Ativado e Desativado.....	101
Figura 31 – Cabeçalho dos critérios.....	102
Figura 32 – Botões de Busca e Exclusão.....	102

Figura 33 - Tela Busca Principal - Seção RESULTADO DA BUSCA	103
Figura 34 - Tela Busca Principal - Seção VISUALIZAÇÃO.	105
Figura 35 - Opção para salvar microestrutura.	106
Figura 36 - Tela Gerador de Curvas Tensão Deformação (Visualização).	108
Figura 37 - Painel da Entrada por Banco de Dados.	110
Figura 38 - Pesquisar Metal para Entrada de curva.	110
Figura 39 - Painel de Entrada de Curva por Arquivo Texto.	112
Figura 40 – Tela de Entrada de Dados do Corpo de Prova.	113
Figura 41 - Painel de Entrada de Curva Manualmente.	114
Figura 42 - Tela Gerador de Curvas Tensão Deformação (Visualização).	115
Figura 43 - Tela Gerador de Curvas Tensão Deformação (Configuração).	118
Figura 44 - Tela Gerador de Curvas Tensão Deformação (Configuração – em edição).	118
Figura 45 - Representação genérica dos pontos obtidos para a geração da curva tensão-deformação.	123
Figura 46 - Representação da tendência logarítmica entre um limite de proporcionalidade e um limite de escoamento genéricos.	124
Figura 47 - Representação da tendência logarítmica entre um limite de escoamento e um limite de resistência genéricos.	126
Figura 48 - Comportamento da curva de Bézier aplicada entre um limite de resistência e um ponto de ruptura genéricos, de acordo com a variação de t.	127
Figura 49 - Relatório de ensaio tensão-deformação do aço HX 300 LAD.	128
Figura 50 - Tela de entrada dos dados para geração de curva tensão- deformação do SBGCCM com a matriz de dados do ensaio do aço HX300LAD.	129
Figura 51 - Tela de entrada dos dados manual para geração de curva tensão- deformação do SBGCCM com dados copiados do ensaio do aço HX300LAD	130
Figura 52 - Curvas tensão-deformação original e simulada do aço HX 300 LAD sobrepostas.	131
Figura 53 - Relatório de ensaio tensão-deformação do aço 240 B2.	132

Figura 54 - Tela de entrada dos dados para geração de curva tensão-deformação do SBGCCM com a matriz de dados do ensaio do aço 240 B2.	133
Figura 55 - Tela de entrada dos dados manual para geração de curva tensão-deformação do SBGCCM com dados copiados do ensaio do aço 240 B2	134
Figura 56 - Curvas tensão-deformação original e simulada do aço 240 B2 sobrepostas.....	135
Figura 57 - Relatório de ensaio tensão-deformação do aço 340 LA.	136
Figura 58 - Tela de entrada dos dados para geração de curva tensão-deformação do SBGCCM com a matriz de dados do ensaio do aço 340 LA.	137
Figura 59 - Tela de entrada dos dados manual para geração de curva tensão-deformação do SBGCCM com dados copiados do ensaio do aço 340 LA	138
Figura 60 - Curvas tensão-deformação original e simulada do aço 340 LA sobrepostas.....	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes de um DER	59
Tabela 2 - Dimensões das amostras para ensaio de resistência a tração.	67
Tabela 3 - Descrição da Tabela/Entidade GRUPOS.....	72
Tabela 4 - Descrição da Tabela/Entidade COMPONENTES.	73
Tabela 5 - Descrição da Tabela/Entidade TIPOS_PROPRIEDADES.	73
Tabela 6 - Descrição da Tabela/Entidade UNIDADES_MEDIDAS.....	74
Tabela 7 - Descrição da Tabela/Entidade CLASSIFICACOES_IMAGENS.....	74
Tabela 8 - Descrição da Tabela/Entidade TRATAMENTOS.	75
Tabela 9 - Descrição da Tabela/Entidade PROPRIEDADES.....	75
Tabela 10 - Descrição da Tabela/Entidade METAIS.....	76
Tabela 11 - Descrição da Tabela/Entidade EXPRESSOES.....	76
Tabela 12 - Descrição da Tabela/Entidade COMPOSICOES.	77
Tabela 13 - Descrição da Tabela/Entidade PROCESSOS.....	78
Tabela 14 - Descrição da Tabela/Entidade MICROESTRUTURAS.	78
Tabela 15 - Descrição da Tabela/Entidade FIGURAS.	79
Tabela 16 - Descrição da Tabela/Entidade VALORES.	80
Tabela 17 - Cálculo de crescimento do Banco de Dados por mês.....	81
Tabela 18 - Dimensões dos ícones e suas aplicações.....	92
Tabela 19 - Significados dos ícones utilizados no Sistema.....	92

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a.C.	Antes de Cristo
AA	<i>Aluminium Association</i> (Associação do Alumínio).
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i> (Instituto Americano de Ferro e Aço)
ANSI	<i>American National Standards Institute</i> (Instituto Nacional Americano de Padrões)
API ₍₁₎	<i>American Petroleum Institute</i> (Instituto Americano de petróleo)
API ₍₂₎	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicativos)
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i> (Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos)
ASTM	<i>American Society of Testing and Materials</i> (Sociedade Americana de Testes e Materiais)
CASE	<i>Computer Aided Software Engineering</i> (Engenharia de Software Assistido por Computador)
CGI	<i>Common Gateway Interface</i> (Interface Comum de Gateway)
DER	Diagrama de Entidade-Relacionamento
EJB	<i>Enterprise JavaBeans</i>
ER	Entidade-Relacionamento
GPL	<i>General Public Licence</i> (Licença Pública Geral)
HTML	<i>HyperText Markup Language</i> (Linguagem de Marcação de Hipertexto)
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferência de Hipertexto)

IDE	<i>Integral Development Environment</i> (Ambiente de Desenvolvimento Integral)
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i> (Força-tarefa de engenharia da internet)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
J2EE	<i>Java 2 Enterprise Edition</i>
J2ME	<i>Java 2 Micro Edition</i>
J2SE	<i>Java 2 Standard Edition</i>
JAX-WS	<i>Java API for XML Web Services</i> (API Java para Serviços Web XML)
JDK	<i>Java Development Kit</i> (Kit de Desenvolvimento em Java)
JMS	<i>Java Message Service</i>
JSP	<i>JavaServer Pages</i> (Páginas JavaServer)
JSTL	<i>JSP Standard Tag Library</i> (Biblioteca Padrão de Tags JSP)
JVM	<i>Java Virtual Machine</i> (Maquina Virtual Java)
MER	Modelagem Entidade-Relacionamento
MIME	<i>Multipurpose Internet Mail Extensions</i> (Extensões de correio de Internet multiuso)
MVC	<i>Model, View, Controller</i> (Modelo, Visão, Controlador).
OO	Orientação a Objetos.
PHP	<i>Personal Home Page</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i> (Transferência de Estado Representacional)
RESTful	Sistemas que seguem os princípios REST.
RMI	<i>Remote Method Invocation</i> (Execução de Chamadas Remotas)

SAE	<i>Society of Automobile Engineers</i> (Sociedade de engenheiros de automóveis)
SBGCCM	Software de Busca de Metais Ferrosos e Geração de Curva de Comportamento Mecânico
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SGBDR	Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional
SI	Sistema Internacional de Unidades
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i> (Protocolo Simples de Acesso a Objetos)
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i> (Protocolo Simples de Acesso a Objetos)
UML	<i>Unified Modeling Language</i> (Linguagem de Modelagem Unificada)
UML	<i>Unified Modeling Language</i> (Linguagem de modelagem unificada)
UniFOA	Centro Universitário de Volta Redonda
UNS	<i>Unified Numbering System for Metals and Alloys</i> (Sistema de Numeração Unificada para Metais e Ligas)
WSDL	<i>Web Services Description Language</i> (Linguagem de Descrição de Serviços WEB)
WSRM	<i>Web Services Reliable Messaging</i> (Serviços da Web de mensagens confiáveis)
XML	<i>eXtensible Markup Language</i> (Linguagem de Marcação Extensível)
XML	<i>eXtensible Markup Language</i> (Linguagem de Marcação Extensível)

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Tensão	29
Equação 2 - Relação entre (Pa) e (N/m ²).....	29
Equação 3 - Tendência Logarítmica.....	125
Equação 4 - Coeficiente b para tendência logarítmica	125
Equação 5 - Coeficiente a para tendência logarítmica	125
Equação 6 - Razão de incremento de x para 10 pontos	125
Equação 7 - Incremento de x	125
Equação 8 - Razão de incremento de x para 100 pontos	126
Equação 9 - Equação geral da curva de Bézier	127
Equação 10 - Equação da curva de Bézier para 3 pontos	127

RESUMO

O amplo acesso à informação no âmbito das características dos diversos e inúmeros materiais mostra-se como fator de garantia de processo e performance. Um programa que amplifica o campo de escolha e caracteriza de forma objetiva as opções disponíveis, apresenta-se como uma útil ferramenta de seleção.

O presente trabalho tem como base o desenvolvimento e validação de um programa / aplicativo capaz de buscar, a critério do usuário, materiais metálicos ferrosos, especificamente aços, assim como suas microestruturas e propriedades relacionadas. E através destas informações gerar curvas de comportamento mecânico referentes ao ensaio de tensão-deformação.

A UML (Linguagem de Modelagem Unificada) foi utilizada como metodologia de análise do sistema e a programação foi orientada a objetos com padrão de arquitetura MVC (modelo-visão-controlador).

Os resultados obtidos contemplam um banco de dados desenvolvido em Firebird 3.0, otimizado e flexível, com crescimento moderado e de fácil gerenciamento. Um aplicativo leve, limpo e multiplataforma, desenvolvido em Java versão 8 com NetBeans 8.2, que se mostrou uma ferramenta útil com potencial para utilização na comunidade científica, nas indústrias e nas instituições de ensino que necessitam de informações sobre metais ferrosos, suas imagens, microestruturas e propriedades. Além de possuir um algoritmo de geração de curva de comportamento mecânico capaz de construir curvas tensão-deformação a partir de quatro propriedades mecânicas existentes na base de dados ou informadas manualmente.

O produto final atende os objetivos propostos, porém por integrar um banco de dados próprio, sua implantação pode exigir alguns cuidados relativos a hardware e outros recursos, assim como adaptações durante o processo.

Palavras-chave: Materiais metálicos, Metais ferrosos, Banco de dados, Comportamento mecânico, Software.

ABSTRACT

The broad access to the information in the scope of the characteristics of the several materials is shown as a factor of guarantee of the performance and process. A software that amplifies the field of choice and characterizes objectively the available options, presents itself as a useful selection tool.

The present work is based on the development and validation of a software able to search, at the user's request, ferrous metal materials, specifically steels, as well as their microstructures and related properties. And through this information generate mechanical behavior curves referring to the stress-strain test.

The Unified Modeling Language (UML) was used as a methodology for the analysis of the system and the programming was oriented to objects with MVC (model-view-controller) architecture standard.

The results cover an optimized and flexible Firebird 3.0 database with moderate growth and easy management. A light, clean and cross-platform application, it was developed in Java version 8 with NetBeans 8.2. It has been shown as a useful tool for use in the scientific community, in the industries and in the institutions of education which need information about ferrous metals, their images, microstructures and properties. In addition to having a mechanical behavior curve generation algorithm capable of constructing a stress-strain of each of the mechanical properties, in the database or manually informed.

The final product meets the proposed objectives, but because it integrates a database of its own, its implementation may require some care regarding hardware and other resources, as well as adaptations

Keywords: Metals, Ferrous Metals, Database, Mechanical Behavior, Software.

1. INTRODUÇÃO

O estudo da ciência e engenharia de materiais ocupa-se respectivamente da investigação das relações entre estrutura e propriedades dos materiais e a partir dessas correlações, busca foco no projeto de materiais e componentes, assumindo um comportamento baseado nas propriedades pré-determinadas e projetadas.

O presente trabalho encaminha a construção de um programa / aplicativo de busca de materiais, suas composições, análise de propriedades mecânicas e construção de curvas de comportamento mecânico. Considerando como base as propriedades determinadas nas normas internacionais, estrutura um banco de dados com capacidade de intervenção e expansão e constrói, a partir de ferramentas, mecanismos variados de acessos e disponibilização de informações específicas.

De forma complementar, apresenta também, um manual / tutorial para os futuros usuários que se estrutura para garantir a operacionalização plena do programa.

1.1. JUSTIFICATIVA

A análise das possibilidades de utilização de materiais em engenharia reveste-se de importância crescente na medida da competitividade e da capacidade de produção de materiais com grande controle metalúrgico e de processo. Os fatores econômicos e outros ligados à confiabilidade dos sistemas direcionam as decisões para esferas de alta responsabilidade e requinte tecnológico.

O amplo acesso à informação no âmbito das características dos diversos e inúmeros materiais mostra-se como fator de garantia de processo e performance. Um programa que amplifica o campo de escolha e caracteriza de forma objetiva as opções disponíveis, apresenta-se como uma útil ferramenta de seleção.

1.2. OBJETIVO GERAL

O trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento e validação de um programa / aplicativo capaz de buscar, a critério do usuário, materiais metálicos ferrosos, especificamente aços, assim como suas microestruturas e propriedades relacionadas. E através destas informações gerar curvas de comportamento mecânico referentes ao ensaio de tensão-deformação.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

1) Modelagem um Banco de Dados para armazenagem das informações oficiais de materiais metálicos servindo de base de dados digital para pesquisas e distribuição, conforme a necessidade do Usuário.

2) Desenvolvimento de um programa / aplicativo como ferramenta administrativa para gerenciamento das informações e imagens do banco de dados modelado.

3) Desenvolvimento de um programa de usuário, como ferramenta de busca e geração de curvas de comportamento mecânico, com acesso a imagens e microestruturas, disponibilizando filtros específicos para a pesquisa, baseados em valores de propriedades, composições, grupos e chaves.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. METAIS

Conforme Lima (2010) um metal é um material (um elemento, composto ou liga) que é tipicamente duro, opaco, brilhante e possui boa condutividade elétrica e térmica. Os metais são geralmente maleáveis - isto é, eles podem ser martelados ou pressionados permanentemente fora de forma sem quebrar ou rachar - bem como fusível (capaz de ser fundido ou derretido) e dúctil (capaz de ser extraído para um fio fino).

Cerca de 90 dos 118 elementos na tabela periódica são metais; Os outros são não metálicos ou metaloides. Alguns elementos aparecem em formas metálicas e não metálicas.

Os astrofísicos usam o termo "metal" para descreverem coletivamente todos os elementos além do hidrogênio e do hélio, os dois mais simples, em uma estrela. A estrela combina átomos menores, principalmente hidrogênio e hélio, para fazer maiores ao longo da sua vida. Nesse sentido, a metalicidade de um objeto é a proporção de sua matéria composta por todos os elementos químicos mais pesados e não apenas por metais tradicionais (LORENZO, 2009).

Muitos elementos e compostos que normalmente não são classificados como metais tornam-se metálicos sob altas pressões; Estes são formados como alotropos metálicos de não metais.

A força e a resiliência dos metais levaram ao uso frequentes em edifícios altos e em construção de pontes, bem como na maioria dos veículos, muitos eletrodomésticos, ferramentas, tubos, sinais não iluminados e trilhos ferroviários. Os metais preciosos foram historicamente utilizados como cunhagem (GORU, 2011).

2.1.1. HISTÓRICO

A natureza dos metais tem fascinado os seres humanos há muitos séculos, porque esses materiais forneceram às pessoas ferramentas de propriedades insuperáveis tanto na guerra como na sua preparação e processamento. O ouro puro e a prata são conhecidos dos seres humanos desde a Idade da Pedra. O chumbo e a prata foram fundidos de seus minérios já no quarto milênio a.C.

Antigos escritores latinos e gregos como Theophrastus, Plínio o Velho em sua História Natural, ou Pedanius Dioscorides, não tentaram classificar os metais. Os antigos europeus nunca alcançaram o conceito de "metal" como uma substância elementar distinta com propriedades químicas e físicas fixas e características. Seguindo Empedocles, assumiu-se que todas as substâncias dentro da esfera sublunária variam em seus elementos clássicos constituintes de terra, água, ar e fogo. Seguindo os pitagóricos, Platão assumiu que esses elementos poderiam ser mais reduzidos ao plano de formas geométricas (triângulos e quadrados) limitando o espaço e relacionados aos poliedros regulares na sequência terra: cubo, água: icosaedro, ar: octaedro, fogo: tetraedro (LIMA, 2010).

No entanto, essa extensão filosófica não se tornou tão popular quanto os quatro elementos simples, depois que foi rejeitado por Aristóteles. Aristóteles também rejeitou a teoria atômica de Demócrito, uma vez que ele classificou a existência implícita de um vácuo necessário para o movimento como uma contradição (um vácuo implica a inexistência, portanto não pode existir). Aristóteles, no entanto, apresentou qualidades (ou forças) antagônicas subjacentes de seco contra molhado e frio versus calor na composição de cada um dos quatro elementos (SANTOS, 2008).

A palavra "Mercúrio, Chumbo: Saturno" Depois que o *electrum* foi determinado como uma combinação de prata e ouro, as relações Tin: Jupiter e Mercúrio: Mercúrio foi substituído pela sequência anterior. Mercúrio, Chumbo: Saturno. Depois que o *electrum* foi determinado como uma combinação de prata e ouro, as relações Tin: Jupiter e Mercúrio: Mercúrio foi substituído pela sequência anterior (LEAL, 2009).

Os alquimistas árabes e medievais acreditavam que todos os metais e, de fato, toda matéria sublunar, eram compostos do princípio do enxofre, que carregava a propriedade combustível e o princípio do mercúrio, mãe de todos os metais e transportador da liquidez ou fusibilidade, e as propriedades de volatilidade. Esses princípios não eram necessariamente as substâncias comuns de enxofre e mercúrio encontrados na maioria dos laboratórios (ASSUNÇÃO, 2007).

Esta teoria reforçou a crença de que todos os metais foram destinados a tornar-se ouro nas entranhas da terra através das combinações adequadas de calor, digestão, tempo e eliminação de contaminantes, tudo o que poderia ser desenvolvido e acelerado através do conhecimento e métodos de alquimia. Paracelsus acrescentou o terceiro princípio do sal, transportando as propriedades não voláteis e incombustíveis, na sua doutrina. Essas teorias mantiveram os quatro elementos clássicos como subjacente à composição do enxofre, mercúrio e sal (GREEN, 2010).

O primeiro texto sistemático sobre artes de mineração e metalurgia foi *De la Pirotechnia* de Vannoccio Biringuccio, que trata o exame, a fusão e o trabalho dos metais. Dezesseis anos depois, Georgius Agricola publicou *De Re Metallica* em 1555, um relato claro e completo da profissão de mineração, metalurgia e artes e ciências acessórias, bem como qualificação como o maior tratado sobre a indústria química até o século XVI. Ele deu a seguinte descrição de um metal em seu *De Natura Fossilium* (1546):

O metal é um corpo mineral, por natureza, seja líquido ou um tanto duro. O último pode ser derretido pelo calor do fogo, mas quando esfriou novamente e perdeu todo o calor, torna-se mais difícil novamente e retoma sua forma adequada. A este respeito, ele difere da pedra que derrete no fogo, pois, embora o último recupere sua dureza, ele perde sua forma e propriedades imaculadas. Tradicionalmente, existem seis tipos diferentes de metais, nomeadamente ouro, prata, cobre, ferro, lata e chumbo (LIMA, 2010).

Há realmente outros, pois o mercúrio é um metal, embora os alquimistas estejam em desacordo com o assunto, e também o bismuto.

Os escritores gregos antigos parecem ter ignorado o bismuto, pelo que Ammonius afirma com razão que existem muitas espécies de metais, animais e plantas que nos são desconhecidos. O estíbio, quando fundido no cadinho e refinado, tem todo o direito de ser considerado como um metal apropriado, como o concedido aos escritores. Se, quando funda, certa porção seja adicionada a lata, é produzida uma liga de livreiro a partir da qual o tipo é feito que é usado por aqueles que imprimem livros em papel.

Cada metal tem sua própria forma que preserva quando separada dos metais que foram misturados com ele. Portanto, nem *electricum* nem *Stannum* [não significa nossa lata] é por si só, um metal real, mas sim uma liga de dois metais. *Electrum* é uma liga de ouro e prata, *Stannum* de chumbo e prata. E, no entanto, se a prata se separar do elétron, então o ouro permanece e não *electricum*; Se a prata for tirada de *Stannum*, então os restos de chumbo e não *Stannum*. Se o bronze, no entanto, é encontrado como um metal nativo ou não, Não pode ser verificado com qualquer garantia (STAFF, 2010).

Só conhecemos o bronze artificial, que consiste em cobre matizado com a cor da calamina mineral. E, no entanto, se algum deveria ser desenterrado, seria um metal apropriado. O cobre preto e branco parece ser diferente do tipo vermelho.

O metal, portanto, é, por natureza, sólido, ou fluido como no caso único do mercúrio. Mas o suficiente agora quanto aos tipos simples.

2.1.2. METAIS FERROSOS

O termo "ferroso" é derivado da palavra latina que significa "contendo ferro". Isso pode incluir ferro puro, como ferro forjado, ou uma liga, como o aço. Os metais ferrosos são geralmente magnéticos, mas não exclusivamente (STAFF, 2010 p. 4).

A metalurgia ferrosa é a metalurgia do ferro e suas ligas. Começou muito atrás na pré-história. Os artefatos de ferro sobreviventes mais antigos, a partir do quarto milênio a.C. no Egito, foram feitas a partir de meteoritos de ferro-níquel.

Não se sabe quando ou onde a fundição de ferro dos minérios começou, mas no final do 2º milênio a.C. o ferro estava sendo produzido a partir de minérios de ferro da China para a África Subsaariana.

O uso de ferro forjado (ferro trabalhado) era conhecido pelo primeiro milênio a.C. e sua propagação marcou a Idade do Ferro. Durante o período medieval, os meios foram encontrados na Europa na produção de ferro forjado a partir de ferro fundido (neste contexto, conhecido como ferro-gusa), usando forjarias de ferro. Para todos esses processos, o carvão foi necessário como combustível (GONZALES, 2009).

O aço (com um teor de carbono entre ferro gusa e ferro forjado) foi produzido pela primeira vez na antiguidade como uma liga. Seu processo de produção, aço Wootz, foi exportado antes do século IV a.C. para a antiga China, África, Oriente Médio e Europa. A evidência arqueológica de ferro fundido aparece no século V a.C. na China.

Novos métodos de produção por carburação de barras de ferro no processo de cimentação foram concebidos no século XVII. Durante a Revolução Industrial, foram criados novos métodos de produção de barro sem carvão, que posteriormente foram aplicados para produzir aço, criando uma nova era de uso amplamente aumentado de ferro e aço que alguns contemporâneos descreveram como uma nova Idade do Ferro (GONZALES, 2009).

No final da década de 1850, Henry Bessemer inventou um novo processo siderúrgico, que envolveu o sopro de ar através de ferro gusa fundido para queimar o carbono, e assim produzir aço macio. Este e outros processos do século XIX e posteriores deslocaram o uso do ferro forjado. Hoje, o ferro forjado já não é produzido em uma escala comercial.

2.2. PROPRIEDADES DOS METAIS

Esta seção é dedicada principalmente aos termos usados na descrição de várias propriedades e características dos metais em geral. Por exemplo, uma preocupação primordial na manutenção de aeronaves são as

propriedades gerais dos metais e suas ligas como dureza, fragilidade, maleabilidade, ductilidade, elasticidade, dureza, densidade, fusibilidade, condutividade e contração e expansão (LIMA, 2010).

2.2.1. RESISTÊNCIA MECÂNICA

A resistência do material é a sua capacidade de resistir a uma carga sem ruptura ou grandes deformações. Tal característica é inerente ao material e pode ser observada por diferentes ensaios mecânicos, como pelo ensaio de tração. Este ensaio é um dos mais importantes, pois é possível medir várias propriedades mecânicas do material. Dentre as propriedades mais importantes determinadas pelo ensaio supracitado é a relação entre a deformação média e a tensão média (PURPER, 2016).

2.2.2. DUREZA

A dureza refere-se à capacidade de um metal para resistir à abrasão, penetração, ação de corte ou distorção permanente. A dureza pode ser aumentada ao trabalhar o metal e, no caso do aço, determinadas ligas de titânio e ligas de alumínio, por tratamento térmico e trabalho a frio (discutido mais adiante). As partes estruturais são muitas vezes formadas a partir de metais em seu estado suave e depois tratadas termicamente para endurecê-las para que a forma acabada seja mantida. Dureza e força são propriedades intimamente associadas de todos os metais (CLIMET, 2013).

Um material que possui dureza resistirá a rasgar ou cortar e pode ser esticado ou deformado de outra forma sem quebrar.

2.2.3. FRAGILIDADE

A fragilidade é propriedade de um metal que permite pouca flexão ou deformação sem quebrar. Em outras palavras, um metal quebradiço é capaz de quebrar ou quebrar sem mudança de forma. Como os metais estruturais são frequentemente submetidos a cargas de choque, a fragilidade não é uma

propriedade muito desejável. Ferro fundido, alumínio fundido e aço muito duro são metais frágeis (SOUZA, 2009).

2.2.4. MALEABILIDADE

Um metal que pode ser martelado, enrolado ou pressionado em várias formas sem quebrar, ou outros efeitos prejudiciais é dito maleável. Esta propriedade é necessária em chapa metálica que deve ser trabalhada em formas curvas, tais como coberturas, carenagens e pontas de asa. O cobre é um exemplo de um metal maleável (SOUZA, 2009).

2.2.5. DUCTILIDADE

A ductilidade é propriedade de um metal que permite que ele seja permanentemente desenhado, dobrado ou torcido em várias formas sem quebrar. Esta propriedade é essencial para metais usados na fabricação de fio e tubulação.

Os metais dúcteis são muito utilizados em aeronaves por causa da facilidade de formação e resistência a falhas em cargas de choque. Por esta razão, as ligas de alumínio são usadas para anéis de capuz, fuselagem e pele de asa, e peças formadas como costelas, escamas e anteparas. O aço cromo-molibdênio também é facilmente modelado nas desejadas formas. Ductilidade é semelhante à maleabilidade (ANTUNES, 2012).

2.2.6. ELASTICIDADE

A elasticidade é essa propriedade que permite que um metal volte à sua forma original quando a força que causa a mudança de forma é removida. Esta propriedade é extremamente valiosa, porque seria altamente indesejável ter uma parte permanentemente distorcida depois que uma carga aplicada foi removida. Cada metal tem um ponto conhecido como o limite elástico, além do qual não pode ser carregado sem causar distorção permanente (GABARDO, 2011).

Quando o metal é carregado para além do seu limite elástico a deformação é permanente. Na construção de aeronaves, membros e peças são projetados de tal forma que as cargas máximas a que estão submetidas nunca os estenderão além do limite elástico (LIMA, 2010).

2.2.7. DENSIDADE

A densidade é o peso de um volume unitário de um material. No trabalho de aeronaves, o peso real de um material por polegada cúbica é preferido, pois esta figura pode ser usada para determinar o peso de uma peça antes da fabricação real. A densidade é uma consideração importante ao escolher um material a ser usado no projeto de uma peça e ainda manter o peso e o equilíbrio adequados da aeronave (SOUZA, 2009).

2.2.8. FUSIBILIDADE

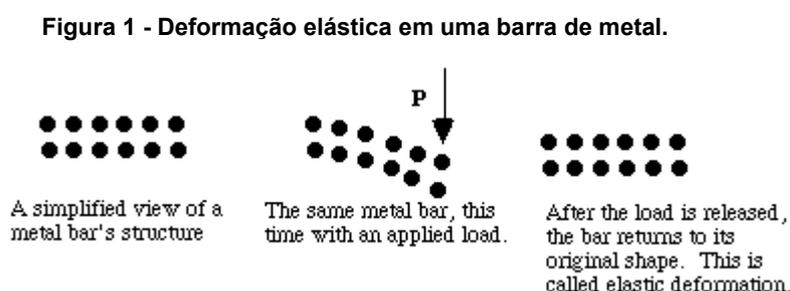
A fusibilidade é definida como a capacidade de um metal se tornar líquido pela aplicação de calor. Os metais são fundidos na soldagem. Os aços se fundem a aproximadamente 2.500° F, e as ligas de alumínio a aproximadamente 1, 110 °F (SOUZA, 2009).

2.2.9. CONDUTIVIDADE

A condutividade é a propriedade que permite que um metal transporte calor ou eletricidade. A condutividade térmica de um metal é especialmente importante na soldagem, porque ele rege a quantidade de calor que será necessária para uma fusão adequada. A condutividade do metal, em certa medida, determina o tipo de gabarito a ser usado para controlar a expansão e a contração. Nas aeronaves, a condutividade elétrica também deve ser considerada em conjunto com a ligação, que é usada para eliminar interferências de rádio. Os metais variam em sua capacidade de conduzir o calor. O cobre, por exemplo (ANTUNES, 2012).

2.2.10. PROPRIEDADES METÁLICAS

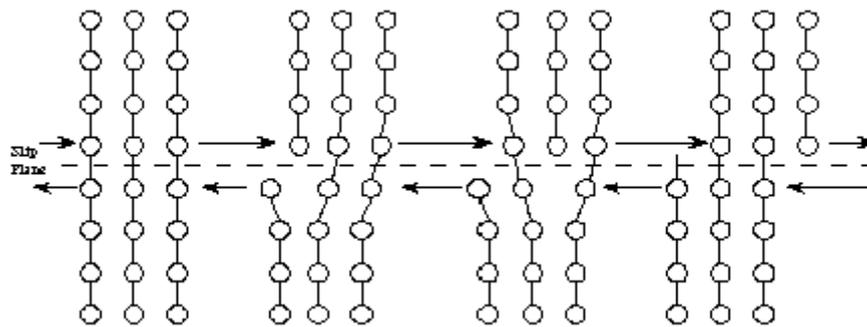
Quando pequenas cargas (tensões) são aplicadas aos metais que se deformam e retornam à sua forma original quando a carga é liberada. Dobrar uma folha de aço é um exemplo em que as ligações são dobradas ou esticadas apenas uma pequena porcentagem. Isso é chamado de deformação elástica e envolve alongamento temporário ou flexão de ligações entre átomos, conforme mostrado na Figura 1 (GRAVAN, 2008).



Fonte: (Gravan, 2008)

Quando são aplicadas tensões mais elevadas, ocorre uma deformação permanente (plástica). Por exemplo, quando um clipe de papel é dobrado uma grande quantidade e depois liberado, ele permanecerá parcialmente curvado. Esta deformação plástica envolve a quebra de ligações, muitas vezes pelo movimento de deslocamentos. Veja a Figura 2. As deslocções movem-se facilmente nos metais, devido à ligação deslocalizada, mas não se movem facilmente na cerâmica. Isso explica amplamente porque os metais são dúcteis, enquanto a cerâmica é frágil (GRAVAN, 2008).

Figura 2 - Movimento de deslocamento em um cristal.



Fonte: (Gravan, 2008)

Conforme Gravan (2008) se colocados sob um estresse muito grande, os metais irão falhar mecanicamente ou fraturar. Isso também pode resultar ao longo do tempo sob muitas pequenas tensões. A razão mais comum (cerca de 80%) para a falha de metal é a fadiga. Através da aplicação e liberação de pequenas tensões (até milhões de vezes) à medida que o metal é usado, pequenas fissuras no metal são formadas e crescem lentamente. Eventualmente, o metal é deformado permanentemente ou quebra (fraturas).

2.3. ENSAIO DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO

Lorenzo (2014) destaca que a relação entre o estresse e a tensão que um material particular exibe é conhecida como a curva de tensão-deformação do material em particular. É único para cada material e é encontrado registrando a quantidade de deformação em diferentes intervalos de carga de tração ou compressão. Essas curvas revelam muitas das propriedades de um material (incluindo dados para estabelecer o Módulo de Elasticidade, E).

As curvas tensão-deformação de vários materiais variam amplamente e diferentes testes de tração realizados no mesmo material produzem resultados diferentes, dependendo da temperatura da amostra por exemplo. É possível, no entanto, distinguir algumas características comuns entre as curvas tensão-deformação de vários grupos de materiais e, nessa base, dividir os materiais em duas grandes categorias; Nomeadamente, os materiais dúcteis e os materiais frágeis (ANTUNES, 2012).

Considere uma barra de área de seção transversal A sendo submetida a forças iguais e opostas F puxando nas extremidades para que a barra esteja sob tensão. O material está experimentando uma tensão definida para ser a proporção da força para a área de seção transversal da barra:

$$\text{tensão} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde F é a força aplicada e A é a área.

Note-se que, para fins de engenharia, muitas vezes assumimos que a área de seção transversal do material não muda durante todo o processo de deformação, o que não é verdade, uma vez que a área real diminuirá enquanto se deforma devido ao pescoço. O que assume a área de seção transversal fixa é denominado "curva de esforço-deformação de engenharia", o último é "curva de tensão-deformação verdadeira". Assim, um ponto que define a verdadeira curva tensão-deformação é deslocado para cima e para a esquerda para definir a curva de esforço-deformação engenharia equivalente. A diferença entre as tensões verdadeiras e de engenharia aumentará com a deformação plástica. Em baixas tensões (como deformação elástica), as diferenças entre as duas são insignificantes (ANTUNES, 2012).

A unidade de tensão SI é o Newton por metro quadrado, que é chamado de pascal.

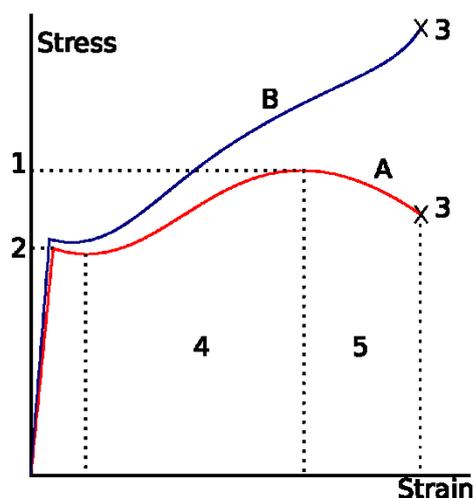
$$1 \text{ pascal} = 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \quad (2)$$

2.3.1. MATERIAIS DUCTEIS

Os materiais dúcteis, que incluem aço estrutural e muitas ligas de outros metais, são caracterizados pela sua capacidade de produzir deformação a temperaturas normais. Pode ser tensionado, torcido ou flexionado sem se romper.

O aço com baixo teor de carbono geralmente exibe uma relação tensão-deformação muito linear até um limite de elasticidade bem definido (Figura 3).

Figura 3 - Uma curva tensão-deformação típica do aço estrutural.



Fonte: (Antunes, 2012)

Onde:

1: Limite de Resistência.

2: Limite de Escoamento.

3: Tensão de Ruptura.

4: Endurecimento por deformação.

5: Estricção.

A: Tensão aparente (F / A_0) – Curva de Engenharia.

B: Tensão real (F / A) – Curva Real.

A porção linear da curva é a região elástica e a inclinação é o módulo de elasticidade ou o Módulo de Young (o Módulo de Young é a proporção da tensão normal para a deformação longitudinal). Muitos materiais dúcteis, incluindo alguns metais, polímeros e cerâmicas exibem um limite de escoamento. O fluxo de plasticidade inicia-se após o limite de escoamento. Em um ponto abaixo, a deformação permanente é distribuída heterogeneamente ao longo da amostra. A deformação que se formou no ponto de escoamento superior se propagará ao longo do comprimento da amostra no ponto de escoamento inferior (BEER, 2009).

Após o limite de escoamento, a curva geralmente diminui ligeiramente devido a deslocamentos que escapam das atmosferas de Cottrell. À medida

que a deformação continua, a tensão aumenta devido ao endurecimento da amostra até atingir a tensão máxima. Até este ponto, a área da seção transversal diminui uniformemente e aleatoriamente devido a contrações de Poisson. O ponto de ruptura real está na mesma linha vertical que o ponto de ruptura visual.

No entanto, para além deste ponto, um pescoço se forma onde a área de seção transversal local torna-se significativamente menor que o original. Se a amostra for submetida a uma força de tração progressivamente crescente, atinge o limite de resistência e, em seguida, o estreitamento e o alongamento ocorre rapidamente até a ruptura. (BEER, 2009).

A aparência de pescoço em materiais dúcteis está associada à instabilidade geométrica no sistema. Devido à inhomogeneidade natural do material, é comum encontrar algumas regiões com pequenas inclusões ou porosidades internas ou na superfície, onde a tensão se concentrará, levando a uma área localmente menor do que outras regiões. Para uma tensão menor do que a tensão limite de resistência, o aumento da taxa de endurecimento do trabalho nesta região será maior do que a taxa de redução da área, tornando esta região mais difícil de deformar do que outras, de modo que a instabilidade seja removida.

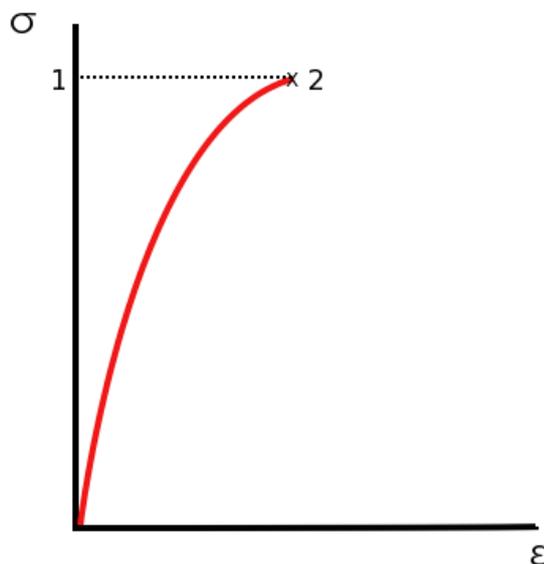
Os materiais têm habilidades para enfraquecer a não homogeneidade antes de atingir a tensão de resistência. No entanto, à medida que a tensão se torna maior, a taxa de endurecimento do trabalho diminuirá, de modo que, por enquanto, a região com área menor é mais fraca do que outra região. Portanto, a redução na área se concentrará nesta região e o pescoço se tornará cada vez mais pronunciado até a ruptura. Após a formação do pescoço nos materiais, a deformação plástica adicional é concentrada no pescoço enquanto o restante do material sofre uma contração elástica devido à diminuição da força de tração (BEER, 2009).

2.3.2. MATERIAIS FRÁGEIS

Materiais frágeis, que incluem ferro fundido, vidro e pedra, são caracterizados pelo fato de que a ruptura ocorre sem qualquer alteração anterior notável na taxa de alongamento (BEER, 2009).

Materiais frágeis, como o concreto ou a fibra de carbono, não têm um limite de escoamento e não endurecem. Portanto, a força máxima e a força de ruptura são as mesmas. Uma curva de tensão-deformação típica é mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Curva tensão-deformação para materiais frágeis.



Fonte: (Antunes, 2012)

Materiais frágeis típicos como o vidro não mostram deformação plástica, mas falham enquanto a deformação é elástica.

Uma das características de uma falha frágil é que as duas partes quebradas podem ser unidas para produzir a mesma forma que o componente original, pois não haverá formação de gargalo, como no caso de materiais dúcteis. Uma curva típica de tensão-deformação para um material quebradiço será linear. Para alguns materiais, como concreto, a resistência à tração é insignificante em comparação com a resistência à compressão e é assumido zero para muitas aplicações de engenharia (BEER, 2009).

As fibras de vidro têm uma resistência à tração mais forte que o aço, mas o vidro a granel geralmente não. Isto é devido ao fator de intensidade do estresse associado a defeitos no material. À medida que o tamanho da amostra aumenta o tamanho dos defeitos também cresce. Em geral, a resistência à tração de uma corda é sempre menor que a soma das resistências à tração de suas fibras individuais. Isto é devido ao fator de intensidade do estresse associado a defeitos no material. À medida que o tamanho da amostra aumenta o tamanho dos defeitos também cresce (ANTUNES, 2012).

Em geral, a resistência à tração de uma corda é sempre menor que a soma das resistências à tração de suas fibras individuais. Isto é devido ao fator de intensidade do estresse associado a defeitos no material. À medida que o tamanho da amostra aumenta o tamanho dos defeitos também cresce. Em geral, a resistência à tração de uma corda é sempre menor que a soma das resistências à tração de suas fibras individuais (ANTUNES, 2012).

2.4. ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE BRINELL

Em 1900, A. Brinell divulgou um ensaio que passou a ser aceito e padronizado em relação aos valores obtidos no ensaio e os resultados de resistência à tração. Este ensaio se dá ao comprimir lentamente uma esfera de aço temperado, de diâmetro D , em uma superfície plana, polida e limpa de um metal, através da carga F , durante um tempo t , produzindo desta forma uma calota esférica de diâmetro d (ESSEL, 2011).

A dureza Brinell é representada pelas letras HB e seu número deve, portanto, ser seguido pelo símbolo HB, sem sufixo, sempre que se tratar do ensaio padronizado com aplicação de carga por 15 segundos.

Utiliza-se o ensaio Brinell para avaliar a dureza de metais não ferrosos, ferro fundido, aço, produtos siderúrgicos em geral e outros. É realizado em equipamento de fácil operação, mas limita-se pela esfera empregada. Ao usar esferas de aço temperado, só pode medir dureza de até 500HB, caso a dureza seja maior danificará a esfera (ESSEL, 2011).

Não deve ser o ensaio realizado em superfícies cilíndricas com raio de curvatura menor que cinco vezes o diâmetro da esfera utilizada. E em alguns materiais pode haver deformação no contorno da impressão, o que causa erros de leituras.

2.5. ENSAIO DE DUREZA DE ROCKWELL

No ano de 1922, Rockwell desenvolveu um método de ensaio de dureza com uso de sistema de pré-carga, apresentando vantagens em relação aos ensaios Brinell, permitindo avaliar a dureza de metais diversos, tanto os moles como os duros (BERTOLDI, 2014).

Levando o nome do seu criador, o ensaio Rockwell, é o processo que mais é utilizado no mundo, por sua rapidez e facilidade de execução.

Na aplicação do método, a carga de ensaio é aplicada em etapas. Inicialmente se aplica uma pré-carga para garantir o contato entre o penetrador e o material de ensaio, em seguida, aplica-se a carga do ensaio propriamente dita. É realizada a leitura do grau de dureza diariamente em um amostrador acoplado à máquina de ensaio, conforme escala predeterminada e adequada à faixa dureza (BERTOLDI, 2014).

Os penetradores são do tipo esférico ou cônico, devendo ser feita a leitura do resultado na escala externa do mostrador, de cor preta. Em equipamentos com mostrador digital, a escala fixada deve ser usada e o valor dado diretamente nesta.

Os ensaios de Rockwell se baseiam na medição da profundidade de um penetrador, sendo subtraída a recuperação elástica pela retirada de uma carga maior e a profundidade causada pela aplicação de uma carga menor (BERTOLDI, 2014).

2.6. NORMAS E DESIGNAÇÕES

Para muitos metais e ligas diferentes vendidos hoje, existem inúmeros sistemas de classificação para manter todos os padrões diretamente dentro da indústria (LACERDA, 2008).

Geralmente, os soldadores referem-se a três corpos-chave quando se trata dos números - o Instituto Americano de Ferro e Aço (AISI), que classifica os aços; A *Society of Automobile Engineers* (SAE), que classifica todos os metais utilizados em veículos automóveis; E a Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (ASME), que supervisiona códigos que pertencem a vasos de pressão, acessórios e tubos.

O *American Petroleum Institute* (API) mantém cerca de 500 padrões próprios. Estes abrangem o setor de petróleo e gás. Enquanto isso, a Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM) compilou mais de 12.000 códigos para vários produtos metálicos. No estoque de alumínio, você pode ver rotulagem da *Aluminium Association* (AA). Algumas agências do governo federal americano possuem seus próprios códigos.

Naturalmente, há um corpo criado para supervisionar todas essas "organizações de desenvolvimento de padrões". É conhecido como o *American National Standards Institute* (ANSI). Na frente global, existe a Organização Internacional de Normalização (ISO), que tenta consolidar vários códigos de estoque nacionais em todo o mundo. Na década de 1970, um Sistema de Numeração Unificada para Metais e Ligas (UNS) foi implementado conjuntamente pela ASTM e SAE.

2.6.1. AÇOS DE CARBONO E LIGADOS

Para a maioria dos trabalhadores do setor de ferro é conhecido como aço carbono, já que toneladas desse material vão para a construção de pontes, elevação e tubulação a cada ano. Este aço começa como óxido de ferro de rochas como hematita e magnetita, e durante o processamento o carbono é adicionado para criar o material que conhecemos como aço.

Em particular, o aço laminado a frio, denominado A36, vem em todas as formas e tamanhos de vigas, então é provável que se veja em um projeto de grande porte. (Laminado a frio significa que o estoque é moldado à temperatura ambiente.) Uma vez instalado em um local de construção, (e muitas vezes mesmo antes disso), esse enquadramento geralmente deve ser soldado. Na fabricação, tanto o aço laminado a frio como o laminado a quente são utilizados em uma variedade de ligas. Uma liga é definida como um elemento separado ou composto adicionado ao metal base (ANTUNES, 2012).

As classificações de moldagem de aço são principalmente da ASTM. O código começa com a letra A, seguido de um número variando de 1 a 1000. Há uma listagem completa das várias especificações no site da ASTM, mas aqui está uma amostragem para estoque comum usado na construção.

A36 / A36M-08 Aço estrutural de carbono

A53 / A53M-10 Tubo, aço, preto e quente, revestido de zinco soldado / sem costura;

A242 / A242M-04 (R2009) Aço estrutural de baixa resistência em liga baixa;

A283 / A283M-03 (R2007) Pratos de aço carbono baixo e intermediário de tensão de tração;

A307-10 Parafusos e parafusos de aço carbono, 60,000 psi Resistência à tração;

A500 / A500M-10 Tubo estrutural de aço carbono soldado e sem costura, frio em rodas e formas;

A501-07 Tubo estrutural de aço carbono soldado e soldado a quente

A992 / A992M-06 Formas de aço estrutural;

Outro sistema de classificação bem utilizado é o código SAE-AISI para aço.

2.6.2. AÇOS INOXIDÁVEIS

A lista de classificações de aço inoxidável é vasta. Felizmente, este metal é facilmente distinguido dos outros, porque números de três dígitos são usados em vez de quatro. A maioria cai nas séries 200, 300, 400, 500 e 600.

O aço inoxidável é fabricado de maneiras diferentes para alcançar propriedades específicas. As categorias principais são austeníticas, martensíticas, ferríticas, endurecimento de precipitação e duplex.

2.6.3. ALUMÍNIO

O estoque de alumínio é classificado com números de quatro dígitos, tal como o aço. As diferentes séries (por exemplo, 1000, 2000, etc.) são divididas de acordo com cada liga adicionada ao alumínio. Como o aço carbono, a série 1000 é a forma não amarrada do metal. No entanto, você notará que o protocolo de numeração para alumínio atribui uma série por liga. (Em aço, as ligas múltiplas podem aparecer em uma série).

Na série 1000 de alumínio, os últimos dois dígitos fornecem a percentagem mínima de alumínio acima de 99%. Por exemplo, a classificação 1325 traduz 99,50% de alumínio mínimo. Em todos os outros casos, os três dígitos após o primeiro número podem significar propriedades diferentes ou outros aditivos para o metal.

1xxx Alumínio - 99% de alumínio puro - Dúctil, resistente à corrosão, soldável, mas não tratável pelo calor. Essas ligas são selecionadas principalmente por sua resistência à corrosão superior, como por exemplo, em tanques e tubulações químicas especializadas, ou por sua excelente condutividade elétricas, como nas aplicações de barras de ônibus. No entanto, eles têm propriedades mecânicas precárias e raramente serão considerados para aplicações estruturais gerais. Estas ligas de base são frequentemente soldadas com material de enchimento correspondente ou com ligas de enchimento 4xxx (STAFF, 2009).

2xxx Alumínio - ligas de cobre - Esta é a liga termelétrica mais comum. As ligas de alumínio e coberto respondem ao tratamento térmico da solução. O

envelhecimento subsequente aumentará a força e a dureza ao diminuir o alongamento. Estes metais são frequentemente soldados com ligas de enchimento de série 2xxx de alta resistência, mas às vezes podem ser soldados com cargas de série 4xxx contendo silício ou silício e cobre, dependendo dos requisitos de aplicação e serviço (STAFF, 2009).

3xxx Alumínio - ligas de manganês - O manganês aumenta a força em solução sólida ou como uma fase intermetálica finamente precipitada. Não tem efeitos adversos na resistência à corrosão (STAFF, 2009).

4xxx Alumínio - ligas de silício - Predominantemente usado como material de enchimento. Enquanto o silício não é tratável pelo calor, várias dessas ligas foram projetadas para ter adições de magnésio ou cobre o que lhes proporciona a capacidade de responder favoravelmente ao tratamento térmico em solução. Tipicamente, estas ligas de enchimento tratáveis pelo calor são usadas quando um componente soldado deve ser submetido a tratamentos térmicos pós-solda (STAFF, 2009).

5xxx Alumínio - ligas de magnésio - As ligas de alumínio e magnésio não são tratáveis pelo calor e podem ser fortalecidas pelo trabalho a frio (endurecimento por deformação). A eficácia do endurecimento do trabalho a frio aumenta quando o teor de magnésio é aumentado. As ligas de base de magnésio são frequentemente soldadas com ligas de enchimento, que são selecionadas após consideração do teor de magnésio do material de base e as condições de aplicação e serviço do componente soldado. As ligas de base com menos de aproximadamente 2,5% de magnésio são frequentemente soldadas com sucesso com as ligas de enchimento da série 5xxx ou 4xxx (STAFF, 2009).

6xxx Alumínio - ligas de magnésio e silício - Encontrado amplamente em toda a indústria de fabricação de soldagem, e incorporado em muitos componentes estruturais. Essas ligas são, naturalmente, solidificantes sensíveis a fissuras e não devem ser soldadas por arco autogenicamente (sem material de enchimento). A adição de quantidades adequadas de material de enchimento durante o processo de soldagem a arco é essencial para proporcionar a diluição do material de base, evitando assim o problema de

rachamento a quente. Os materiais de enchimento 4xxx e 5xxx são mais utilizados (STAFF, 2009).

7xxx Alumínio - ligas de zinco - Essas ligas são frequentemente usadas em aplicações de alto desempenho, como aeronaves, aeroespaciais e equipamentos esportivos competitivos. Como a série de ligas 2xxx, esta série incorpora ligas que são consideradas como candidatas inadequadas para soldagem por arco, e outras, muitas vezes soldadas a arco com sucesso. As ligas comumente soldadas nesta série, como 7005, são predominantemente soldadas com as ligas de enchimento da série 5xxx (STAFF, 2009).

8xxx Alumínio - Outras ligas de alumínio - As ligas de alumínio e lítio foram desenvolvidas para reduzir o peso em aeronaves e estruturas aeroespaciais. Eles são tratáveis pelo calor (STAFF, 2009).

2.6.4. SISTEMA DE NUMERAÇÃO UNIFICADO

Como mencionado acima, o "Sistema de numeração unificado para metais e ligas" (UNS) foi desenvolvido pela ASTM e SAE em um esforço para esclarecer o problema da sopa do alfabeto. Esses códigos começam com "UNS", seguido de uma letra e número de 5 dígitos. Um número UNS não pode substituir totalmente outros códigos, no entanto, não fornece informações completas sobre as propriedades do metal (ELENADRO, 2010).

Elenadro (2010) destaca alguns dos códigos para alguns dos metais mais comuns:

Série UNS:

A00001 a A99999 Alumínio e ligas de alumínio

C00001 a C99999 Cobre e ligas de cobre

D00001 a D99999 Aços de propriedades mecânicos especificados

E00001 a E99999 Metais e ligas de terras raras e de terras raras

F00001 a F99999 Ferros fundidos

G00001 a G99999 Aços de carbono e ligas AISI e SAE (exceto a ferramenta Aços)

H00001 a H99999 AISI e SAE H-aços

2.7. PROCESSAMENTOS E TRATAMENTOS DOS METAIS

Na indústria, o metal fundido é arrefecido para formar o sólido. O metal sólido é então moldado mecanicamente para formar um produto específico. É muito importante controlar como esses passos são realizados porque a deformação térmica e plástica pode afetar fortemente as propriedades mecânicas de um metal (SOUZA, 2009).

2.7.1. EFEITO DE TAMANHO DE GRÃO:

Sabe-se há muito tempo que as propriedades de alguns metais podem ser alteradas por tratamento térmico. Os grãos nos metais tendem a crescer à medida que o metal é aquecido. Um grão pode crescer por átomos migrando de outro grão que eventualmente pode desaparecer. As deslocções não podem cruzar facilmente os limites de grãos, então o tamanho dos grãos determina a facilidade com que as deslocções podem se mover. Como esperado, os metais com grãos pequenos são mais fortes, mas são menos dúcteis (SANTOS, 2015).

2.7.2. ARREFECIMENTO E ENDURECIMENTO:

Há muitas maneiras pelas quais os metais podem ser tratados termicamente. O recozimento é um processo de amaciamento em que os metais são aquecidos e depois deixados arrefecer lentamente. A maioria dos aços pode ser endurecida por aquecimento e extinção (arrefecimento rápido). Este processo foi usado bastante cedo na história do processamento de aço. Na verdade, acreditava-se que os fluidos biológicos produzissem os melhores líquidos de extinção e urina às vezes eram usados. Em algumas civilizações antigas, as lâminas de espadas vermelhas foram às vezes mergulhadas nos corpos de infelizes prisioneiros! Hoje, os metais são extintos em água ou óleo.

Na verdade, a saturação em soluções de água salgada é mais rápida, de modo que os antigos não estavam inteiramente errados (SANTOS, 2015).

A extinção resulta em um metal que é muito difícil, mas também quebradiço. O aquecimento suave de um metal endurecido e que ele deixa arrefecer lentamente irá produzir um metal ainda duro, mas também menos frágil. Este processo é conhecido como temperamento. Isso resulta em muitos pequenos precipitados de Fe_3C no aço, que bloqueiam o movimento de deslocamento que, desse modo, proporcionam o fortalecimento.

2.7.3. TRABALHO A FRIO

Como a deformação plástica resulta do movimento das deslocações, os metais podem ser fortalecidos impedindo esse movimento. Quando um metal é dobrado ou moldado, as luxações são geradas e se movem. À medida que o número de deslocamentos no cristal aumenta, eles ficarão emaranhados ou fixados e não poderão se mover. Isso fortalecerá o metal, dificultando a deformação. Este processo é conhecido como trabalho a frio. Em temperaturas mais elevadas, as deslocações podem ser reorganizadas, então pouco fortalecimento ocorre (SANTOS, 2015).

O aquecimento elimina os efeitos do trabalho a frio. Quando os metais trabalhados a frio são aquecidos, ocorre a recristalização. Os novos grãos se formam e crescem para consumir a porção trabalhada a frio. Os novos grãos têm menos deslocamentos e as propriedades originais são restauradas (BEER, 2009).

2.8. LINGUAGEM JAVA COM O PADRÃO MVC, USANDO A IDE NETBEANS.

Desenvolvida pela Sun Microsystems em 1995, a linguagem Java, embora seja considerada uma tecnologia recente, obteve resultados significativos se destacando em meio ao grupo de programadores mundialmente, se disseminando rapidamente. Desde os primeiros esforços em sua criação, o objetivo principal era contribuir com uma nova geração de computadores portáteis inteligentes capazes de se comunicar entre si.

Esta linguagem começou a ser desenvolvida em 1991, sendo inicialmente mantida como parte do Green Project, cuja finalidade era possibilitar a convergência entre computadores, outros instrumentos eletrônicos e eletrodomésticos. Conforme relata, Luckow e Mello (2010, p. 25): “Na época a linguagem era chamada de Oak (em português, “carvalho”), pois era essa árvore que James Gosling avistava da janela da sede do projeto. O resultado do projeto foi um controle remoto chamado *7 (StarSeven), que tinha uma interface gráfica sensível ao toque e era capaz de interagir com diversos equipamentos. A linguagem Oak, na época, surgiu justamente para controlar internamente esse equipamento”. Esses autores ainda descrevem que o controle remoto não obteve os resultados desejados, pois nesta época, as empresas de TV a cabo e vídeo não mantinham os requisitos para viabilizar o negócio e propiciar sua expansão. Com isso, a linguagem Oak foi adaptada para a plataforma Java.

Dessa maneira, foi instituída uma plataforma de desenvolvimento onde o software poderia ser executado a partir de diversos tipos de equipamentos a partir da linguagem de programação C++. Segundo Braz (2015, p. 04) a linguagem C++ “não permitia realizar com facilidade tudo o que o grupo pretendia. Neste ponto, James Gosling, coordenador do projeto, decidiu criar uma nova linguagem de programação que pudesse atendê-los em suas necessidades”.

Segundo Braz (2015) por ser orientada a objetos, o padrão mais utilizado na construção de softwares, a linguagem Java possibilita o

reaproveitamento de códigos, ampliando a atuação dos sistemas desenvolvidos.

A finalidade orientada a objetos é responsável por propor abstrações do mundo real, oferecendo benefícios como a reutilização do código, bem como dos requisitos, análise, projeto e especificação impactando no aumento da produtividade do sistema, já que melhora a captura de processos, procedimentos e normativas (NASSU, 1999).

A linguagem Java é considerada simples, porém robusta, representando o aperfeiçoamento da linguagem C++, já que elabora programas de maneira mais rápida, minimizando erros. Possui o gerenciamento automático de memória, não havendo necessidade do programador acessar explicitamente uma posição de memória. A alocação e liberação de memória são automatizados a partir de um mecanismo chamado de Garbage Collector (BRAZ, 2015).

O Java é executado a partir da Java Virtual Machine (JVM), em português, Máquina Virtual Java, cuja característica principal é garantir a portabilidade do código a partir do processo de compilação. Neste processo, o programa não é compilado para código de máquina da plataforma, mas em bytecode, que por ser genérico, pode atuar em diferentes sistemas operacionais. Na execução do programa Java, o arquivo bytecode é interpretado pela JVM, havendo uma para cada plataforma. Portanto, para que ocorra a execução do programa, é preciso instalar a JVM no computador (BRAZ, 2015).

Segundo Braz (2015), a tecnologia Java pode ser organizada em três plataformas com atuações bastantes específicas, dentre elas:

- Java 2 Standard Edition (J2SE): constituído por ferramentas e APIs (Application Program Interface) essenciais para qualquer aplicação Java (sendo utilizados também por plataformas diferentes). Ao utilizar apenas a mesma, alcança bons resultados no desenvolvimento de aplicações desktop com ou sem interface gráfica.

- Java 2 Enterprise Edition (J2EE): constituída por ferramentas e APIs para o desenvolvimento de aplicações distribuídas, além de tecnologias tais como RMI, EJB, JMS, etc.
- Java 2 Micro Edition (J2ME): envolve ferramentas e APIs para a criação de aplicações para aparelhos portáteis como palms, celulares, eletrodomésticos, etc.

De acordo com Silva (2015) o processo de programação abrange um conjunto de etapas, dentre elas: Definição das especificações do problema a ser solucionado; Criação de um algoritmo que possibilite a resolução do problema; Codificação do algoritmo através de uma linguagem de programação de alto nível; Documentação do algoritmo, a fim de possibilitar seu entendimento; Aplicação de testes para minimizar erros; Realização de manutenção do programa em longo prazo.

Diante das etapas descritas acima, cabe citar que o desenvolvimento em Java exige a adoção de bons princípios de programação como a modularidade ou abstração procedimental, onde os programas são divididos em módulos mais simples e de menos complexidade. Enquanto a modularidade busca reduzir a complexidade, identificando funcionalidades que proporcionam sua reutilização e partes do programa que precisam de alteração, mas sem impactar no programa como um todo; a abstração destaca apenas o que é fundamental para o projeto.

A orientação a objetos contribui para o gerenciamento dos sistemas, considerando que são extremamente complexos para que seja possível a compreensão dos mesmos de maneira imediata. A omissão dos detalhes deste sistema não essenciais permite o isolamento dos elementos mais importantes. Assim, para alcançar a resolução de um problema através da orientação a objetos, torna-se preciso identificar primeiramente a classe do problema, onde somente após esta fase deverá ser analisado quais os ajustes que serão necessários para manter o bom funcionamento do sistema (NASSU, 1999).

Conforme demonstra Braz (2015), por ser uma linguagem de programação orientada a objetos, os requisitos básicos da programação Java

O servidor web em Java é denominado de Servlet Container, que são “interfaces entre componentes e funcionalidades de baixo nível específicas de uma plataforma. Para uma aplicação web desenvolvida em Java ou um componente corporativo ser executado, eles precisam ser implantados em um container” (FARIA, 2010, p. 14). Também podem ser denominados de servidores de objetos ou de aplicações, já que propiciam serviços de infraestrutura para que os componentes possam ser executados.

Cabe destacar sobre *web services*, que existem várias definições para Web Service, uma delas diz que trata-se de uma interface que implementa serviços que ficam disponíveis na web, outra diz que é uma unidade da lógica do aplicativo que fornece dados e serviços para outros aplicativos, por fim, são serviços disponibilizados na web em que outros possam acessá-los (GRAHAM et al, 2001).

A tecnologia Web Service é “uma aplicação, sem interface gráfica, que expõe via Web, um conjunto de funções ou operações, que podem ser publicadas, num formato específico, para que outras aplicações ou Web Services as possam descobrir e invocar” (MOREIRA, 2005, p. 29).

Existem três principais características que distinguem os Web Services dos demais sistemas distribuídos. O primeiro é uma infraestrutura aberta, que utiliza protocolos abertos como HTTP e XML, que tem grande compatibilidade com os aplicativos existentes tanto na área de redes como formatação de dados e segurança. O segundo é a transparência da linguagem, que independente da linguagem de programação no qual foi desenvolvido um cliente, ele consegue se comunicar com o Web Service. O terceiro é o projeto modular, que permite trabalhar de forma flexível com os tipos de serviços e a integração entre eles (MOREIRA, 2005).

A acessibilidade do Web Service é garantida de maneira programada por meio de um URI, um programa que faz uso de uma mensagem em formato XML, responsável por solicitar a requisição a um Web Service através da rede, recebendo a resposta também em formato XML. As regras relacionadas ao padrão do Web Service determinam o formato da mensagem, especificando a

interface para o local da mensagem enviada, sendo possível descrever as diretrizes para o mapeamento do conteúdo dessas mensagens, seja de entrada ou de saída.

Como servidor, a tecnologia Web Service expõe uma série de aplicabilidades, capazes de implementar qualquer operação padrão direcionada para diferentes sistemas de informação empresarial. Por sua vez, como cliente, a aplicação do Web Service é assegurada através de uma ferramenta chamada de proxy que especifica as diretrizes do Web Service, sendo possível selecionar as atividades a serem realizadas. Demonstra-se então que a interação entre cliente e Web Service é efetuada por meio de mensagens XML, deixando o cliente como indicador do método de execução no servidor e de eventuais parâmetros.

A programação do cliente é desenvolvida através do proxy, cujos objetivos mais importantes neste caso é estabelecer a ligação entre o cliente e o Web Service, além de circundar toda a complexidade das mensagens comunicativas entre ambas as partes, utilizadas na troca de informações e protocolos de transporte. De maneira geral, o cliente necessita se manter ligado ao proxy, pois somente assim poderá se conectar ao Web Service propriamente dito (NEWCOMER, 2002).

De acordo com Douglas (2003) a tecnologia de Web Service pode ser utilizada para inúmeros fins. Dentre os contextos mais comuns de sua utilização estão: desenvolvimento de empresas virtuais; solucionar problemas de integração em organizações B2B; conectar em diferentes aplicações ao mesmo tempo; e conectar aplicações internamente ou externamente.

Os serviços da Web são caracterizados pela sua grande interoperabilidade e extensibilidade, bem como suas descrições processáveis pela máquina, graças ao uso de XML. Os serviços da Web podem ser combinados de forma flexível para conseguir operações complexas. Os programas que fornecem serviços simples podem interagir uns com os outros para oferecer serviços sofisticados de valor agregado (FARIA, 2010).

No nível conceitual, um serviço é um componente de software fornecido através de um ponto de extremidade acessível pela rede. O consumidor de serviços e o provedor usam mensagens para trocar informações de solicitação de chamada e resposta na forma de documentos autocontendo que fazem muito poucas suposições sobre as capacidades tecnológicas do receptor (FARIA, 2010).

Em nível técnico, os serviços da Web podem ser implementados de várias maneiras. Os dois tipos de serviços da Web discutidos nesta seção podem ser distinguidos como serviços web "grandes" e serviços "RESTful" na Web.

No Java EE 6, o JAX-WS fornece a funcionalidade para serviços "grandes" da Web. Os grandes serviços da Web usam mensagens XML que seguem o padrão SOAP (Simple Object Access Protocol), uma linguagem XML que define uma arquitetura de mensagens e formatos de mensagem. Esses sistemas geralmente contêm uma descrição legível por máquina das operações oferecidas pelo serviço, escrito na WSDL (Web Services Description Language), uma linguagem XML para definir interfaces sintaticamente.

O formato de mensagem SOAP e a linguagem de definição de interface WSDL ganharam adoção generalizada. Muitas ferramentas de desenvolvimento, como o NetBeans IDE, podem reduzir a complexidade do desenvolvimento de aplicativos de serviços da Web.

Um design baseado em SOAP deve incluir os seguintes elementos. Um contrato formal deve ser estabelecido para descrever a interface que o serviço da web oferece. O WSDL pode ser usado para descrever os detalhes do contrato, que podem incluir mensagens, operações, ligações e a localização do serviço da Web. Você também pode processar mensagens SOAP em um serviço JAX-WS sem publicar um WSDL.

A arquitetura deve abordar requisitos complexos não funcionais. Muitas especificações de serviços da Web abordam tais requisitos e estabelecem um vocabulário comum para eles. Exemplos incluem transações, segurança, endereçamento, confiança, coordenação e assim por diante.

A arquitetura precisa lidar com processamento assíncrono e invocação. Nesses casos, a infra-estrutura fornecida por padrões, como WSRM (Web Services Reliable Messaging) e APIs, como o JAX-WS, com suporte a invocação assíncrona do lado do cliente, pode ser alavancada fora da caixa (FARIA, 2010).

No Java EE 6, o JAX-RS fornece a funcionalidade para serviços de Web Representational State Transfer (RESTful). O REST é adequado para cenários básicos de integração ad hoc. Os serviços web RESTful, muitas vezes melhor integrados ao HTTP do que os serviços baseados em SOAP, não exigem mensagens XML ou definições de API de serviço WSDL.

O projeto Jersey é a implementação de referência pronta para produção para a especificação JAX-RS. O Jersey implementa suporte para as anotações definidas na especificação JAX-RS, facilitando a criação de serviços web RESTful por parte dos desenvolvedores com Java e Java Virtual Machine (JVM).

Como os serviços da Web RESTful usam os bem conhecidos padrões W3C e Internet Engineering Task Force (IETF) (HTTP, XML, MIME) e possuem uma infraestrutura leve que permite que os serviços sejam construídos com ferramentas mínimas, o desenvolvimento de serviços web RESTful é barato e Assim tem uma barreira muito baixa para a adoção. Pode-se usar uma ferramenta de desenvolvimento como o NetBeans IDE para reduzir ainda mais a complexidade do desenvolvimento de serviços da Web RESTful.

Os serviços da web são completamente apátridas. Um bom teste é considerar se a interação pode sobreviver a um reinício do servidor.

Uma infraestrutura de cache pode ser alavancada para desempenho. Se os dados que o serviço da Web retorna não são gerados dinamicamente e podem ser armazenados em cache, a infra-estrutura de cache que os servidores da Web e outros intermediários proporcionam inerentemente pode ser alavancada para melhorar o desempenho. No entanto, o desenvolvedor deve cuidar porque esses caches estão limitados ao método HTTP GET para a maioria dos servidores.

JAX-WS: endereços QoS requisitos mais comuns que ocorrem na computação empresarial. Quando comparado ao JAX-RS, o JAX-WS torna mais fácil suportar o conjunto de protocolos WS- *, que fornecem padrões de segurança e confiabilidade, entre outras coisas, e interagem com outros clientes e servidores compatíveis com WS (GRAHAM, 2001).

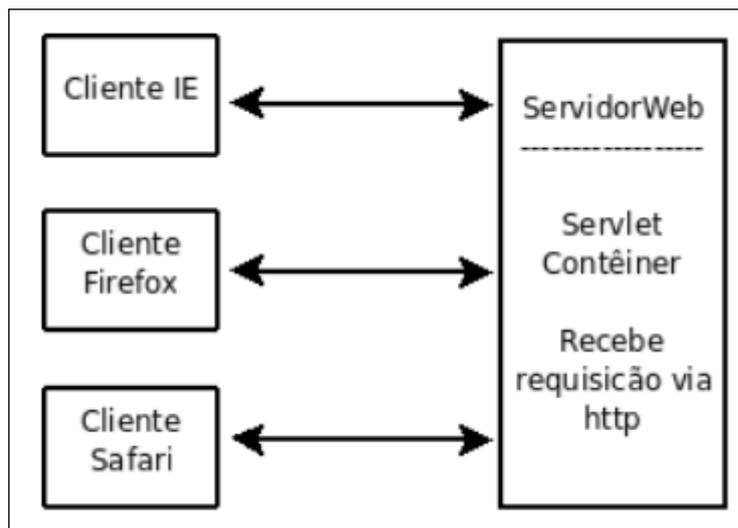
JAX-RS: facilita a escrita de aplicações web que aplicam algumas ou todas as restrições do estilo REST para induzir propriedades desejáveis na aplicação, como acoplamento frouxo (evolução do servidor é mais fácil sem quebrar os clientes existentes), escalabilidade Pequenas e crescem) e simplicidade arquitetural (use componentes off-the-shelf, como proxies ou roteadores HTTP).

Geralmente escolhe-se usar o JAX-RS para a aplicação web porque é mais fácil para muitos tipos de clientes consumir serviços da Web RESTful enquanto habilita o lado do servidor a evoluir e escalar. Os clientes podem optar por consumir alguns ou todos os aspectos do serviço e misturá-lo com outros serviços baseados na web (GRAHAM, 2001)

Assim, entende-se que os Web Service permitem a adoção de uma nova maneira de programar práticas distribuídas, ou seja, otimizar a infraestrutura já mantida pela empresa com a utilização da Internet para garantir alto padrão de flexibilidade e interatividade na troca de informações. Informações essas, que podem se encontrar organizadas e normalizadas por linguagens como HTTP, XML e SOAP, ativando o processo de comunicação empresarial. Dessa maneira, inúmeros obstáculos poderão ser vencidos, como a localização geográfica de seus usuários, plataforma de hardware, linguagem de programação e protocolos (MOREIRA, 2005).

As servlets são reconhecidas como a primeira iniciativa para desenvolver páginas dinâmicas com a linguagem Java, oferecendo uma classe com potencial para gerar conteúdo HTML. Cada servlet é um objeto em Java que recebe as requisições e produz algo, como o conteúdo HTML. A Figura 7 demonstra três clientes acessando o mesmo servidor de acordo com o protocolo HTTP:

Figura 7 - Acesso ao servidor através do protocolo HTML



Fonte: Disponível em: <<https://www.caelum.com.br/apostila-java-web/servlets/#5-2-servlets>>

Neste contexto, a tecnologia Java Server Pages (JSP) é uma tecnologia para o desenvolvimento de páginas da web que suportam conteúdo dinâmico que contribui com os desenvolvedores na inserção de códigos Javas em páginas HTML, através de tags especiais que começam com `<%` e terminam com `%>`.

De acordo com Bergsten (2002) a JSP é considerada dinâmica, pois ao contrário de uma página HTML simples, que possui o conteúdo estático, que sempre permanece o mesmo, uma página JSP pode alterar o seu conteúdo com base em qualquer número de itens variáveis, incluindo a identidade do usuário, tipo de navegador do usuário, as informações fornecidas pelo usuário, e seleções feitas pelo mesmo.

A JSP cumpre o papel de servlet, projetada para ser uma interface de usuário para as aplicações. Com isso você pode coletar a entrada dos usuários com base em formulários de páginas da web e registros de banco de dados, além de criar páginas web de forma dinâmica. As tags JSP podem ser usadas para uma variedade de finalidades, como recuperação de informação, a partir de um banco de dados ou de registro de preferências, acessando componentes JavaBeans (TUTORIALS POINT, 2016).

Segundo Bergsten (2002) quando um usuário solicita uma página JSP, o servidor executa os elementos, mescla os resultados com as partes estáticas

da página, e a envia composta dinamicamente de volta para o navegador. A JSP define uma série de elementos padrão que são úteis para qualquer aplicação web, tais como acessando componentes Java Beans, passando de controle entre páginas e partilha de informação entre os pedidos, páginas e usuários.

Os programadores também podem estender a sintaxe JSP pela implementação de elementos específicos do aplicativo que realizam tarefas como acessar bancos de dados e Enterprise JavaBeans, enviar e-mails e gerar HTML para apresentar dados do aplicativo. Dessa forma, a combinação de elementos padrão e personalizados possibilita a criação de eficientes aplicações web.

Como qualquer tecnologia Java, a JSP precisa de um container para processar as páginas e interceptar os pedidos, proporcionando o ambiente e tempo necessários para que os serviços JSP possam ser executados.

O servidor web cria a página usando JSP a partir dos seguintes passos: Assim como ocorre com uma página normal, o navegador envia uma solicitação HTTP para o servidor web. O servidor web reconhece que a solicitação HTTP é para uma página JSP e encaminha para a máquina virtual. Isto é feito usando o URL ou página JSP. A máquina virtual carrega a página JSP através do disco e converte o mesmo em um conteúdo servlet. Esta conversão é muito simples, sendo os textos convertidos para `println()`, e os elementos JSP em códigos Java que propiciam o comportamento dinâmico da página. É compilado o servlet em uma classe executável e encaminhada a solicitação original para o servlet.

O servidor web com o mecanismo de servlet carrega a classe servlet e passa a executá-la. Durante a execução, o servlet produz uma saída em formato HTML, que o mecanismo transmite para o servidor web dentro de uma resposta HTTP. O servidor web envia a resposta HTTP para o navegador em termos de conteúdo estático. Por fim, o navegador gera dinamicamente dentro da resposta HTTP exatamente como se fosse uma página estática.

Normalmente, verifica-se se um servlet de um arquivo JSP já existe e se a data de modificação na JSP é mais velha que o servlet. Se o JSP é mais velho do que seu servlet gerado, o JSP container assume que o JSP não mudou e que o servlet gerado ainda corresponde ao conteúdo da JSP. Isso torna o processo mais eficiente do que com outras linguagens de script (como o PHP) e, por conseguinte, mais rápido (TUTORIAL POINTS, 2016).

Segundo Bergsten (2002), ao invés de embutir e HTML o código de programação, a JSP permite incorporar elementos ativos especiais em páginas HTML. Estes elementos são semelhantes a elementos HTML, sendo programas Java que o servidor executa quando um usuário solicita a página.

Santos e Jorge (2008, p. 05) afirmam que os scripts “são trechos de código embutidos no código HTML do JSP. Não confundir com Java Scripts. Os scripts em uma página JSP são interpretadores no servidor, enquanto que os Java Scripts são interpretados pelo browser”. Conforme relatam os autores, as declarações utilizadas que servem para estabelecer as variáveis e métodos específicos da página JSP.

Além dos elementos JSP tipo HTML, uma página JSP também pode conter um código Java embutido nos chamados elementos de script. Este recurso tem sido parte da especificação JSP da primeira versão, e costumava ser conveniente para a lógica condicional simples. Com a introdução do novo JSP Standard Tag Library (JSTL), no entanto, o código Java em uma página é raramente necessário. Além disso, a incorporação de muito código em uma página da web não é melhor do que usar elementos HTML em um programa do lado do servidor, e muitas vezes leva a uma aplicação web que é difícil manter e depurar (BERGSTEN, 2002).

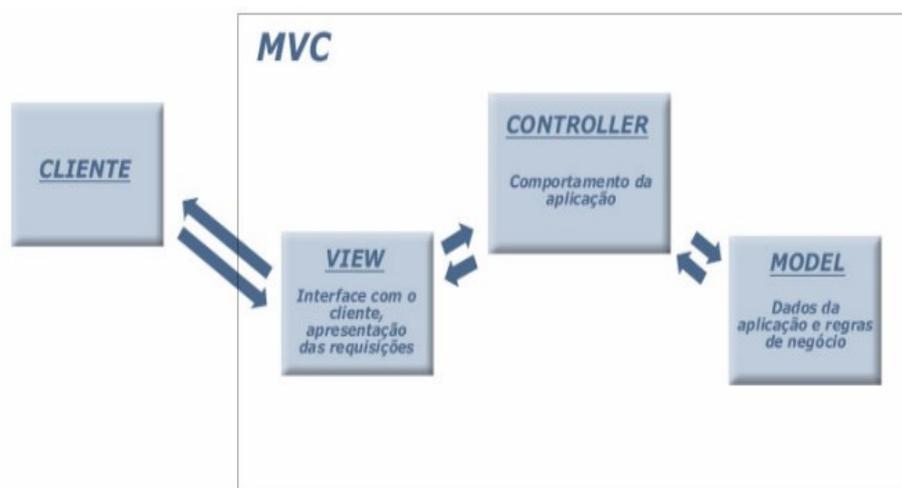
De acordo com o Tutorial Point (2016) a JSP possui o mesmo propósito que programas como o Common Gateway Interface (CGI), porém oferecem várias vantagens quando comparados com o mesmo, dentre elas: - o desempenho é significativamente melhor, pois JSP permite incorporar elementos dinâmicos em páginas HTML; - JSP pode ser sempre compilado antes de ser processado pelo servidor ao contrário de outros programas que

exigem que o servidor carregue um intérprete e script sempre que a página é solicitada. - JSP são construídos a partir de servlets, tendo acesso a todos os APIs necessários; - As páginas JSP podem ser usadas combinadas com sevlets que focam na lógica de negócios; - JSP é parte integrante do J2EE, uma plataforma completa para aplicações de classe empresarial, executando atividades mais simples até mais complexas e exigentes.

Destaca-se neste estudo o desenvolvimento em linguagem Java com o padrão Model, View e Controller (MVC), que de acordo com Cáceres (2012), se trata de um padrão de arquitetura de software que visa separar dados ou lógica de negócios (Model), da Interface do usuário (View) e do fluxo de aplicação (Controller).

Dentre as vantagens de utilizar o padrão MVC, Balthazar et al. (2006) cita a manutenibilidade proporcionada por esse tipo de padrão, visto que fica dividido em módulos específicos, com responsabilidades diferentes e únicas. Além disso, os autores destacam a reusabilidade, visto que uma mesma funcionalidade desenvolvida para uma janela pode ser reutilizada em outras que a requisitem. No que diz respeito à desvantagem, os autores mencionam o tempo de entrega do produto, pois as classes precisam ser organizadas em pacotes, o que obriga aos desenvolvedores a seguir um padrão de desenvolvimento em qualquer parte da aplicação. Para que se tenha melhor noção sobre o padrão MVC, a Figura 8 ilustra sua estrutura:

Figura 8 - Modelo padrão MVC



Fonte: (Balthazar et al., 2006)

De acordo com Luciano e Alves (2011, p. 104):

O sucesso para o desenvolvimento de aplicações orientada a objetos está intimamente ligada á arquitetura que será utilizada na construção da aplicação. A tendência indica que esta arquitetura estará baseada na organização da aplicação em camadas e na observação dos padrões utilizados no mercado. A organização em camadas é a chave para a independência entre os componentes e esta independência é que vai atingir os objetivos de eficiência, escalabilidade, reutilização e facilidade de manutenção. Produzir aplicativos multicamadas num primeiro instante pode parecer mais complexo.

Nesse contexto, o MVC se mostra benéfica para aplicações em java, destacando-se sua capacidade manutenibilidade e reutilidade.

O desenvolvimento de programas pode-se utilizar o ambiente de programação NetBeans, disponível gratuitamente em <http://www.netbeans.org>. Este ambiente possui um IDE profissional com suporte a todos os tipos de aplicações Java.

O primeiro passo é realizar o downloads e instalação de ferramentas que podem ser baixados no site oficial do fabricante, devendo selecionar o sistema operacional para instalar o NetBeans e do servidor de aplicações Java para Web se necessário(BATISTA, 2005).

O NetBeans como um conjunto de bibliotecas, módulos e APIs permite a compilação,depuração e efetuação *deploying* das aplicações.

2.9. SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BANCO DE DADOS RELACIONAL E A MODELAGEM DE DADOS SEGUNDO PETER CHEN

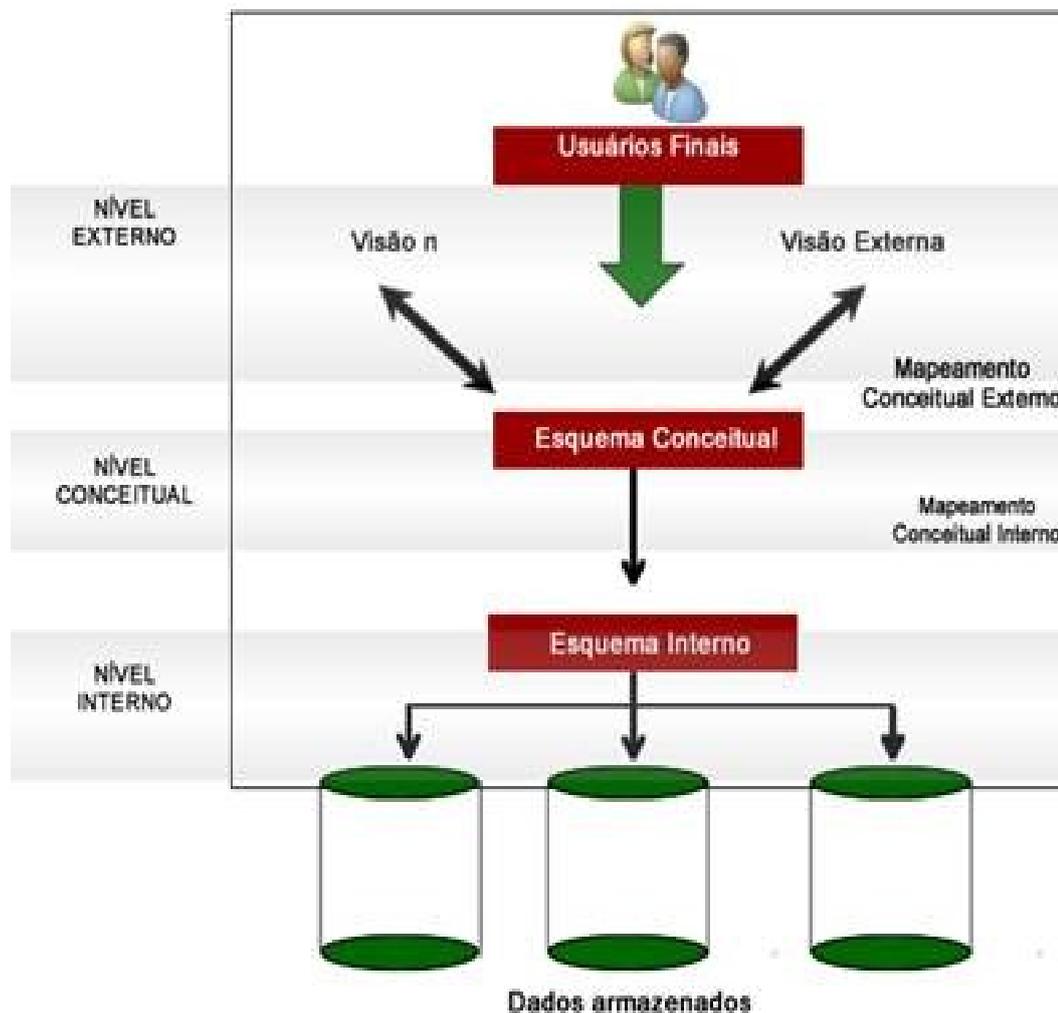
Os Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados Relacionais (SGBDR) tornaram-se componentes onnipresentes do software de aplicação moderno. Por exemplo, O SQLite, o SGBDR leve, é fornecido como um componente do Firefox, Skype, SymbianOS e McAfee Antivírus, entre outros. Dentro muitas dessas aplicações, o SGBDR é usado para armazenar dados cuja integridade e a confidencialidade devem ser rigorosamente mantidos (por exemplo, registros financeiros ou credenciais de segurança) (MALECHA et al., 2009).

Sobre os SGBDR, Mendonça (2006, p. 6):

No modelo relacional, a informação é representada na base de dados como uma coleção de relações. Cada relação pode ser vista como uma tabela. As linhas representam coleções de valores relacionados entre si. Na verdade, uma linha pode ser interpretada como representando uma entidade, através das suas características relevantes, ou uma ligação entre entidades. Os valores numa coluna correspondem todos à mesma característica nas várias linhas. Às colunas está associada uma designação. O nome da tabela e os nomes das colunas exibem habitualmente alguma riqueza semântica, no sentido de auxiliarem na interpretação do respectivo conteúdo. Na terminologia do modelo relacional, cada linha é designada por n-tuplo, o nome de uma coluna é designado por atributo, a tabela por relação e o conjunto de valores que pode aparecer numa dada coluna é designado por domínio. Em sistemas orientados por objetos, todas as entidades são modeladas como objetos. Um objeto é composto por uma parte estrutural (atributos, dados) e por um comportamento (métodos, código). São conhecidas as vantagens do ponto de vista de modularidade, localidade e expressividade deste paradigma. Daí que seja apelativo para os programadores adicionar persistência às suas aplicações, tornando-as capazes de armazenar e recuperar objetos, tal como eles são usados, sem terem que passar por um processo de conversão para outro formato, por exemplo, relacional. Esta é a primeira função que se espera que um SGBD desempenhe. O esforço suplementar de memorizar estruturas mais complexas que os simples dados dos sistemas relacionais é claramente compensado pelas vantagens referidas.

A Figura 9 apresenta um modelo de arquitetura SGBDR:

Figura 9 - Arquitetura SGBDR



Fonte: <http://www.devmedia.com.br/arquitetura-de-um-sgbd/25007>.

Limitam-se esses sistemas pela dificuldade de dimensionar seus bancos de dados, pela dificuldade de configurar e manter os custos administrativos, problemas com seleção tendo o aumento dos sistemas de banco de dados especializados para mercados específicos e por custos desnecessários, que resulta em um excesso de recursos durante as fases de *pico-off*.

Dentre as formas de modelagem de dados cita-se a Modelagem Entidade-Relacionamento (MER) proposta por Peter Chen. De acordo com Chen (1976), este modelo se trata de uma técnica diagramática especial, sendo introduzido como uma ferramenta para o projeto de banco de dados. Em uma publicação mais recente, Chen (2002) afirma que se trata de uma das mais importantes ferramentas de modelagem de dados.

Descrevendo o MER, Alexandruk (2011, p. 10) afirma:

Um MER é um modelo formal, preciso, não ambíguo. Isto significa que diferentes leitores de um mesmo MER devem sempre entender exatamente o mesmo. Tanto é assim, que um MER pode ser usado como entrada de uma ferramenta CASE (*Computer Aided Software Engineering*) relacional na geração de um banco de dados relacional.

Ressalta-se que esse modelo descreve os dados como entidades, relacionamentos e atributos. De acordo com Alexandruk (2011), as entidades se configuram como um conjunto de objetos da realidade modelada sobre os quais se deseja manter informações no banco de dados, sendo estes perceptíveis ou manipuláveis. Já os atributos são os dados que estão associados a cada ocorrência de uma entidade ou de um relacionamento. Enquanto os relacionamentos se configuram como uma associação entre duas ou mais entidades.

Os dados são descritos dessa forma com o Diagrama de Entidade-Relacionamento (DER), que auxilia no MER. Song e Froehlich (1995) elucidam que se trata de uma representação gráfica de um domínio problemático sendo modelado. Essa ferramenta auxilia o designer de banco de dados na identificação dos dados e das regras a serem consideradas para modelagem dos dados, além disso, facilita a comunicação entre o usuário final e o analista.

Rodrigues (2004, p. 6) assim descreve o DER:

A estrutura lógica geral de um banco de dados pode ser expressa graficamente por um Diagrama de Entidade-Relacionamento. É uma representação gráfica do modelo ou parte do modelo. De acordo com o grau de complexidade do negócio ou o nível de detalhamento impresso pelo projetista do banco, um modelo pode ser representado por vários diagramas. Um DER utiliza-se de um número de elementos gráficos.

Não existe um único padrão para representação desse diagrama, destacando-se nesta pesquisa o modelo proposto por Peter Chen (1976), que inclui como componentes as formas apresentadas na Tabela 1.

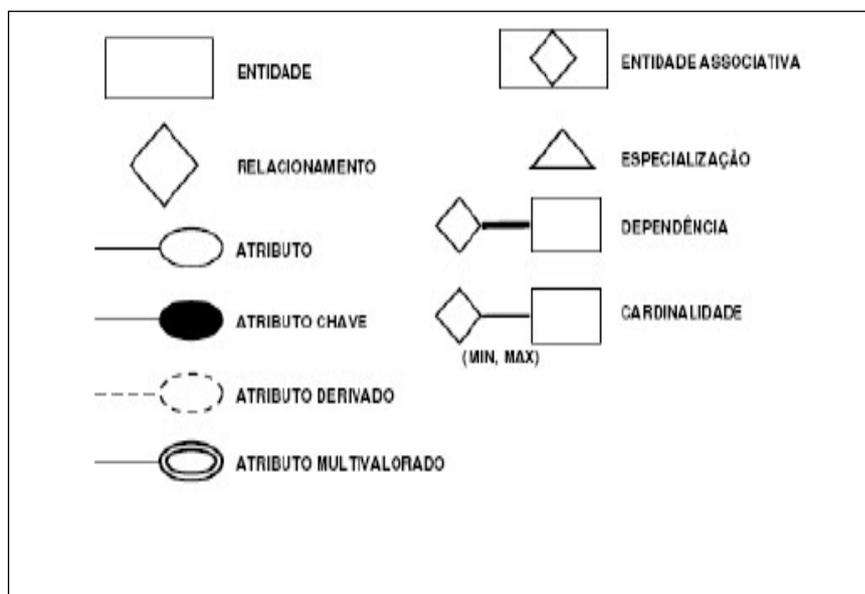
Tabela 1 - Componentes de um DER

Retângulos:	Representam as entidades
Losangos:	Representam os relacionamentos
Elipses:	Representam os atributos
Linhas:	Ligam atributos a entidades e entidades a relacionamentos.

Fonte: (Rodrigues, 2004).

Para melhor entendimento, Figura 10 ilustra os componentes:

Figura 10 - Ilustração gráfica dos componentes de um DER



Fonte: (Alexandruk, 2011)

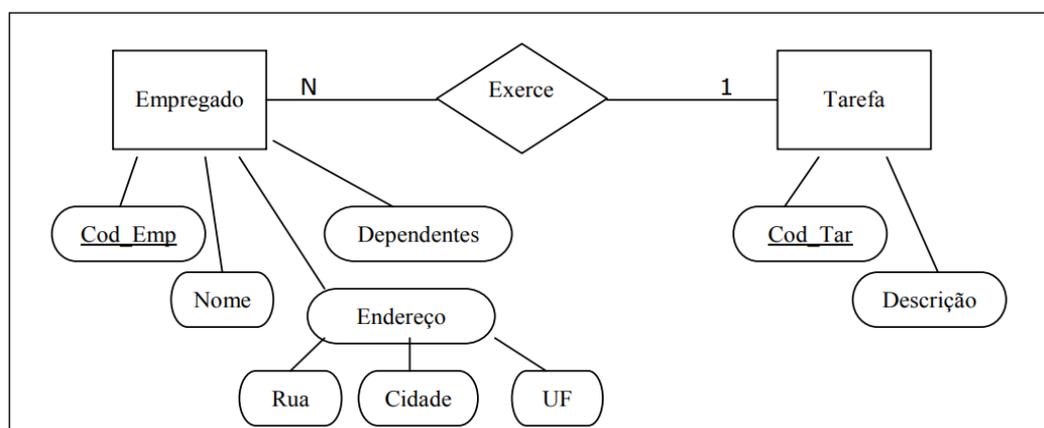
Como é possível observar na Figura 10, o atributo pode se apresentar ainda como: atributo-chave, que de acordo com Setzer e Corrêa (2005, p. 31), se configura como aquele que “dado um conjunto de entidades, não há duas entidades desse conjunto com o mesmo valor para aquele atributo”, isto é, ele identifica de forma parecida cada ente no conjunto de entidades; atributo derivado, que é aquele que pode ser obtido de outro atributo, como bem afirmam Silberschatz, Korth e Sudarshan (1999, p. 24): “o valor desse tipo de atributo pode ser derivado de outros atributos ou entidades a ele relacionados”; e atributo multivalorado, que se trata daquele que assume um único valor para determinada entidade, podendo ele ter n valores para uma mesma entidade.

Importante destacar, ainda, a entidade associativa que consiste na redefinição de um relacionamento, que também deve ser tratado como uma

entidade. Por sua vez, a especialização se trata de propriedades particulares atribuídas a um subconjunto de ocorrências, podendo elas serem total (para cada ocorrência de uma entidade genérica existe sempre uma ocorrência) ou parcial (nem toda ocorrência da entidade genérica possui uma ocorrência correspondente). O componente dependência é aquele que, como o próprio nome já sugere, forma uma relação de dependência, podendo ela ser funcional ou multivalorada. Por fim, a cardinalidade se trata do número mínimo ou máximo de ocorrência de entidades associadas a uma ocorrência da mesma (ALEXANDRUK, 2011).

A Figura 11 exemplifica um DER segundo o padrão de Peter Chen:

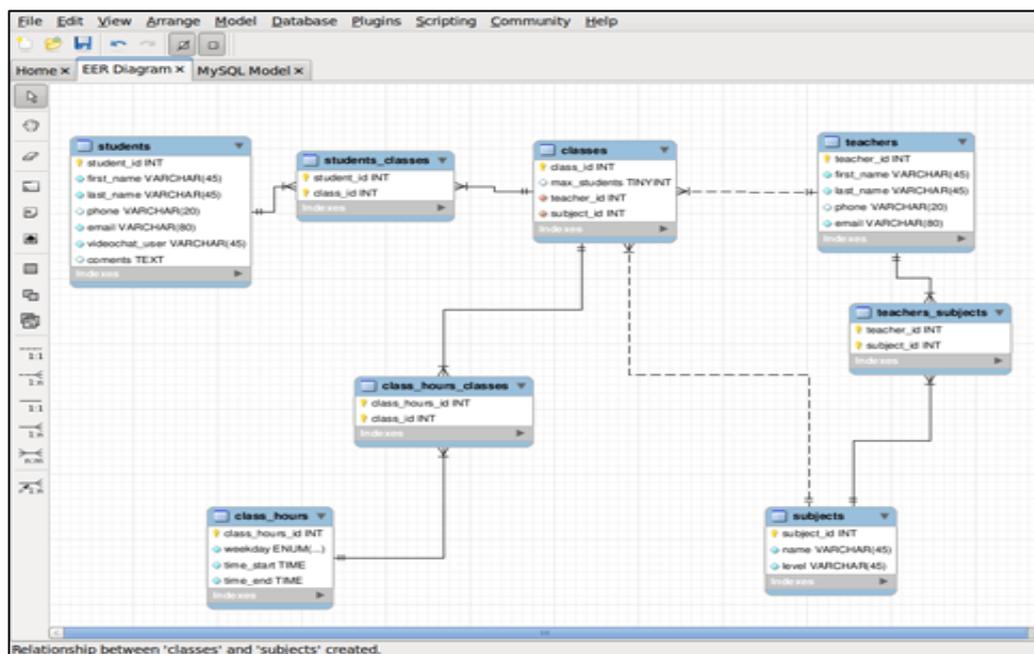
Figura 11 - Exemplo de DER segundo Peter Chen



Fonte: (Rodrigues, 2004)

No que diz respeito às ferramentas de modelagem de dados SGBD cita-se como uma das gratuitas mais utilizadas a MySQL Worlbench, sendo ideal para pequenos e médios projetos, por sua usabilidade tanto é utilizada por quem está iniciando quanto por quem já tem experiência em modelagem. A Figura 12 ilustra esta ferramenta:

Figura 12 - MySQL Worlbench



Fonte: (BeCode, 2017)

Outra ferramenta para modelagem de dados em ER é o Astah Professional, utilizado, geralmente, por profissionais já inseridos no mercado, sendo muito conhecido por desenvolvedores em Java.

Destaca-se o Firebird, que se apresenta como um excelente gerenciador banco de dados, capaz de gerir desde bases de dados pequenas até dezenas de gigabytes, mantendo a mesma performance. Sobre o uso desse software, Werner (2004) afirma que se trata de um gerenciador de banco de dados de alta performance. Nesse mesmo sentido, Gonçalves (2006, p. 5) assim descreve esse SGBD:

O Firebird possui duas versões: a versão SuperServer a versão Classic. Entre as duas, a diferença está na forma como está estruturado o gerenciamento das conexões dos clientes. Na versão SuperServer, os recursos (valores recuperados do disco, consultas feitas) são compartilhados por todos os clientes conectados. Já na versão Classic, cada cliente tem sua própria "instância do banco de dados" e comunicam-se entre si através de um gerenciador de transações (fb lock mgr). Nenhuma das duas versões é melhor ou pior, cada uma adequa-se melhor a cada caso. Para determinadas situações a versão SuperServer é melhor (pouca memória no servidor, número médio ou pequeno de clientes conectados, computador uniprocessado). Em outras situações a versão Classic sai-se melhor (muita memória disponível, computadores multiprocessados). A vantagem da versão Classic é tratar os usuários de forma independente, podendo melhor balancear os usuários entre os recursos do servidor. Uma desvantagem da mesma é gerar um

“stress” maior para determinados pontos do banco de dados compartilhados entre diversos usuários (como por exemplo, a tabela CL PREFERENCIAS. Em sistemas Windows, o Firebird pode ser instalado tanto como um aplicativo (ficando ao lado do relógio) ou como um serviço, não visível ao usuário. No Linux, ele sempre ocupa a pasta /opt/firebird/ e pode ser executando tanto como um serviço (/etc/init.d/firebird como no caso da versão SuperServer como também como um processo de sistema xinetd (/etc/xinet.d/firebird). Entre as formas SuperServer e Classic muda a forma como para-se ou inicia-se o banco de dados.

Importante mencionar, com base em Rodrigues (2008), que o SGBD Firebird é estruturado em tabelas de sistemas, as quais podem ser identificadas por se iniciarem com as iniciais RDB, a Figura 13 apresenta exemplos de tabelas existentes:

Figura 13 - Tabelas de Sistema – SGBD Firebird

- *[RDB\$RELATIONS]* Esta tabela contém os dados básicos de todas as tabelas do banco de dados. Por exemplo, para obter o nome de todas as tabelas do banco de dados, podemos executar o SQL: `select rdb$relation_name from rdb$relations.`
- *[RDB\$RELATION_FIELDS]* Esta tabela contém os campos que uma determinada tabela possui. Por exemplo, para obter o nome de todos os campos de uma tabela, podemos executar o SQL: `select rdb$field_name from rdb$relation_fields where rdb$relation_name='CL_USUARIO'`.
- *[RDB\$FIELDS]* Esta tabela contém a definição dos campos das tabelas do banco de dados. A tabela *RDB\$RELATION_NAMES* contém apenas o nome dos campos e uma referência ao tipo do campo, um registro da tabela *RDB\$FIELDS*. Por exemplo, é através desta tabela que o *PowerConnection* consegue determinar como deve gerar as triggers que fazem a replicação dos dados (identificando o tipo de dados de cada campo corretamente).
- *[RDB\$INDICES]* Aqui ficam armazenadas as informações sobre os índices do banco de dados. Através desta tabela pode-se determinar os índices de uma dada tabela (`select rdb$index_name from rdb$indices where rdb$relation_name='CL_USUARIO'`) assim como determinar também se um dado índice de uma tabela está ativo ou não (`select rdb$index_name from rdb$indices where rdb$relation_name='CL_USUARIO' and rdb$index_inactive=1`).
- *[RDB\$INDEX_SEGMENTS]* Aqui ficam armazenados os campos que compõem um índice. Para obter os campos que compõem um dado índice, podemos usar o seguinte sql: `select rdb$field_name from rdb$index_segments where rdb$index_name='PK_CENTROCUSTOS'`.
- *[RDB\$TRIGGERS]* Nesta tabela ficam armazenadas as informações sobre as triggers do sistema. Para determinar por exemplo as triggers de uma tabela, podemos usar o sql `select rdb$trigger_name from rdb$triggers where rdb$relation_name='CL_USUARIO'`.
- *[RDB\$GENERATORS]* Nesta tabela ficam armazenadas as informações sobre os *generators* que existem no banco de dados. Para saber o nome dos *generators* que existem

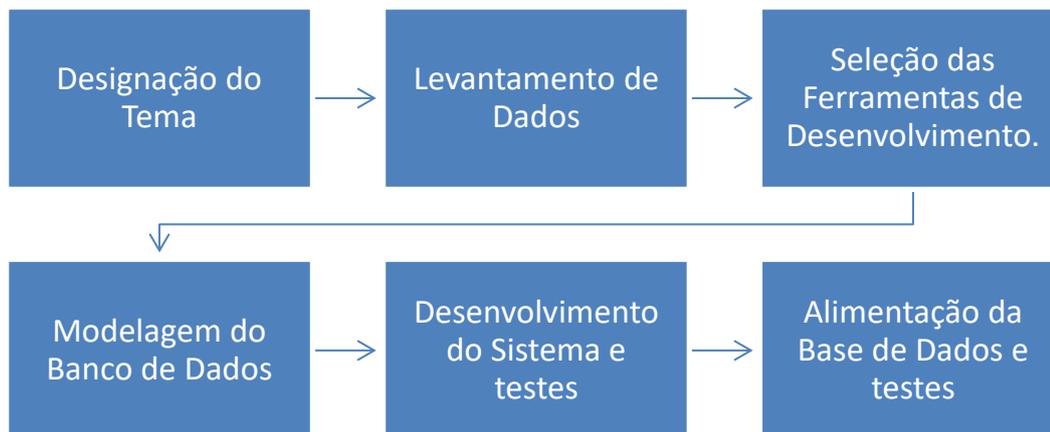
Fonte: (Gonçalves, 2006)

Como se verifica, o Firebird se configura como um SGBD de alta performance, que se destaca pela sua facilidade de uso e disponibilidade. Ressalta-se que se trata de um software totalmente gratuito, tratando-se de um software livre que utiliza a licença GPL - *General Public Licence*, impedindo que este software seja integrado a uma solução proprietária.

3. METODOLOGIA

Uma visão geral da metodologia utilizada neste trabalho pode ser vista através do fluxograma na Figura 14:

Figura 14: Fluxograma da Metodologia



Fonte: (Autor, 2017)

3.1. DESIGNAÇÃO DO TEMA

Pesquisadores, alunos engenheiros e técnicos, necessitam constantemente consultar as bases de dados tradicionais, para embasar e nortear seus projetos, pesquisas e desenvolvimento de produtos. Muitos projetos, tanto acadêmicos, quanto industriais, necessitam selecionar determinados materiais que atendam faixas de propriedades e características, para aplicações específicas, além da importância em obter imagens das microestruturas assim como curvas de comportamento mecânico.

O Tema selecionado neste trabalho repousa sobre a construção de banco de dados e imagens utilizando um sistema de busca conectado a sistema de geração de curvas visando suprir as necessidades de processo.

3.2. LEVANTAMENTO DE DADOS

Os dados necessários para a análise e desenvolvimento do software foram levantados a partir de pesquisa em artigos, manuais, periódicos, livros e Normas.

Normas consultadas:

- ASTM (American Society for Testing and Materials).
- ASME (American Society of Mechanical Engineers).
- ASM (American Society for Metals).
- AISI (American Iron and Steel Institute).
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Para o desenvolvimento foram utilizados:

- Firebird 3.0, um SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados) de licença livre para implementação do banco de dados modelado.
- JDK 8 (Java Development Kit v.8), kit de desenvolvimento da linguagem Java na versão 8, utilizado para o desenvolvimento dos algoritmos de busca e geração de curvas de comportamento mecânico, assim como a interface dos usuários de consulta e gerenciamento do banco de dados.
- JFreeChart, uma biblioteca 100% gratuita de gráficos Java que facilita a visualização de gráficos com qualidade, utilizada para a exibição das curvas geradas pelo software.
- NetBeans 8.2 IDE (Integrated development Environment), utilizado como interface de desenvolvimento, programação e design.

3.3. SELEÇÃO DAS FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

De acordo com a FSFeurope, 2017, o termo Livre, no Software Livre faz referência à liberdade e não ao valor monetário. E é usado nesse sentido desde meados de 1980. Software Livre é definido por quatro liberdades:

1. A liberdade de executar o programa com qualquer finalidade.
2. A liberdade de estudar o funcionamento do programa e poder adaptá-lo às necessidades do usuário ou desenvolvedor.
3. A liberdade de redistribuição de cópias para poder ajudar a outros.
4. A liberdade de aperfeiçoar e melhorar o software, para benefício de toda a comunidade.

A seleção das ferramentas para o desenvolvimento do software e do banco de dados levou em consideração a possível distribuição gratuita ou comercial dos produtos. É importante que a instituição UniFOA tenha liberdade de licença, ficando à cargo da mesma determinar a melhor forma para utilizar e disponibilizar tanto a base de dados como o software de gerenciamento e busca.

A escolha do SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados), inicialmente, é baseada em licença livre. De todos os SGBDs ditos livres, o Firebird é uma das poucas opções que podem ser utilizadas comercialmente sem a necessidade de custos de registro (Firebird Foudation, 2005). Outros como o MySQL e PostGree, são livres enquanto a aplicação não for usada comercialmente, do contrário é necessário pagar por uma licença comercial

A escolha da Linguagem de Programação também sofreu o mesmo critério. JAVA versão 8 é uma linguagem de código aberto e de livre acesso (ORACLE, 2015). Além de ser amplamente utilizada em universidades, cursos técnicos e empresas, possui grande aceitação e por isso apresenta um código de fácil manutenção.

O NetBeans 8.2 foi escolhido como IDE (Integreted Develpment Environment) para o desenvolvimento do software, por sua flexibilidade de ferramentas e licença livre (ORACLE, 2016).

3.4. MODELAGEM DO BANCO DE DADOS.

Para modelar o banco de dados utilizando o modelo proposto por Peter Chen (1990), foram levadas em consideração apenas as informações importantes de se armazenar e suas relações diretas e indiretas com metais ferrosos.

Para que o banco seja independente, limpo, flexível, leve e de fácil manipulação as seguintes diretivas nortearam sua modelagem:

- 1- Os metais serão identificados pelo SAE Number.
- 2- Os metais são compostos de elementos químicos em quantidades mínimas e máximas.
- 3- As imagens e microestruturas devem ser armazenadas completamente no banco de dados e não apenas o seu link de armazenamento.
- 4- As propriedades contempladas não devem ser fixas, podendo variar de acordo com o material ou com a informação que se tenha do mesmo.
- 5- Cada valor de propriedade pode ser representado com unidades de medidas diferentes.
- 6- Os metais podem mudar suas imagens, microestruturas e propriedades de acordo com o tratamento que recebem e a temperatura de processamento.

O Diagrama de Entidade e Relacionamento (DER), que é o diagrama específico para a modelagem do Banco de Dados Relacional, irá representar esta modelagem.

3.5. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA E TESTES

O Desenvolvimento do software segue os padrões de OO (Orientação a Objetos) com o modelo MVC (model, view and control), utilizando para a análise a metodologia UML (Unified Modeling Language) segundo Fowler (2005). E são suficientes para este fim o Caso de Uso, a Descrição do Caso de Uso e o Diagrama de Classes.

Os testes serão efetuados durante cada etapa de desenvolvimento, assim como cada módulo desenvolvido até que produzam os resultados esperados.

Para realizar os testes do algoritmo de geração de curva, três amostras de aços diferentes foram selecionadas aleatoriamente, HX 300 LAD, 240 B2 e 340 LA, cortadas e usinadas como corpos de prova para ensaio de resistência a tração, conforme norma ASTM E 8M (2002). Mensuradas conforme Tabela 2 e então ensaiadas na máquina EMIC DL10000 de 100kN do laboratório de ensaios de materiais da UniFOA campos Olezio Galotti, com o programa TESC para geração da curva.

Tabela 2 - Dimensões das amostras para ensaio de resistência a tração.

Legenda	Material	Base	Área
CP1	HX 300 LAD	80 mm	40.20 mm ²
CP2	240 B2	50 mm	18.22 mm ²
CP3	340 LA	50 mm	10.83 mm ²

Fonte: (Autor, 2017)

A matriz de dados de cada ensaio foi exportada como arquivo texto para construção da curva original dentro do programa desenvolvido.

Os aços selecionados, não necessitam de mais especificações, já que o importante para os testes é a comparação das curvas geradas pelo

equipamento de ensaio e as curvas geradas pelo algoritmo de geração de curva do programa desenvolvido.

3.6. ALIMENTAÇÃO DA BASE DE DADOS E TESTES

Inicialmente, o banco de dados será alimentado com as informações básicas e necessárias para sua utilização. Posteriormente serão inseridos dados dos manuais oficiais de metais para testes de gerenciamento dos dados. Em fase de implementação com o cliente, serão utilizadas informações não só de manuais como também dos trabalhos de caracterização publicados pela instituição acadêmica.

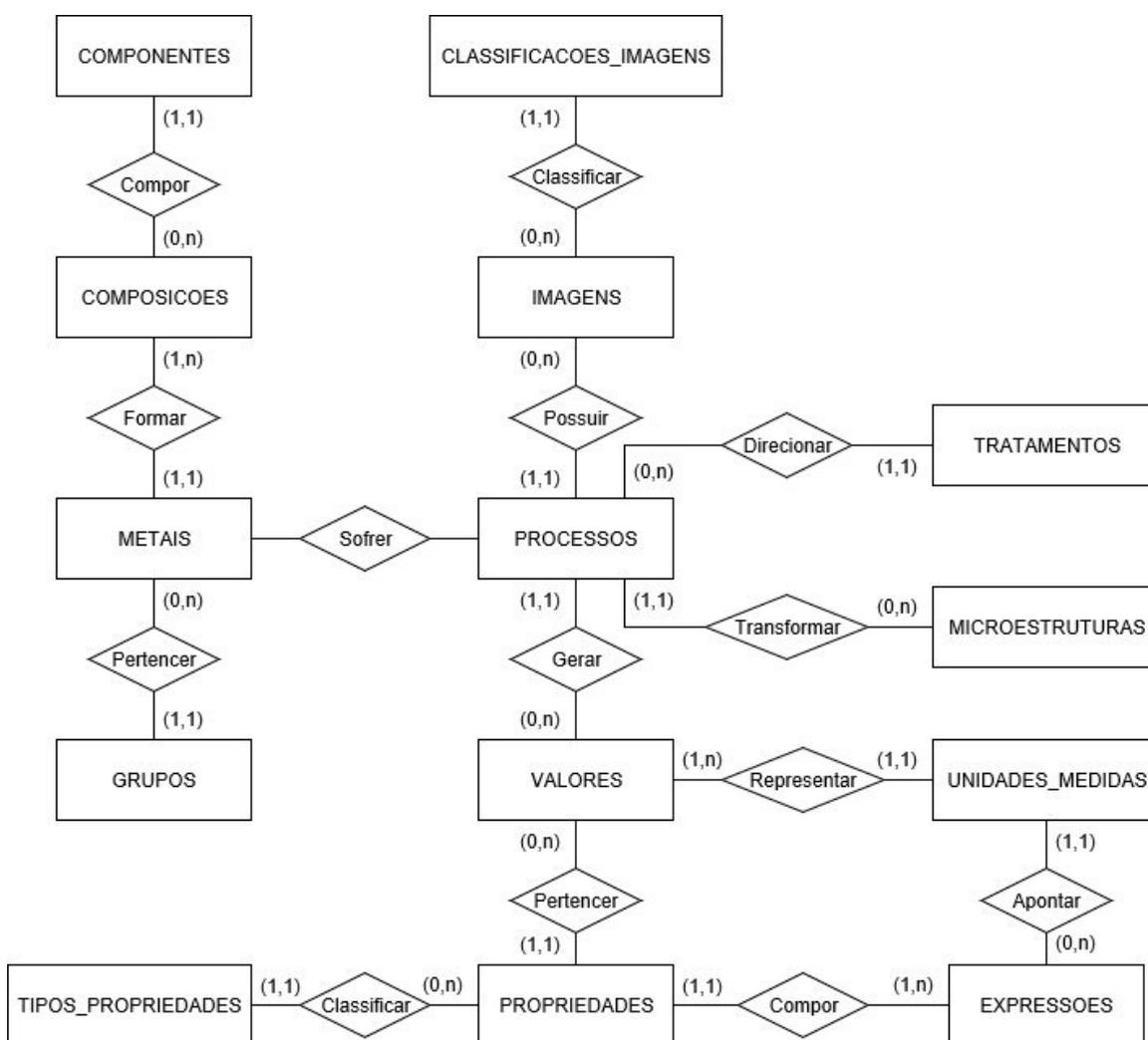
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. O BANCO DE DADOS

4.1.1. DIAGRAMA DE ENTIDADE E RELACIONAMENTO (DER)

Diagrama de Entidade e Relacionamento do banco de dados proposto com notação de Peter Chen (1990) ilustrada na Figura 10.

Figura 15 - DER Simplificado do Banco de Dados.



Fonte: (Autor, 2017)

O DER da **Erro! Autoreferência de indicador não válida.**, representa o modelo de dados proposto, onde: cada Metal é composto de um ou vários

Componentes e pertence a apenas um Grupo obrigatoriamente. O Metal por sua vez, sofre algum processo de transformação com um tratamento específico. O Processo transforma a estrutura do Metal que passa a ter Valores de Propriedades e Microestruturas diferentes. Cada Metal Processado pode possuir imagens de diversas Classificações relacionadas a ele. As Propriedades são classificadas por Tipos e podem aceitar uma lista de Unidades de Medias específica, mas seu Valor pode ser escrito em apenas uma.

4.1.2. DESCRIÇÃO DAS ENTIDADES E RELACIONAMENTOS

Para melhor detalhar, compreender, estruturar e promover a implantação do modelo de banco de dados proposto no SGBD escolhido é preciso compor o modelo físico (Chen, 1990).

No modelo físico, cada Entidade é convertida em Tabela, que será composta de colunas, representando os campos ou atributos da Entidade; e linhas, destinadas aos registros de ocorrência.

Para detalhar cada Tabela/Entidade, será usada uma tabela de detalhamento (dicionário de dados) com o nome da Entidade no topo e sete informações essenciais:

CAMPO: Nome do campo na Tabela/Entidade, representando uma coluna específica.

TIPO: Tipo de dados permitido para determinado campo e seu tamanho entre parênteses se necessário. Os tipos podem ser:

1. Inteiro: Intervalo de números inteiros entre -2^{31} (-2,147,483,648) e $2^{31} - 1$ (2.147.483.647). São necessários 4 bytes de armazenamento.
2. Inteiro Longo: Intervalo de números inteiros entre -2^{63} (-9.223.372.036.854.775.808) e $2^{64}-1$ (9.223.372.036.854.775.807). São necessários 8 bytes de armazenamento.

3. Float: Números em ponto flutuante com precisão de -1.79×10^{308} até 1.79×10^{308} . São necessários 4 bytes de armazenamento.
4. Char(n): Conjunto de caracteres alfanuméricos de tamanho fixo, determinado por n . Sendo $n = 10$, por exemplo, mesmo que o valor armazenado for de tamanho igual a 5, serão armazenados 10 caracteres, 5 do valor e 5 em branco. São necessários n bytes de armazenamento.
5. Varchar(n): Conjunto de caracteres alfanuméricos de tamanho variável, determinado por n . Sendo $n = 10$, por exemplo, e o valor armazenado for de tamanho igual a 5, serão armazenados somente os 5 caracteres, desprezando os outros 5 excedentes. São necessários n bytes de armazenamento no máximo.
6. Blob: Grande quantidade variável de caracteres ou bytes. Pode armazenar valores alfanuméricos de 0 a 65535 caracteres, assim como imagens e outros arquivos. São necessários 65537 bytes de armazenamento no máximo.

ACEITA NULO: Se o campo aceita valores nulos ou não. Quando um campo aceita valores nulos, seu valor no registro não é de preenchimento obrigatório.

CHAVE: Se o campo é uma chave ou não. Basicamente dois tipos de chaves serão especificados.

1. Primária: Quando um campo é chave primária, ele deve possuir um valor único entre todos os registros ocorrentes na Tabela, representando assim a ocorrência unicamente, como por exemplo, um código de produto ou matrícula de funcionário, cuja pode haver duas iguais na mesma empresa.
2. Estrangeira(Tabela): A chave estrangeira não precisa necessariamente ser única em valor na Tabela de registros, embora também o possa ser. É usada especificamente para promover o relacionamento entre duas Tabelas/Entidade.

Entre parênteses estará o nome da Tabela/Entidade com a qual será relacionada.

PADRÃO: Descreve o valor padrão no registro quando não informado. O valor auto numeração aparecerá para campos inteiros que não precisam ser preenchidos, pois receberão um número, a iniciar de 1(um), crescendo de 1 em 1 para cada novo registro.

BYTES: Informa quantos bytes de memória são necessários para o armazenamento do referido campo.

TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO: Total de bytes somando todos os campos. Representa o máximo de bytes de memória necessários para armazenar cada registro (linha) ou instância na Tabela/Entidade.

Tabela 3 - Descrição da Tabela/Entidade GRUPOS.

GRUPOS					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
CODIGO	Inteiro	Não	Primária	auto numeração	4
NOME	Varchar(100)	Não		Nulo	100
DESCRICAO	Varchar(1000)	Sim		Nulo	1000
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					1104

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade GRUPOS (Tabela 3) é responsável por armazenar os dados referentes aos grupos de metais relacionados à sua composição, a fim de classificá-los e facilitar as buscas e geração de gráficos de comportamento mecânico. São necessários um código automático, o nome do grupo com até 100 caracteres e uma descrição do grupo com até 1000 caracteres. Cada novo registro (instância) necessita de no máximo 1104 bytes ou 1,08 KBytes de memória.

Para melhor navegabilidade e interação do sistema com outros tipos de materiais, que posteriormente podem fazer parte do banco de dados, todas as classificações e subclassificações serão generalizadas neste modelo. Podendo assim assumir como instância de Grupo, não apenas os dois grupos principais de metais, Ferrosos e Não Ferrosos, mas cada subgrupo que possa definir um conjunto específico de metais.

São exemplos de instâncias para GRUPO: Aço Carbono Comum, Aço Inoxidável, Ferro Fundido Branco, Ferro Fundido Cinzento, Cobre etc.

Tabela 4 - Descrição da Tabela/Entidade COMPONENTES.

COMPONENTES					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
SIMBOLO	Char(10)	Não	Primária	Nulo	10
NOME	Varchar(100)	Não		Nulo	100
DESCRICA0	Varchar(200)	Sim		Nulo	200
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					310

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade COMPONENTES (Tabela 4) é responsável por armazenar os dados dos componentes que podem estar presentes na formação da liga metálica. São necessários o símbolo de até 10 caracteres, o nome do componente de até 100 caracteres e uma descrição de até 200 caracteres. Cada novo registro necessita de no máximo 310 bytes ou 0,30 KBytes de memória.

Buscando atender posterior envolvimento de outros tipos de materiais, os componentes podem assumir a forma de um único elemento químico, assim como um composto pré-definido.

São exemplos de instâncias para COMPONENTES: C (carbono), Fe (ferro), Ni (Níquel), Mn (Manganês), Cr (Cromo) etc.

Tabela 5 - Descrição da Tabela/Entidade TIPOS_PROPRIEDADES.

TIPOS_PROPRIEDADES					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
TIPO	Char(10)	Não	Primária	Nulo	10
DESCRICA0	Varchar(100)	Sim		Nulo	100
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					110

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade TIPOS_PROPRIEDADES (Tabela 5) é responsável por armazenar os dados dos tipos de propriedades existentes, para melhor classificar as propriedades presentes. São necessários o tipo de propriedade com até 10 caracteres e uma descrição de até 100 caracteres. Cada novo registro necessita de no máximo 110 bytes ou 0,107 KBytes de memória.

São exemplos de instâncias para TIPOS_PROPRIEDADES: Física, Química, Mecânica etc.

Tabela 6 - Descrição da Tabela/Entidade UNIDADES_MEDIDAS.

UNIDADES MEDIDAS					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
SIMBOLO	Char(10)	Não	Primária	Nulo	10
NOME	Varchar(100)	Não		Nulo	100
DESCRICAÇÃO	Varchar(1000)	Sim		Nulo	1000
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					1110

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade UNIDADES_MEDIDAS (Tabela 6) é responsável por armazenar os dados das unidades de medidas existentes e contempladas no Sistema Internacional de unidades (SI). São necessários o símbolo da unidade com até 10 caracteres, o nome com até 100 caracteres e uma descrição com até 1000 caracteres. Cada novo registro necessita de no máximo 1110 bytes ou 1,08 KBytes de memória.

As unidades são importantes para dimensionar os valores das propriedades presentes no banco de dados.

São exemplos de instâncias para UNIDADES_MEDIDAS: m (metro), s (segundo), MPa (megapascal) etc.

Tabela 7 - Descrição da Tabela/Entidade CLASSIFICACOES_IMAGENS.

CLASSIFICACOES IMAGENS					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
CODIGO	Int	Não	Primária	auto numeração	4
NOME	Varchar(100)	Não		Nulo	100
DESCRICAÇÃO	Varchar(1000)	Sim		Nulo	1000
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					1104

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade CLASSIFICACOES_IMAGENS (Tabela 7) é responsável por armazenar os dados de classificação das imagens relacionadas aos metais. São necessários um código automático, o nome da classificação com até 100 caracteres e uma descrição com até 1000 caracteres. Cada novo registro necessita de no máximo 1104 bytes ou 1,08 KBytes de memória.

São exemplos de instâncias para CLASSIFICACOES_IMAGENS: Curva Tensão x Deformação, difratograma de raio x, Diagrama de Fases etc.

Tabela 8 - Descrição da Tabela/Entidade TRATAMENTOS.

TRATAMENTOS					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
CODIGO	Int	Não	Primária	auto numeração	4
NOME	Varchar(100)	Não		Nulo	100
DESCRICAÇÃO	Varchar(1000)	Sim		Nulo	1000
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					1104

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade TRATAMENTOS (Tabela 8) é responsável por armazenar os dados dos possíveis tratamentos que o material pode sofrer. São necessários um código automático, o nome do tratamento com até 100 caracteres e uma descrição com até 1000 caracteres. Cada novo registro necessita de no máximo 1104 bytes ou 1,08 KBytes de memória.

São exemplos de instâncias para TRATAMENTOS: Laminação, Recozimento, Revenimento, Cementação Sólida etc.

Tabela 9 - Descrição da Tabela/Entidade PROPRIEDADES.

PROPRIEDADES					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
CODIGO	Inteiro	Não	Primária	auto numeração	4
NOME	Varchar(50)	Não		Nulo	50
DESCRICAÇÃO	Varchar(1000)	Sim		Nulo	1000
TIPO	Char(10)	Não	Estrangeira (TIPOS_PROPRIEDADES)	Nulo	10
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					1064

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade PROPRIEDADES (Tabela 9) é responsável por armazenar os dados das possíveis propriedades dos materiais. São necessários um código automático, o nome da propriedade com até 50 caracteres, uma descrição com até 1000 caracteres e o tipo da propriedade existente na Tabela/Entidade TIPOS_PROPRIEDADES. Cada novo registro necessita de no máximo 1064 bytes ou 1,04 KBytes de memória.

Esta Tabela faz com que as propriedades não sejam fixas para os metais, tornando o banco de dados dinâmico e adaptável para qualquer tipo de material e favorecendo o seu crescimento.

São exemplos de instâncias para PROPRIEDADES: Tensão de Escoamento, Tensão de Ruptura, Resiliência, Ponto de Fusão, Dureza Brinell (HB) etc.

Tabela 10 - Descrição da Tabela/Entidade METAIS.

METAIS					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
SAE	Char(10)	Não	Primária	Nulo	10
AISI	Char(10)	Sim		Nulo	10
ASTM	Char(10)	Sim		Nulo	10
DESCRICAÇÃO	Varchar(100)	Sim		Nulo	100
GRUPO	Inteiro	Não	Estrangeira (GRUPOS)	Nulo	4
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					134

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade METAIS (Tabela 10) é responsável por armazenar os dados das ligas metálicas, assumindo o SAE Number como a chave primária principal, embora possa ainda relacionar AISI e ASTM. São necessários o código SAE Number, seu relacionado AISI, igualmente o ASTM, uma descrição com até 100 caracteres e o código do grupo existente na Tabela/Entidade GRUPOS. Cada novo registro necessita de no máximo 134 bytes ou 0,13 KBytes de memória.

São exemplos de instâncias para METAIS: SAE 1095 (aço com 0,95% de Carbono), SAE 5160 (aço com Cromo entre 0,70% e 1,20% e 0,6% de Carbono) etc.

Tabela 11 - Descrição da Tabela/Entidade EXPRESSOES.

EXPRESSOES					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
SIMBOLO	Char(10)	Não	Primária e Estrangeira (UNIDADES_MEDIDAS)	Nulo	10
PROPRIEDADE	Inteiro	Não	Primária e Estrangeira (PROPRIEDADES)	Nulo	4
ESTADO	Char(2)	Não		"PR"	2
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					16

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade EXPRESSOES (Tabela 11) é responsável por armazenar os dados da relação entre a Propriedade e a Unidade de Medida usada para dimensioná-la. São necessários o símbolo da Unidade presente na Tabela/Entidade UNIDADES_MEDIDAS, o código da propriedade existente na

Tabela/Entidade PROPRIEDADES e o estado da expressão com 2 caracteres. Cada novo registro necessita de no máximo 16 bytes ou 0,016 KBytes de memória.

Podem existir várias unidades para uma mesma propriedade assim como uma única unidade para diversas propriedades. O que define qual será a unidade principal é o campo ESTADO, que pode assumir os valores: PR – principal unidade; AL – unidade alternativa.

Esta Tabela não permite que uma unidade imprópria seja relacionada erradamente com qualquer propriedade e evita erros de entrada de dados.

São exemplos de instâncias para EXPRESSOES: (°C, Temperatura, PR); (°K, Temperatura, AL) etc.

Tabela 12 - Descrição da Tabela/Entidade COMPOSICOES.

COMPOSICOES					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
SAE	Char(10)	Não	Primária e Estrangeira (METAIS)	Nulo	10
SIMBOLO	Char(10)	Não	Primária e Estrangeira (COMPONENTES)	Nulo	10
WPMAX	Float	Sim		Nulo	4
WPMIN	Float	Sim		Nulo	4
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					28

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade COMPOSICOES (Tabela 12) é responsável por armazenar os dados da relação entre a Liga Metálica e seus Componentes. São necessários o SAE Number do metal existente na Tabela/Entidade METAIS, o símbolo do componente presente na Tabela/Entidade COMPONENTES, a porcentagem máxima em peso e a porcentagem mínima em peso. Cada novo registro necessita de no máximo 28 bytes ou 0,027 KBytes de memória.

Podem existir vários componentes para uma mesma liga assim como um único componente pode compor diversas ligas diferentes. O que define a proporção presente de cada componente é o campo WPMAX (Porcentagem máxima em peso) e o campo WPMIN (Porcentagem mínima em peso).

São exemplos de instâncias para COMPOSICOES: (4340, C, 0.43, 0.38); (4340, Mn, 0.80, 0.60) etc.

Tabela 13 - Descrição da Tabela/Entidade PROCESSOS.

PROCESSOS					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
CODIGO	Inteiro	Não	Primária	auto numeração	4
SAE	Char(10)	Não	Estrangeira (METAIS)	Nulo	10
TRATAMENTO	Inteiro	Não	Estrangeira (TRATAMENTOS)	Nulo	4
TEMPERATURA	Float	Não		Nulo	4
TEMPO	Float	Sim		Nulo	4
REFERENCIA	Varchar(200)	Não		Nulo	200
OBSERVACAO	Varchat(200)	Sim		Nulo	200
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					426

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade PROCESSOS (Tabela 13) é responsável por armazenar os dados do processamento sofrido pelo metal. São necessários um código automático, o SAE Number do metal existente na Tabela/Entidade METAIS, o código do tratamento presente na Tabela/Entidade TRATAMENTOS, a temperatura de processamento, o tempo de tratamento, a referência da fonte das informações e uma observação pertinente. Cada novo registro necessita de no máximo 426 bytes ou 0,42 KBytes de memória.

Uma liga pode passar por vários processamentos, mas um processamento somente pode ocorrer para uma única liga.

São exemplos de instâncias para PROCESSOS: (4340, Forjamento, 900,0, SAE Handbook); (4340, Recozimento, 850, 3600, SAE Handbook); etc.

Tabela 14 - Descrição da Tabela/Entidade MICROESTRUTURAS.

MICROESTRUTURAS					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
CODIGO	Inteiro	Não	Primária	auto numeração	4
DESCRICAO	Varchar(1000)	Sim		Nulo	1000
AMPLIACAO	Float	Não		Nulo	4
REFERENCIA	Varchar(200)	Não		Nulo	200
IMAGEM	Blob	Não		Nulo	65537
PROCESSO	Inteiro	Não	Estrangeira (PROCESSOS)	Nulo	4
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					66749

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade MICROESTRITURAS (Tabela 14) é responsável por armazenar os dados das Microestruturas de cada Metal processado. São necessários um código automático, uma descrição da imagem com até 1000 caracteres, a ampliação obtida, a referência da fonte das informações com até 200 caracteres, a imagem da microestrutura propriamente dita e o código do processamento existente na Tabela/Entidade PROCESSOS. Cada novo registro necessita de no máximo 66749 bytes ou 65,185 KBytes de memória.

Tabela 15 - Descrição da Tabela/Entidade FIGURAS.

FIGURAS					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
CODIGO	Inteiro	Não	Primária	auto numeração	4
CLASSIFICACAO	Inteiro	Não	Estrangeira (CLASSIFICACOES_IMAGENS)	Nulo	4
DESCRICA0	Varchar(1000)	Sim		Nulo	1000
IMAGEM	Blob	Não		Nulo	65537
REFERENCIA	Varchar(200)	Não		Nulo	200
PROCESSO	Inteiro	Não	Estrangeira (PROCESSOS)	Nulo	4
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					66749

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade FIGURAS (Tabela 15) é responsável por armazenar os dados das Figuras de cada Metal processado. São necessários um código automático, o código da classificação existente na Tabela/Entidade CLASSIFICACOES_IMAGENS, uma descrição da imagem com até 1000 caracteres, a ampliação obtida, a referência da fonte das informações com até 200 caracteres, a imagem propriamente dita e o código do processamento existente na Tabela/Entidade PROCESSOS. Cada novo registro necessita de no máximo 66749 bytes ou 65,185 KBytes de memória.

Tabela 16 - Descrição da Tabela/Entidade VALORES.

VALORES					
CAMPO	TIPO	ACEITA NULO	CHAVE	PADRÃO	BYTES
CODIGO	Inteiro Longo	Não	Primária	auto numeração	8
PROPRIEDADE	Inteiro	Não	Estrangeira (PROPRIEDADES)	Nulo	4
PROCESSO	Inteiro	Não	Estrangeira (PROCESSOS)		4
VALOR	Float	Não		Nulo	4
UNIDADE	Char(10)	Não	Estrangeira (UNIDADES_MEDI DAS)	Nulo	10
COMPLEMENTO	Varchar(50)	Sim		Nulo	50
TOTAL MÁXIMO DE BYTES POR REGISTRO					80

Fonte: (Autor, 2017)

A Tabela/Entidade VALORES (Tabela 16) é responsável por armazenar os dados dos valores referentes a cada propriedade relacionada ao processamento do metal. São necessários um código automático, o código da propriedade existente na Tabela/Entidade PROPRIEDADES, o código do processamento existente na Tabela/Entidade PROCESSOS, o valor numérico, o símbolo da unidade existente na Tabela/Entidade UNIDADES_MEDIDAS e um complemento de no máximo 50 caracteres. Cada novo registro necessita de no máximo 80 bytes ou 0,08 KBytes de memória.

4.1.3. CRESCIMENTO DO BANCO DE DADOS

A fim de determinar a infraestrutura necessária para a implantação do Banco de Dados é importante realizar o cálculo do crescimento do mesmo e determinar a capacidade de armazenamento mínima requerida.

Conforme descrito nas tabelas de Tabela 3 à Tabela 16, cada Tabela/Entidade necessita de uma quantidade máxima de bytes por linha de registro e o crescimento do Banco de Dados dependerá do número de registros que podem ser inseridos em um período de tempo multiplicado pelo total de Bytes por registro. O que está demonstrado na Tabela 17.

Tabela 17 - Cálculo de crescimento do Banco de Dados por mês

Tabela/Entidade	Bytes por registro	Novos registros por mês	Bytes/mês
GRUPOS	1104	0	0
COMPONENTES	310	0	0
TIPOS_PROPRIEDADES	110	0	0
UNIDADES_MEDIDAS	1110	1	1110
CLASSIFICACOES_IMAGENS	1104	1	1104
TRATAMENTOS	1104	1	1104
PROPRIEDADES	1064	1	1064
METAIS	134	3	402
EXPRESSOES	116	2	232
COMPOSICOES	28	12	336
PROCESSOS	426	9	3834
MICROESTRUTURAS	66749	27	1802223
FIGURAS	66749	27	1802223
VALORES	80	100	8000
TOTAIS	140188	184	3621632

Fonte: (Autor, 2017)

Assumindo a estatística apresentada na Tabela 17, inserindo novas informações no Banco de Dados constantemente, o mesmo tende a crescer 3.621.632 Bytes por mês ou aproximadamente 3,7MB/mês. Apresentará por ano um crescimento de 43.459.584 Bytes ou aproximadamente 43,5MB/ano.

Um dispositivo de armazenamento contendo 500GB de espaço livre, se dedicado exclusivamente ao Banco de Dados em questão, será capaz de abrigá-lo, sem necessidade de troca ou upgrade, por aproximadamente 11.504,9 anos.

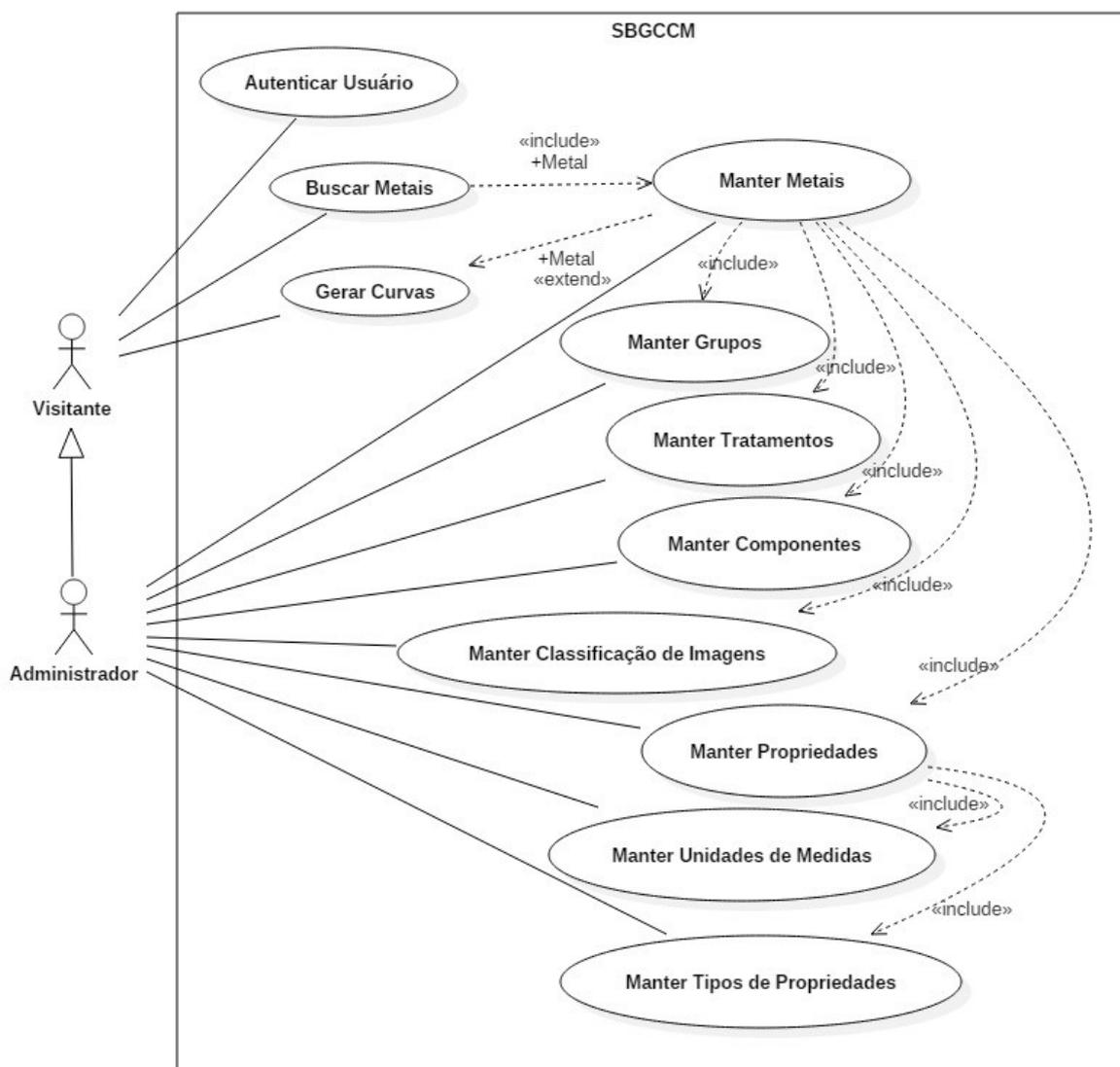
4.2. DOCUMENTAÇÃO DE ANÁLISE

Para registrar a análise desenvolvida neste projeto, será documentado o caso de uso e o diagrama de classes segundo os padrões UML.

4.2.1. CASO DE USO

O Diagrama de Caso de Uso mostra os atores que interagem com o sistema e as funções que o mesmo provê, assim como suas extensões e inclusões.

Figura 16 - Diagrama de Caso de Uso do SBGCCM



Fonte: (Autor, 2017)

Conforme mostra o diagrama (Figura 16), o ator Visitante possui acesso aos casos de Buscar Metais e Gerar Curvas, também o caso Autenticar Usuário para valida-lo como usuário e determinar suas permissões.

O ator Administrador herda de Visitante todas as suas funções e acrescenta ainda o controle total aos demais casos do sistema.

A seguir será detalhado resumidamente cada caso de uso:

Caso de Uso: Autenticar usuário.

Visão Geral: O usuário realiza o login no sistema informando se é Visitante ou Administrador e sua senha quando Administrador. A tela do sistema é construída de acordo com as permissões de cada usuário.

Caso de Uso: Buscar Metais.

Visão Geral: o ator logado no sistema acessa a tela Buscar Metais, adiciona os critérios de busca, configura e executa. O sistema devolve na tela uma lista com os metais que atendem valores informados.

Caso de Uso: Gerar Curvas.

Visão Geral: o ator logado no sistema acessa a tela Gerar Curvas, adiciona as entradas podendo ser entrada do banco de dados, entrada de arquivo texto ou entrada manual e configura as mesmas. O sistema gera as curvas a partir das entradas informadas, que representarão as curvas de tensão deformação do metal especificado. Pode o ator ainda salvar os resultados como imagem ou pdf.

Caso de Uso: Manter Metais.

Visão Geral: O ator Administrador logado no sistema acessa a tela de Manter Metais e pode através dela inserir novos metais, assim como consultar, alterar e excluir dados de metais, suas imagens, microestruturas e propriedades.

Caso de Uso: Manter Grupos.

Visão Geral: O ator Administrador logado no sistema acessa a tela de Manter Grupos e pode através dela inserir novos grupos de metais, assim como consultar, alterar e excluir. Os dados de grupos são incluídos em metais.

Caso de Uso: Manter Tratamentos.

Visão Geral: O ator Administrador logado no sistema acessa a tela de Manter Tratamentos e pode através dela inserir novos Tratamentos de metais, assim como consultar, alterar e excluir. Os dados de Tratamentos são incluídos em metais.

Caso de Uso: Manter Componentes.

Visão Geral: O ator Administrador logado no sistema acessa a tela de Manter Componentes e pode através dela inserir novos Componentes de metais, assim como consultar, alterar e excluir. Os dados de Componentes são incluídos em metais.

Caso de Uso: Manter Classificação de Imagens.

Visão Geral: O ator Administrador logado no sistema acessa a tela de Manter Classificação de Imagens e pode através dela inserir novas Classificações de Imagens de metais, assim como consultar, alterar e excluir. Os dados de Classificação de Imagens são incluídos em metais.

Caso de Uso: Manter Propriedades.

Visão Geral: O ator Administrador logado no sistema acessa a tela de Manter Propriedades e pode através dela inserir novas

Propriedades de metais, assim como consultar, alterar e excluir. Os dados de Propriedades são incluídos em metais.

Caso de Uso: Manter Unidades de Medidas.

Visão Geral: O ator Administrador logado no sistema acessa a tela de Manter Unidades de Medidas e pode através dela inserir novas Unidades de Medidas de metais, assim como consultar, alterar e excluir. Os dados de Unidades de Medidas são incluídos em Propriedades.

Caso de Uso: Manter Tipos de Propriedades.

Visão Geral: O ator Administrador logado no sistema acessa a tela de Manter Tipos de Propriedades e pode através dela inserir novos Tipos de Propriedades de metais, assim como consultar, alterar e excluir. Os dados de Propriedades são incluídos em Propriedades.

4.2.2. DIAGRAMA DE CLASSES

O Diagrama de Classe mostra as classes modelos, seus atributos e métodos, assim como suas relações e é a base para a programação orientada a objetos. Neste diagrama os métodos serão suprimidos para melhor visualização.

Algumas observações devem ser consideradas para o entendimento do diagrama, de acordo com Fowler (2005) e ORACLE (2015):

- 1) As classes são representadas pelos retângulos, cujos nomes estão no topo e os atributos na divisão inferior.
- 2) As setas representam a relação entre as classes.
- 3) Os atributos, ou propriedades, possuem domínios de valores específicos que são os tipos de dados, tais como:

String: Cadeia de caracteres. Qualquer valor literal.

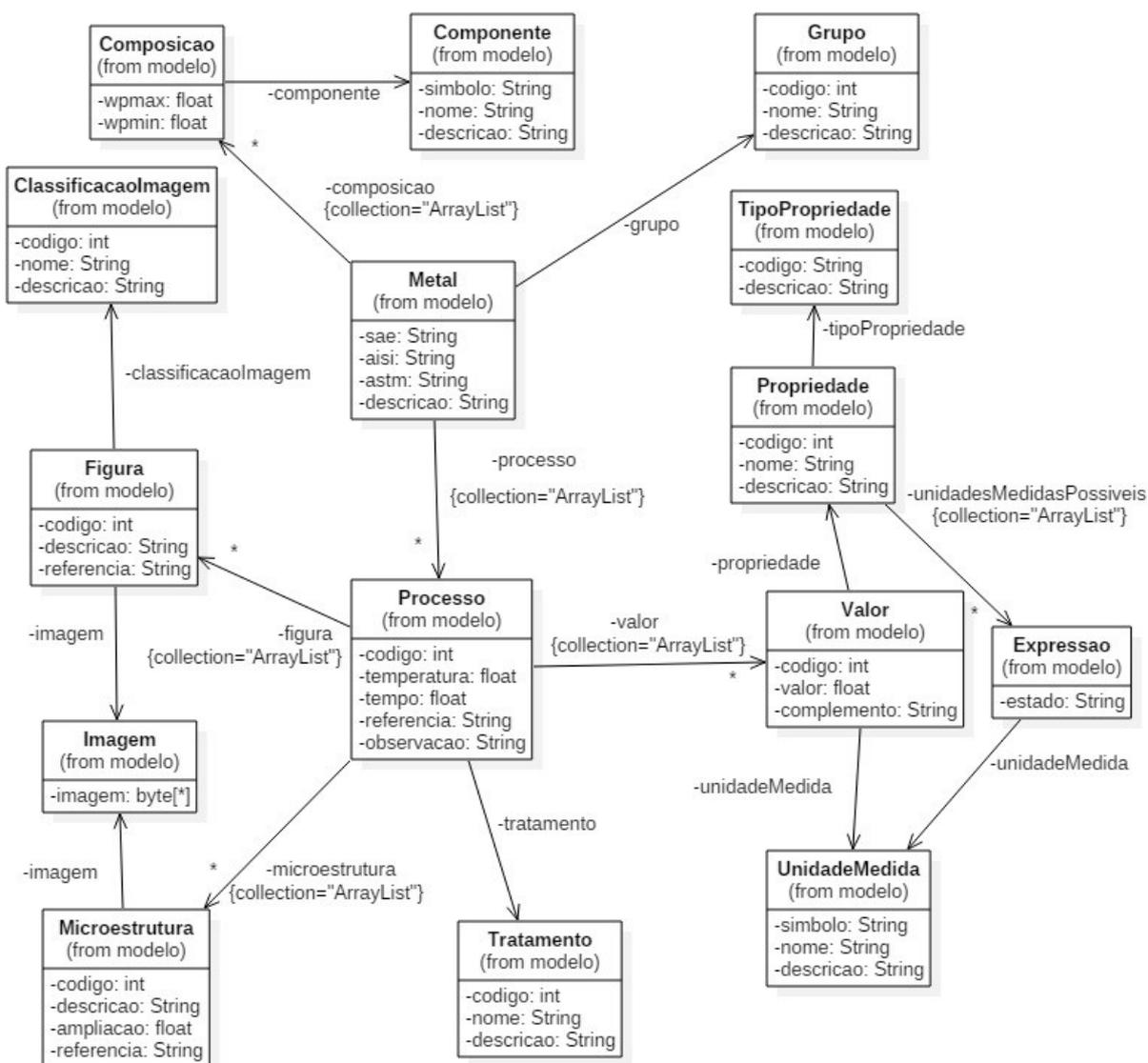
int: Qualquer valor numérico inteiro.

float: Qualquer número representado em ponto flutuante. Números com casas decimais.

byte[*]: Vetor de byte com tamanho variável. Pode suportar qualquer tamanho de valores binários. Utilizado para armazenar imagens e arquivos.

ArrayList: Lista de valores sem limite estabelecido.

Figura 17 - Diagrama de Classes do SBGCCM



Fonte: (Autor, 2017)

O modelo proposto na Figura 17 identifica as classes básicas com os atributos e relações necessárias para o desenvolvimento do software, de forma a conectar com o banco de dados modelado, promover o gerenciamento e a busca de seus dados.

4.3. USABILIDADE DO SOFTWARE

O produto final é capaz de gerenciar o banco de dados modelado, promover buscas complexas de forma simples e gerar curvas de comportamento mecânico de ensaios tensão-deformação, que recebeu a sigla SBGCCM.

Será detalhada neste capítulo apenas a usabilidade habilitada a todos os usuários: busca principal de metais e geração de curvas de comportamento mecânico. As demais funções e ferramentas estão presentes no manual do administrador, dentro da própria aplicação.

4.3.1. INICIANDO APLICAÇÃO

4.3.1.1. ABRIR O SISTEMA

- 1- Execute o arquivo MEMAT.jar que se encontra no diretório de instalação do sistema, ou execute o atalho SBGCCM na área de trabalho se instalado com o assistente no Windows.

4.3.1.2. LOGIN

Figura 18 - Tela de Acesso ao Sistema (Administrador selecionado)



Fonte: (Autor, 2017)

- 1- Clique no usuário Visitante para selecioná-lo.
- 2- Clique no ícone  (Entrar).

4.3.2. TELA PRINCIPAL

A tela principal para o Visitante é simples e limpa de ferramentas, contendo apenas os itens realmente necessários, conforme Figura 19.

Figura 19 - Tela Principal do Visitante



Fonte: (Autor, 2017)

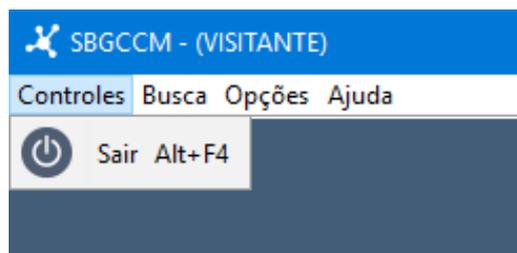
4.3.2.1. BARRA DE MENU

Todo e qualquer recurso do Sistema pode ser acessado através da barra de menu que se encontra a parte superior da janela.

4.3.2.1.1. Controles

Possui apenas a opção de Sair (Encerrar o Sistema). Ver Figura 20.

Figura 20 - Barra de Menu (Controle)

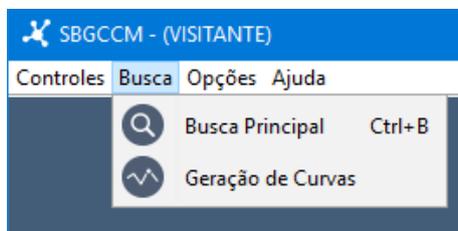


Fonte: (Autor, 2017)

4.3.2.1.2. Busca

No menu Busca encontra-se as opções de Busca Principal e Gerador de Curvas, conforme Figura 21.

Figura 21 - Menu Busca

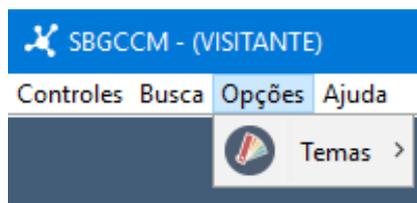


Fonte: (Autor, 2017)

4.3.2.1.3. Opções

O menu Opções promove acesso ao recurso de modificar o tema de cores da aplicação conforme Figura 22.

Figura 22 - Menu Opções (Temas)

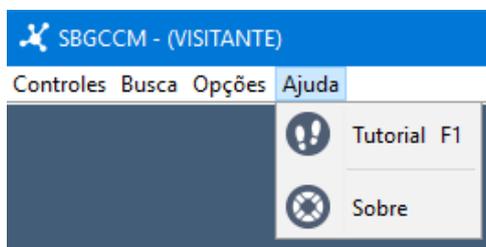


Fonte: (Autor, 2017)

4.3.2.1.4. Ajuda

Em Ajuda acessa-se o Tutorial e as informações Sobre o Sistema, conforme Figura 23.

Figura 23 - Menu Ajuda



Fonte: (Autor, 2017)

4.3.3. AÇÕES BÁSICAS

Sair do Sistema

- 1- Acesse o menu **Controles>Sair**. Ou utilize o botão fechar da janela principal. Ou acione o atalho no teclado **Alt+F4**

Alterar Tema de Cores

- 1- Acesse o menu **Opções>Temas** e escolha uma das 25 opções de tema disponíveis.

Acessar Tutorial

- 1- Acesse o menu **Ajuda>Tutorial**.

Acessar a Tela Sobre o Sistema

- 1- Acesse o menu **Ajuda>Sobre**.

4.3.4. PADRÕES DOS ICONES

4.3.4.1. FONTE

Todos os ícones utilizados no Sistema são de mesma fonte e propriedades tais:

Artista: Elegantthemes

Homepage: <http://www.elegantthemes.com/blog/freebie-of-the-week/beautiful-flat-icons-for-free>, acessado em 2016.

Licença: GNU General Public License

Uso Comercial: Permitido

4.3.4.2. DIMENSÕES

As dimensões dos ícones usadas de acordo com sua aplicação estão descritas na Tabela 18.

Tabela 18 - Dimensões dos ícones e suas aplicações.

Dimensão	Aplicação
16 x 16 pixels	Usadas como ícones das janelas.
32 x 32 pixels	Usadas como ícones da barra de menu.
48 x 48 pixels	Usadas como ícones de seção.
72 x 72 pixels	Usadas como botões de ação
96 x 96 pixels	Usadas como identificadores de Controles nos cabeçalhos das janelas.

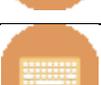
Fonte: (Autor, 2017)

4.3.4.3. SIGNIFICADOS E FUNÇÕES

Cada ícone contém no Sistema um significado ou um conjunto de significados e funções padrões, a fim de promover uma experiência intuitiva de usabilidade e facilitar o entendimento do usuário. Veja Tabela 19.

Tabela 19 - Significados dos ícones utilizados no Sistema.

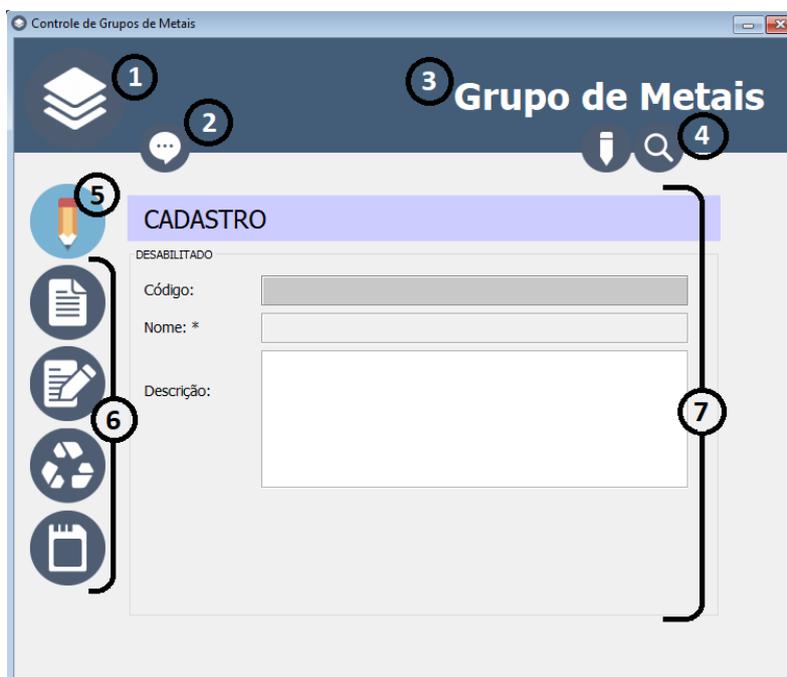
Padrão	Ativo	Função
		Administrador – identifica o usuário administrador.
		Visitante – Identifica o usuário visitante.
		Ajuda – Identifica o local das mensagens de ajuda.
		Metal – Identifica o controle de Metais.
		Grupo – Identifica o controle de Grupos de Metais.
		Propriedades – Identifica o controle de Propriedades dos Materiais.
		Tipos de Propriedades – Identifica o controle de tipos de propriedades.
		Tratamentos – Identifica o controle de tratamentos de metais.
		Unidades de Medidas – Identifica o controle de unidades de medidas.
		Componentes – Identifica o controle de Componentes dos Materiais.

Padrão	Ativo	Função
		Classificação de Figuras – Identifica o controle de Classificações das Figuras relacionadas ao material.
		Microestrutura – Identifica os dados da Microestrutura do material.
		Figura – Identifica os dados das figuras relacionadas ao material.
		Cadastro – Identifica a seção de cadastro dos controles.
		Pesquisar – Seção de pesquisa e consulta ao banco de dados ou botão de ação para pesquisar.
		Visualização – seção para visualizar resultados únicos de busca.
		Novo – Botão de ação para iniciar inserção de novo registro.
		Editar – Botão de ação para editar registro selecionado.
		Limpar – Botão de ação para excluir registro selecionado. Ou limpar itens inseridos em critérios.
		Gerar PDF – Botão de ação para salvar como arquivo PDF.
		Cancelar – Botão de ação para cancelar operação vigente em registro.
		Salvar – Salvar alguma operação ou confirmar alguma alteração. Ou identificar que o critério está ativado.
		Curva – Identifica o controle de geração de curvas de comportamento mecânico.
		Crítérios – Identifica a seção de Critérios de Busca de Metais.
		Desativado – Identificar que o critério está desativado.
		Abrir – Abrir pastas ou arquivos. Ou adicionar entrada de arquivo texto em curvas de comportamento mecânico.
		Entrada Manual – Adiciona uma entrada manual de curva de comportamento mecânico.
		Entradas – Identifica a seção de entrada de dados para curvas de comportamento mecânico.

Padrão	Ativo	Função
		Banco de Dados – Identifica a seção de configuração do Banco de Dados.
		Conectar – Botão de ação para testar conexão com o Banco de Dados.
		Backup – Identifica a seção de configuração de backup do banco de dados. Ou botão de ação para realizar o backup.
		Restaurar – Botão de ação para restaurar backup do Banco de Dados.
		Aviso – Identifica qualquer aviso importante.
		Cadeado – Identifica o acesso ao sistema ou seção de configurações de segurança.
		Chave – Botão para logar no sistema como usuário selecionado.
		Sair – Finaliza a aplicação.
		Temas – Menu para alterar o tema de cores da aplicação.
		Barra de Ferramentas – Menu para exibir ou esconder barra de ferramentas de atalho.
		Tutorial – Acessa o tutorial de ajuda do software.
		Configuração – Identifica as seções de configuração. Ou abre a tela de configurações.
		Sobre – Identifica a janela de dados sobre o software.
		Anterior – Seguir para etapa anterior ou mostrar registro anterior.
		Próximo – Seguir para próxima etapa ou mostrar próximo registro.
		Mais Zoom – Aplicar mais zoom (aproximar) às imagens ou microestruturas.
		Menos Zoom – Aplicar menos zoom (afastar) às imagens ou microestruturas.
		Ampulheta – Informar espera de tempo para realização de tarefas que podem demorar.

4.3.5. PADRÕES DAS JANELAS

Figura 24 - Elementos Padrões das Janelas.



Fonte: (Autor, 2017)

4.3.5.1. CABEÇALHO

Encontra-se no cabeçalho das janelas os elementos responsáveis pelas identificações e navegação, conforme itens 1, 2, 3 e 4 da Figura 24. São eles:

- 1- Ícone identificador do controle ou da função da janela.
- 2- Área de ajuda ao usuário. Aqui aparecerão as ajudas e descrições de alguns elementos ao passar o mouse sobre.
- 3- Título da janela identificando o controle ou sua função por escrito.
- 4- Área de navegação entre as seções. Cada ícone corresponde a uma seção, podendo a janela ter de nenhuma até três seções.

4.3.5.2. BOTÕES DE AÇÕES

À esquerda da Janela localizam-se os botões de ações da seção. Conforme itens 5 e 6 da Figura 24:

- 5- Ícone identificador da seção aberta. Em modo de cores ativo.
- 6- Botões de ações pertinentes à seção selecionada. Podendo ser novo, editar, excluir, gerar PDF e outros.

4.3.5.3. CONTEÚDO

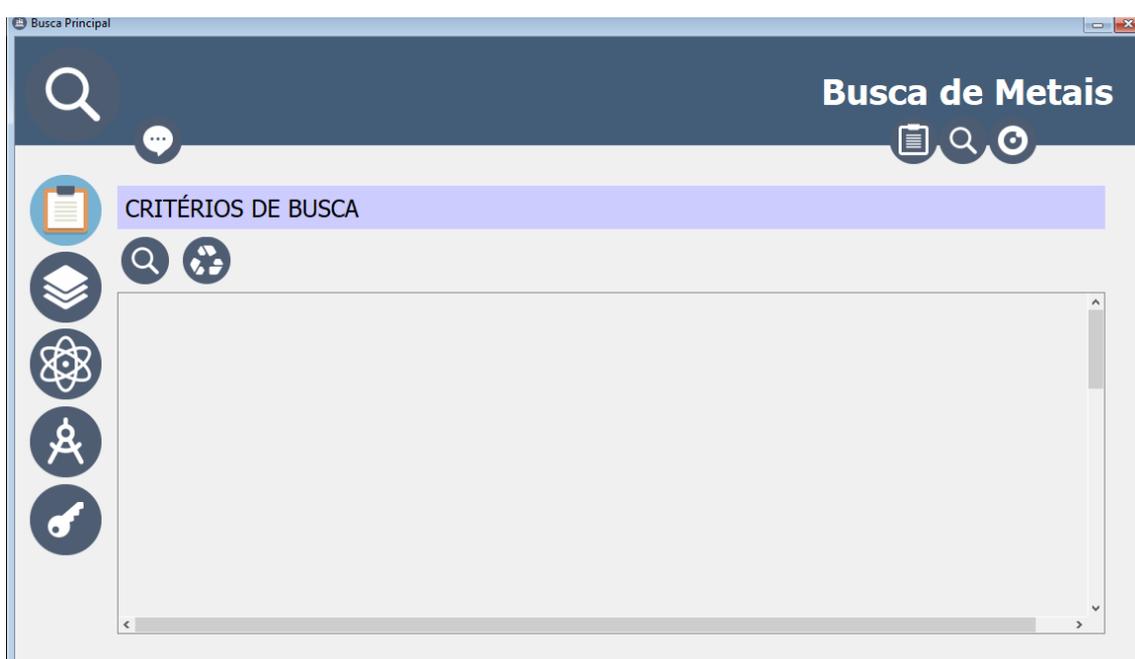
À direita da Janela encontra-se todo o conteúdo e dados referentes à seção selecionada. Conforme itens 7 da Figura 24:

- 7- Conteúdo referente à seção selecionada. Título identificador, campos de preenchimento, listas, imagens e qualquer outro elemento que define conteúdo. Podem-se encontrar ainda outros botões de ações pertinentes, como abrir arquivo, salvar subitem, pesquisar e outros.

4.3.6. BUSCA PRINCIPAL

A Busca Principal é uma ferramenta de busca de metais completa, que inclui critérios de busca para filtrar os dados desejados. Cada critério pode ser adicionado, ativado, desativado ou excluído da busca, a fim de promover uma experiência intuitiva e simples para o usuário.

Figura 25 - Tela Busca Principal (Critérios de Busca)



Fonte: (Autor, 2017)

4.3.6.1. REALIZAR BUSCA

- 1- Acesse a janela da busca em **Busca>Busca Principal**.
- 2- Escolha um tipo de critério a ser adicionado na seção Critérios de Busca (Figura 25) e clique em um dos botões:

- a.  (Critério de Grupo).
- b.  (Critério de Composição).
- c.  (Critério de Propriedades).
- d.  (Critério de Chaves)

Obs: Adicione quantos desejar.

- 3- Configure os critérios informando os valores desejados de filtro para cada um. (Mais detalhes em: CRITÉRIOS DE BUSCA).

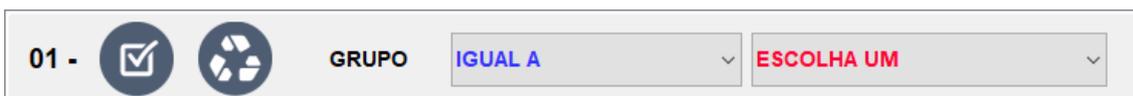
Obs: Quando todos os dados requeridos do critério estiverem corretos, o mesmo mudará o fundo para um cinza mais escuro.

- 4- Clique no botão  (Pesquisar) à baixo do título “CRITÉRIOS DE BUSCA”. Os resultados aparecerão na seção Pesquisa.

4.3.6.2. CRITÉRIOS DE BUSCA

4.3.6.2.1. Adicionar Critério de Grupo

Figura 26 - Critério de Busca por Grupo.



Fonte: (Autor, 2017)

Cada Critério de Grupo é responsável por filtrar os dados de Metais levando em consideração o grupo ao qual os mesmos pertencem.

- 1- Na janela de Busca Principal, seção CRITÉRIOS DE BUSCA, clique no botão  (Critério de Grupo). Será adicionado na tela um painel numerado por ordem de chegada, conforme Figura 26.
- 2- Configure a opção (E, OU) caso não seja o primeiro critério adicionado.
- 3- Escolha um operador de comparação:
 - a. IGUAL A: para grupo exatamente igual ao valor informado.
 - b. CONTÉM: para grupos que contenham parte do seu nome o valor informado
 - c. DIFERENTE DE: para grupos que tenham nomes diferentes do valor informado.

- 4- Escolha um grupo na lista ou informe o valor desejado, dependendo do operador escolhido.

4.3.6.2.2. Adicionar Critério de Composição

Figura 27 - Critério de Busca por Composição.

Fonte: (Autor, 2017)

Cada Critério de Composição é responsável por filtrar os dados de Metais levando em consideração a composição dos mesmos.

- 1- Na janela de Busca Principal, seção CRITÉRIOS DE BUSCA, clique no botão  (Critério de Composição). Será adicionado na tela um painel numerado por ordem de chegada, conforme Figura 27.
- 2- Configure a opção (E, OU) caso não seja o primeiro critério adicionado.
- 3- Escolha um operador de comparação:
 - a. POSSUI: para composição que possui determinado componente escolhido.
 - b. NÃO POSSUI: para composição que não possui determinado componente escolhido.
- 4- Escolha um componente na lista de valores.

4.3.6.2.3. Adicionar Critério de Propriedade

Figura 28 - Critério de Busca por Propriedade.

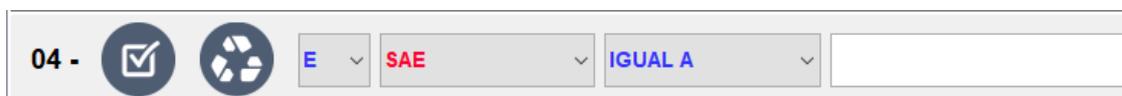
Fonte: (Autor, 2017)

Cada Critério de Propriedade é responsável por filtrar os dados de Metais levando em consideração o valor de qualquer propriedade desejada.

- 1- Na janela de Busca Principal, seção CRITÉRIOS DE BUSCA, clique no botão  (Critério de Propriedade). Será adicionado na tela um painel numerado por ordem de chegada, conforme Figura 28.
- 2- Configure a opção (E, OU) caso não seja o primeiro critério adicionado.
- 3- Escolha uma propriedade na lista.
- 4- Escolha um operador de comparação:
 - a. IGUAL A: para valor numérico de propriedade exatamente igual ao valor informado.
 - b. DIFERENTE DE: para valores numéricos de propriedade diferentes do valor informado.
 - c. MAIOR QUE: para valores numéricos de propriedade maiores do que o valor informado.
 - d. MENOR QUE: para valores numéricos de propriedade menores do que o valor informado.
 - e. ENTRE: para valores numéricos de propriedade que se encontrem entre dois valores informados, inclusive.
- 5- Informe o valor numérico desejado no ultimo campo ou dois últimos dependendo da operação escolhida.

4.3.6.2.4. Adicionar Critério de Chave

Figura 29 - Critério de Busca por Chave.



04 -   E SAE IGUAL A

Fonte: (Autor, 2017)

Cada Critério de Chave é responsável por filtrar os dados de Metais levando em consideração uma chave, como SAE, AISI ou ASTM.

- 1- Na janela de Busca Principal, seção CRITÉRIOS DE BUSCA, clique no botão  (Critério de Chaves). Será adicionado na tela um painel numerado por ordem de chegada, conforme Figura 29.

- 2- Configure a opção (E, OU) caso não seja o primeiro critério adicionado.
- 3- Escolha uma chave para filtrar a busca.
 - a. SAE: SAE Number do Metal.
 - b. AISI: AISI do Metal.
 - c. ASTM: ASTM do Metal.
- 4- Escolha um operador de comparação:
 - a. IGUAL A: para chave exatamente igual ao valor informado.
 - b. CONTÉM: para chaves que contenham parte do valor informado
 - c. DIFERENTE DE: para chaves diferentes do valor informado.
- 5- Informe no ultimo campo o valor de busca desejado.

4.3.6.2.5. **Ativar/Desativar Critério Adicionado**

Figura 30 – Critério Ativado e Desativado.



Fonte: (Autor, 2017)

Ativar ou Desativar o critério de busca, implica em inclui-lo na busca ou não, sem precisar excluí-lo. Conforme mostra a Figura 30, o critério encontra-se ativado segundo a imagem da esquerda e desativado segundo a imagem da direita.

- 1- Na janela de Busca Principal, seção CRITÉRIOS DE BUSCA, com o critério já adicionado, clique no botão  (Desativar) para desativar o critério ou no botão  (Ativar) para ativar o mesmo.

4.3.6.2.6. **Excluir Critério Adicionado**

Figura 31 – Cabeçalho dos critérios.

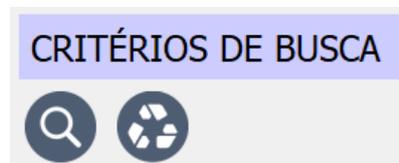


Fonte: (Autor, 2017)

- 1- Na janela de Busca Principal, seção CRITÉRIOS DE BUSCA, com o critério já adicionado, clique no botão  (Excluir), presente no critério desejado para excluir o mesmo. Veja Figura 31.

4.3.6.2.7. **Excluir Todos os Critérios Adicionados**

Figura 32 – Botões de Busca e Exclusão.

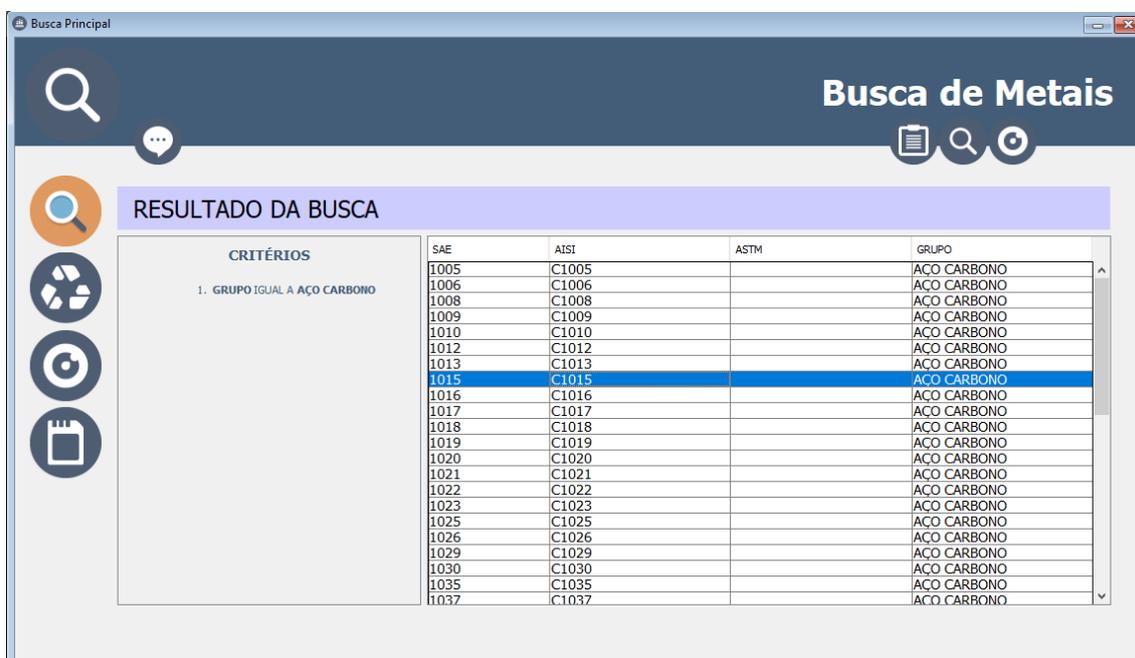


Fonte: (Autor, 2017)

- 1- Na janela de Busca Principal, seção CRITÉRIOS DE BUSCA, clique no botão  (Excluir), localizado abaixo do título e ao lado do botão de pesquisar. Veja Figura 32.

4.3.6.3. RESULTADO DA BUSCA

Figura 33 - Tela Busca Principal - Seção RESULTADO DA BUSCA



Fonte: (Autor, 2017)

A seção RESULTADO DA BUSCA mostra o resultado da busca na lista à direita, realizada com os critérios adicionados, que aparecem no quadro à esquerda para verificação, conforme Figura 33.

4.3.6.3.1. Visualizar Resultado da Busca

- 1- Na janela de Busca Principal, seção RESULTADO DA BUSCA, com resultados presentes na lista, selecione o item da lista que deseja visualizar, clicando sobre o mesmo.
- 2- Clique no botão  (Visualizar) à esquerda da tela.

4.3.6.3.2. Excluir Resultados

- 1- Na janela de Busca Principal, seção RESULTADO DA BUSCA, clique no botão  (Excluir Resultados) à esquerda da tela.

Obs: Essa ação irá limpar também os critérios adicionados e a visualização.

4.3.6.3.3. Gerar PDF de um registro

- 1- Na janela de Busca Principal, seção RESULTADO DA BUSCA, com resultados presentes na lista, selecione o item da lista que deseja visualizar, clicando sobre o mesmo.
- 2- Clique no botão  (Gerar PDF) à esquerda da tela.

4.3.6.3.4. Gerar PDF de todos os registros do resultado

- 1- Na janela de Busca Principal, seção RESULTADO DA BUSCA, com resultados presentes na lista, clique no botão  (Gerar PDF) à esquerda da tela. (Não selecione nenhum item da lista).

4.3.6.4. VISUALIZAÇÃO DOS DADOS

A seção VISUALIZAÇÃO mostra os dados completos do metal desejado, com uma barra de rolagem para navegar sobre as informações, conforme Figura 34.

Figura 34 - Tela Busca Principal - Seção VISUALIZAÇÃO.

The screenshot shows the 'Busca de Metais' application window. The main content area is titled 'VISUALIZAÇÃO' and displays information for 'AÇO CARBONO' (SAE: 1015). The interface includes a search bar, navigation icons, and a scrollable content area with a table for chemical composition and a table for material properties.

COMPOSIÇÃO:

ELEMENTO	WPMAX	WPMIN
C	0.18	0.13
Mn	0.6	0.3
P	0.04	0.0
S	0.05	0.0

PROPRIEDADES:

PROPRIEDADE	VALOR	UN. ...	COMPLEMENTO
TENSÃO RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	0.0	MPa	
TENSÃO DE ESCOAMENTO	0.0	MPa	

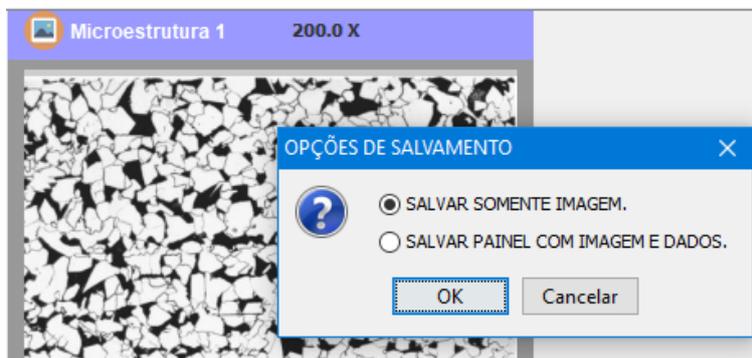
Fonte: (Autor, 2017)

4.3.6.4.1. Salvar Imagem ou Microestrutura

Essa opção permite salvar qualquer imagem ou microestrutura do metal que estiver aparecendo na visualização.

- 1- Na janela de Busca Principal, seção VISUALIZAÇÃO, com o conteúdo preenchido, identifique a imagem ou microestrutura que deseja salvar utilizando a barra de rolagem.
- 2- Clique sobre a imagem ou microestrutura escolhida. Surgirá a seguinte pergunta (Figura 35).

Figura 35 - Opção para salvar microestrutura.



Fonte: (Autor, 2017)

- 3- Escolha uma das opções:
 - a. SALVAR SOMENTE IMAGEM: para salvar somente a imagem escolhida.
 - b. SALVAR PAINEL COM IMAGEM E DADOS: para salvar como uma única imagem o painel clicado.
- 4- Clique em <OK> e escolha o local, o nome e confirme para salvar.

4.3.6.4.2. **Salvar Todas as Imagens**

Essa opção permite salvar separadamente todas as imagens e microestruturas encontradas na visualização.

- 1- Na janela de Busca Principal, seção VISUALIZAÇÃO, com o conteúdo preenchido, clique no botão  (Salvar Todas as Imagens).
- 2- Escolha o local e confirme para salvar.

Obs: Os nomes das imagens serão gerados automaticamente pelo software.

4.3.6.4.3. **Salvar Visualização como Imagem**

Essa opção salvará todo o conteúdo da visualização como uma única imagem.

- 1- Na janela de Busca Principal, seção VISUALIZAÇÃO, com o conteúdo preenchido, clique no botão  (Salvar Visualização como Imagem).
- 2- Escolha o local, nome e confirme para salvar.

Obs: A imagem gerada será uma réplica exata do conteúdo da visualização.

4.3.6.4.4. Limpar Visualização

Essa opção limpará tanto a visualização como os resultados e os critérios.

- 1- Na janela de Busca Principal, seção VISUALIZAÇÃO, com o conteúdo preenchido, clique no botão  (Limpar Visualização). E confirme.

4.3.6.4.5. Gerar PDF

Essa opção irá gerar um arquivo PDF com os dados do metal presentes na visualização.

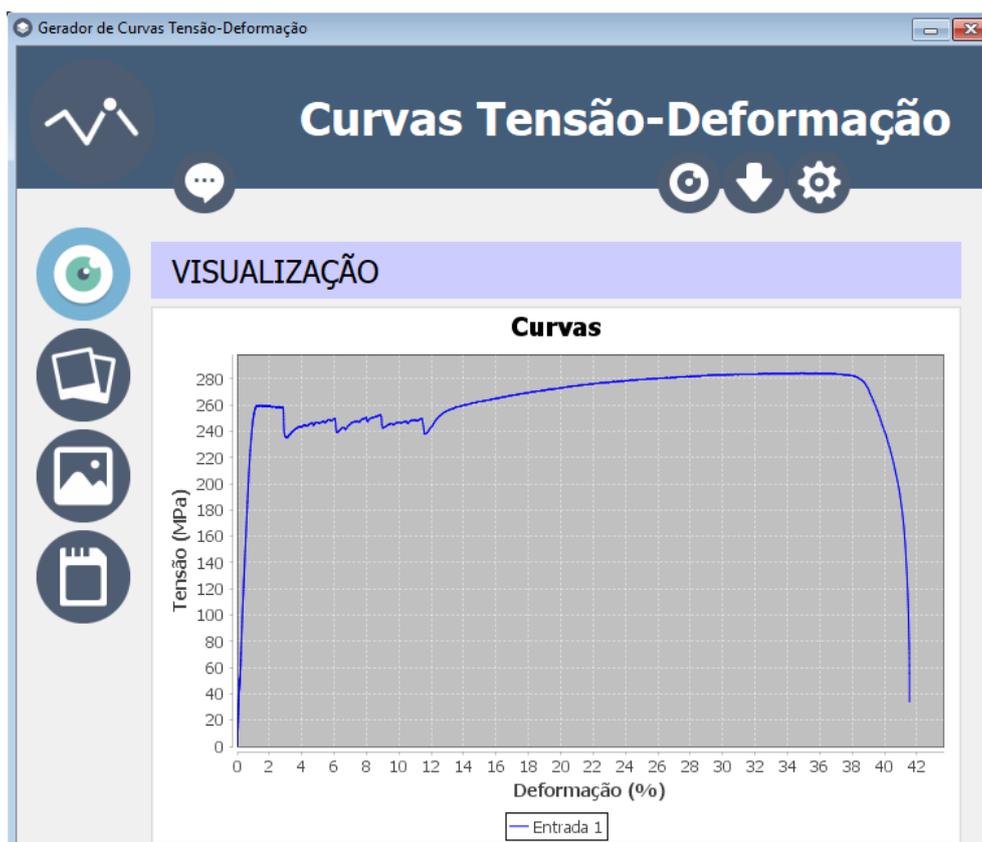
- 1- Na janela de Busca Principal, seção VISUALIZAÇÃO, com o conteúdo preenchido, clique no botão  (Gerar PDF).
- 2- Escolha o local, nome e confirme para salvar.

Obs: Se houver outro arquivo com o mesmo nome no diretório escolhido, será substituído.

4.3.7. GERAÇÃO DE CURVAS

Ferramenta capaz de construir curvas de comportamento mecânico de ensaio tensão deformação, através de dados presentes no banco de dados, em arquivo texto gerado por equipamentos de ensaio ou por valores informados manualmente pelo usuário.

Figura 36 - Tela Gerador de Curvas Tensão Deformação (Visualização).



Fonte: (Autor, 2017)

4.3.7.1. GERAR CURVA

Para construir curvas tensão x deformação:

- 1- Acesse a janela do gerador em **Busca>Geração de Curvas**.
- 2- Entre na seção ENTRADAS clicando no botão  (Gerenciar Entradas).
- 3- Escolha uma das três opções de entrada, clicando no botão correspondente:
 - a.  (Entrada Banco de Dados).
 - b.  (Entrada Arquivo de Texto).
 - c.  (Entrada Manual).

Preencha as informações requeridas para cada tipo de entrada. Mais detalhes em ENTRADAS DE DADOS DAS CURVAS

Obs: Adicione mais entradas se necessário, sendo no máximo cinco.

- 4- Entre na seção VISUALIZAÇÃO clicando no botão  (Visualizar Curvas) para visualizar o resultado, conforme Figura 36.

4.3.7.2. ENTRADAS DE DADOS DAS CURVAS

4.3.7.2.1. Adicionar Entradas do Banco de Dados

Figura 37 - Painel da Entrada por Banco de Dados.

Fonte: (Autor, 2017)

Adiciona uma entrada a partir dos dados do metal presente no banco de dados da aplicação.

- 1- Acesse a janela do gerador em **Busca>Geração de Curvas**.
- 2- Entre na seção ENTRADAS clicando no botão  (Gerenciar Entradas).
- 3- Clique no botão  (Entrada Banco de Dados) e aparecerá uma pequena tela de pesquisa (Figura 38).

Figura 38 - Pesquisar Metal para Entrada de curva.

Fonte: (Autor, 2017)

- 4- Na tela de Pesquisa (Figura 38) entre com o SAE do metal e clique no botão  (Pesquisar). Caso encontre o SAE desejado, a lista de Tratamentos disponíveis será preenchida.
- 5- Escolha na lista de Tratamento o tratamento desejado, então sua temperatura surgirá em vermelho.
- 6- Clique em <OK> para confirmar.
Obs: Para cancelar clique em <Cancelar> e não será adicionada a entrada.
- 7- Após confirmar o metal escolhido, será adicionado um painel de entrada de banco de dados conforme Figura 37.
- 8- Informe a Legenda e a Cor para a curva.
- 9- As propriedades relativas às coordenadas da curva irão aparecer já preenchidas no quadro “Coordenadas” à direita.
Obs 1: Caso não exista propriedade relacionada ao metal escolhido, os campos referentes estarão habilitados para entrar manualmente com os valores que faltam.
Obs 2: Para configurar quais propriedades estão relacionadas com as coordenadas da curva, veja em Configurar Relação das Coordenadas.
- 10- Entre na seção VISUALIZAÇÃO clicando no botão  (Visualizar Curvas) para visualizar o resultado, conforme Figura 36.

4.3.7.2.2. Adicionar Entradas de Arquivo Texto

Figura 39 - Painel de Entrada de Curva por Arquivo Texto.

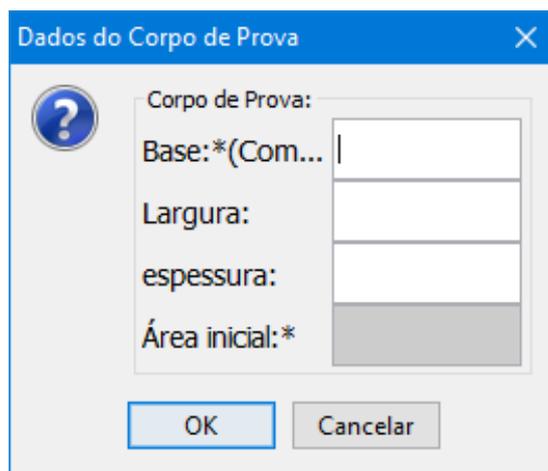
Coordenadas:	
1- Limite de Proporcionalidade	
Tensão:	226.677
Deformação:	0.825
2- Limite de Escoamento	
Tensão:	235.432
Deformação:	0.923
3- Limite de Resistência	
Tensão:	284.462
Deformação:	34.532
4- Ponto de Ruptura	
Tensão:	34.075
Deformação:	41.534

Fonte: (Autor, 2017)

Adiciona uma entrada a partir de um arquivo texto gerado por um equipamento de ensaio de tração.

- 1- Acesse a janela do gerador em **Busca>Geração de Curvas**.
- 2- Entre na seção ENTRADAS clicando no botão  (Gerenciar Entradas).
- 3- Clique no botão  (Entrada Arquivo Texto) e aparecerá uma pequena tela para informações sobre o corpo de prova. (Figura 40).

Figura 40 – Tela de Entrada de Dados do Corpo de Prova.



A imagem mostra uma janela de diálogo intitulada "Dados do Corpo de Prova". No canto superior esquerdo, há um ícone de interrogação dentro de um círculo azul. O título da janela é "Dados do Corpo de Prova" e há um botão de fechar (X) no canto superior direito. O conteúdo da janela é dividido em duas seções. A seção superior contém o rótulo "Corpo de Prova:" e quatro campos de entrada empilhados verticalmente: "Base:*(Com... |", "Largura:", "espessura:" e "Área inicial:*". A seção inferior contém dois botões: "OK" e "Cancelar".

Fonte: (Autor, 2017)

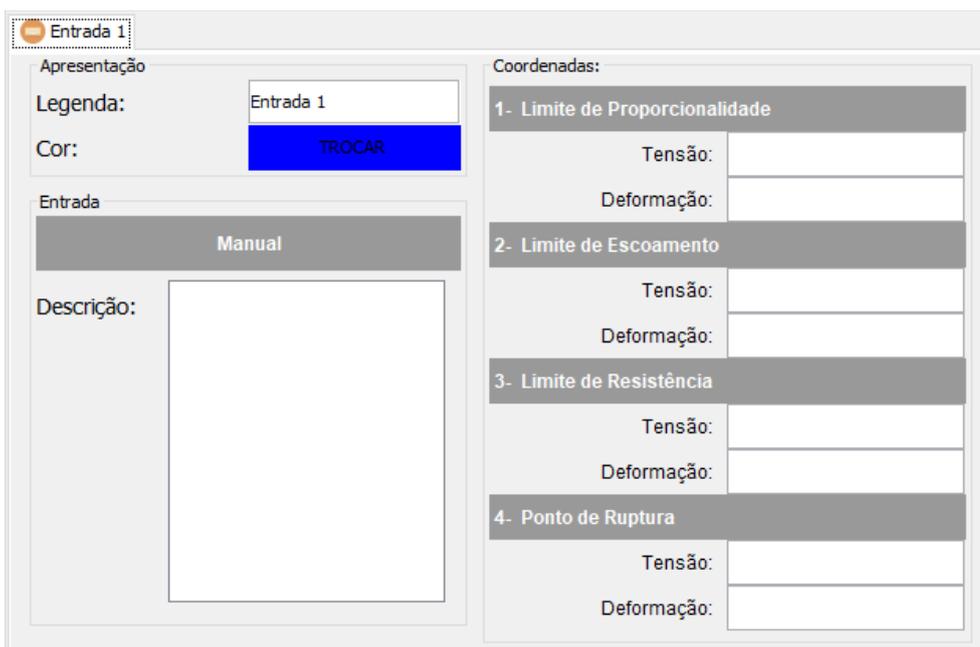
- 4- Na tela de Dados do Corpo de prova (Figura 40) entre com a Base(Comprimento), Largura e Espessura do corpo de prova, ou então entre somente com a Base e a Área inicial.
- 5- Clique em <OK> para confirmar.
Obs: Para cancelar clique em <Cancelar> e não será adicionada a entrada.
- 6- Após confirmar os dados do corpo de prova, Abrirá o explorador de arquivos para escolher o arquivo texto desejado. Selecione o arquivo texto gerado pela máquina de ensaio e confirme.
Obs 1: Para configurar o padrão dos arquivos textos, como quantidade de colunas e caractere de separação de dados, veja em Configurar Padrão do Arquivo Texto.
Obs 2: Depois de adicionado o painel, pode-se trocar a qualquer momento o arquivo, basta clicar no botão (Abrir) localizado dentro do painel.
- 7- Após a escolha do arquivo, será adicionado um painel de entrada de Arquivo Texto, conforme Figura 39.
- 8- Informe a Legenda e a Cor para a curva.
- 9- As propriedades relativas às coordenadas da curva irão aparecer já preenchidas no quadro "Coordenadas" à direita.

Obs: Tais informações são geradas automaticamente com base nas informações do arquivo texto.

10-Entre na seção VISUALIZAÇÃO clicando no botão  (Visualizar Curvas) para visualizar o resultado, conforme Figura 36.

4.3.7.2.3. Adicionar Entradas Manuais

Figura 41 - Painel de Entrada de Curva Manualmente.



Coordenadas:	
1- Limite de Proporcionalidade	
Tensão:	<input type="text"/>
Deformação:	<input type="text"/>
2- Limite de Escoamento	
Tensão:	<input type="text"/>
Deformação:	<input type="text"/>
3- Limite de Resistência	
Tensão:	<input type="text"/>
Deformação:	<input type="text"/>
4- Ponto de Ruptura	
Tensão:	<input type="text"/>
Deformação:	<input type="text"/>

Fonte: (Autor, 2017)

Adiciona uma entrada com campos em branco para serem preenchidos manualmente pelo usuário.

- 1- Acesse a janela do gerador em **Busca>Geração de Curvas**.
- 2- Entre na seção ENTRADAS clicando no botão  (Gerenciar Entradas).
- 3- Clique no botão  (Entrada Manual).
- 4- Será adicionado um painel de entrada Manual, conforme Figura 41.
- 5- Informe a Legenda e a Cor para a curva.

6- Informe as coordenadas da curva no quadro “Coordenadas”.

7- Entre na seção VISUALIZAÇÃO clicando no botão  (Visualizar Curvas) para visualizar o resultado, conforme Figura 36.

4.3.7.2.4. Excluir Entrada

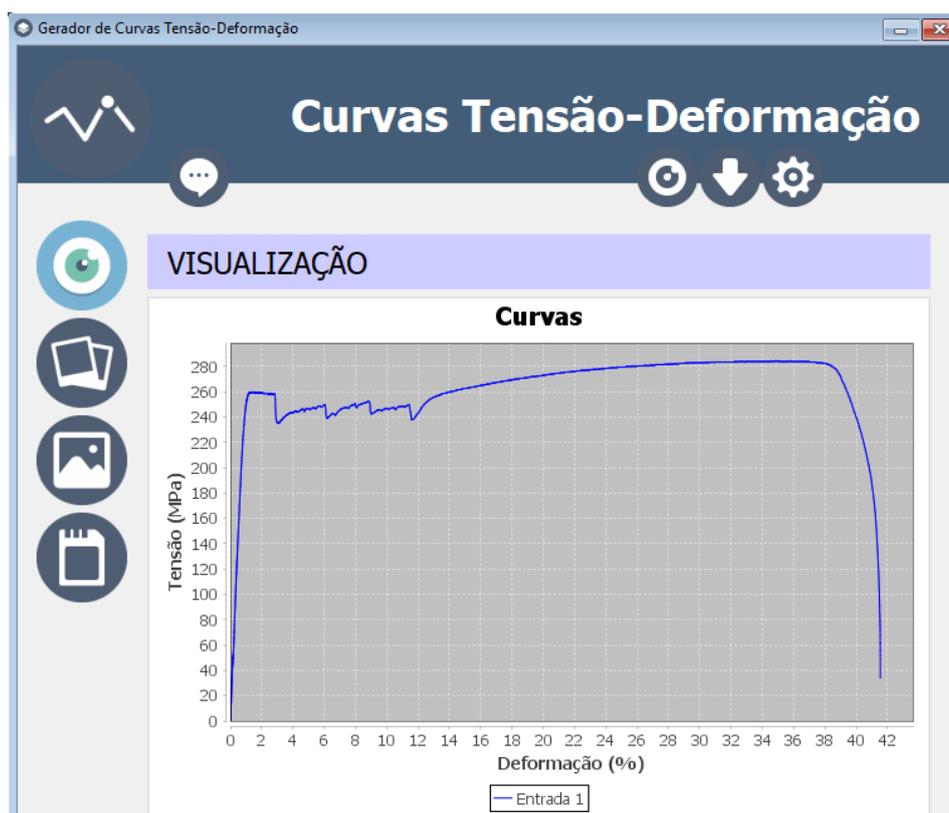
1- Na Tela do Gerador de Curva, com a seção ENTRADAS selecionada, escolha a entrada que deseja excluir clicando sobre a aba do painel.

2- Clique no botão  (Excluir).

Obs: A numeração das entradas adicionadas será refeita.

4.3.7.3. VISUALIZAÇÃO DAS CURVAS

Figura 42 - Tela Gerador de Curvas Tensão Deformação (Visualização).



Fonte: (Autor, 2017)

4.3.7.3.1. **Visualizar curvas**

Para visualizar as curvas geradas pelas entradas já adicionadas:

- 1- Acesse a janela do gerador em **Busca>Geração de Curvas**.
- 2- Esteja com as entradas na seção ENTRADAS já adicionadas e configuradas. Veja GERAR CURVA e ENTRADAS DE DADOS DAS CURVAS.
- 3- Entre na seção VISUALIZAÇÃO clicando no botão  (Visualizar Curvas) para visualizar o resultado, conforme Figura 42.

4.3.7.3.2. **Salvar Curvas como Imagens Separadas**

Para salvar as curvas presentes no gráfico da Visualização como imagens separadas:

- 1- Acesse a janela do gerador em **Busca>Geração de Curvas**.
- 4- Esteja com as entradas na seção ENTRADAS já adicionadas e configuradas. Veja GERAR CURVA e ENTRADAS DE DADOS DAS CURVAS.
- 2- Na seção VISUALIZAÇÃO (Figura 42) clique no botão  (Salvar Curvas em Imagens Separadas).
- 3- Escolha o diretório desejado e confirme em <OK>.

Obs: As imagens serão salvas com nomes automáticos gerados pelo sistema, contendo a legenda e uma numeração.

4.3.7.3.3. **Salvar Curvas como uma Única Imagem**

Para salvar o conteúdo da Visualização como uma única imagem:

- 1- Acesse a janela do gerador em **Busca>Geração de Curvas**.
- 5- Esteja com as entradas na seção ENTRADAS já adicionadas e configuradas. Veja GERAR CURVA e ENTRADAS DE DADOS DAS CURVAS.

- 2- Na seção VISUALIZAÇÃO (Figura 42) clique no botão  (Salvar Visualização como Imagem).
- 3- Escolha o diretório desejado, escreva um nome para o arquivo e confirme em <OK>.

Obs: Arquivos de mesmo nome serão substituídos.

4.3.7.3.4. Gerar PDF

Para salvar Visualização como arquivo pdf:

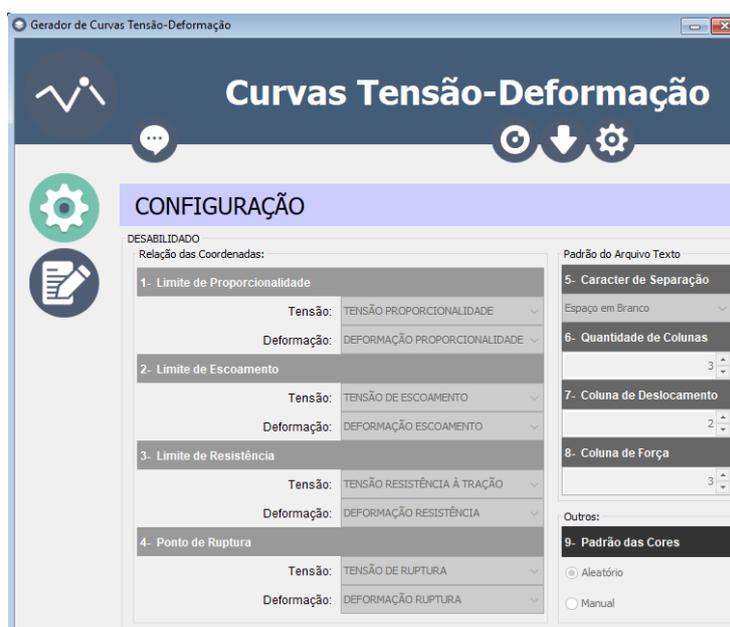
- 1- Acesse a janela do gerador em **Busca>Geração de Curvas**.
- 6- Esteja com as entradas na seção ENTRADAS já adicionadas e configuradas. Veja GERAR CURVA e ENTRADAS DE DADOS DAS CURVAS.
- 2- Na seção VISUALIZAÇÃO (Figura 42) clique no botão  (Gerar PDF).
- 3- Escolha o diretório desejado, escreva um nome para o arquivo e confirme em <OK>.

Obs: Arquivos de mesmo nome serão substituídos.

4.3.7.4. CONFIGURAÇÃO

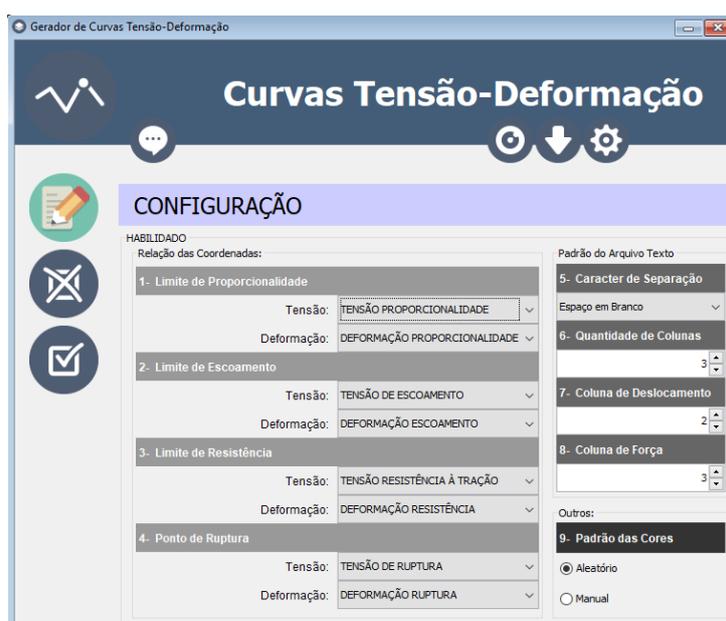
A seção CONFIGURAÇÃO do Gerador de Curvas é responsável pelas relações entre as coordenadas das curvas e as propriedades existentes, o padrão dos arquivos textos e o padrão das cores e legendas.

Figura 43 - Tela Gerador de Curvas Tensão Deformação (Configuração).



Fonte: (Autor, 2017)

Figura 44 - Tela Gerador de Curvas Tensão Deformação (Configuração – em edição).



Fonte: (Autor, 2017)

4.3.7.4.1. **Configurar Relação das Coordenadas**

A configuração das relações das coordenadas é importante para a geração de curvas a partir de dados oriundos do banco de dados, pois especifica qual é a propriedade relacionada com cada coordenada da curva.

Para configurar as relações das coordenadas:

- 1- Acesse a janela do gerador em **Busca>Geração de Curvas**.
- 2- Entre na seção CONFIGURAÇÃO clicando no botão  (Configurar). Conforme Figura 43.
- 3- Clique no botão  (Editar Configuração). Surgirão em seu lugar dois novos botões, para cancelar e para salvar as alterações, conforme Figura 44.
- 4- No quadro “Relação das Coordenadas” Informe:
 - a. 1-Limite de Proporcionalidade: Escolhendo a propriedade na lista para a Tensão e para a Deformação referentes.
 - b. 2-Limite de escoamento: Escolhendo a propriedade na lista para a Tensão e para a Deformação referentes.
 - c. 3-Limite de Resistência: Escolhendo a propriedade na lista para a Tensão e para a Deformação referentes.
 - d. 4-Ponto de Ruptura: Escolhendo a propriedade na lista para a Tensão e para a Deformação referentes.
- 5- Clique no botão  (Salvar) para salvar as alterações da configuração.

Obs: Caso queira cancelar a operação “Editar”, clique no botão  (Cancelar) antes de salvar.

4.3.7.4.2. **Configurar Padrão do Arquivo Texto**

A configuração dos padrões do arquivo texto é importante para que o software reconheça os dados presentes no arquivo texto gerado pela máquina de ensaio tensão x deformação.

Para configurar o Padrão do Arquivo Texto:

- 1- Acesse a janela do gerador em **Busca>Geração de Curvas**.
- 2- Entre na seção CONFIGURAÇÃO clicando no botão  (Configurar). Conforme Figura 43.
- 3- Clique no botão  (Editar Configuração). Surgirão em seu lugar dois novos botões, para cancelar e para salvar as alterações, conforme Figura 44.
- 4- No quadro “Padrão do Arquivo Texto” informe:
 - a. 5- Caractere de Separação: O caractere responsável por separar as colunas de dados presentes no arquivo. Geralmente o espaço em branco.
 - b. 6- Quantidade de Colunas: A quantidade de colunas de dados existentes. Geralmente 3 (três): a coluna do tempo, a coluna do deslocamento e a coluna da força.
 - c. 7- Coluna de Deslocamento: O número da coluna onde constam os dados de deslocamento. Geralmente a segunda.
 - d. 8- Coluna de Força: O número da coluna onde constam os dados de Força aplicada. Geralmente a terceira.
- 5- Clique no botão  (Salvar) para salvar as alterações da configuração.

Obs: Caso queira cancelar a operação “Editar”, clique no botão  (Cancelar) antes de salvar.

4.3.7.4.3. Configurar Padrão das Cores de Legenda

A configuração do padrão das cores define se as cores das legendas serão atribuídas automaticamente ou manualmente.

Para configurar o Padrão das Cores de Legenda:

- 1- Acesse a janela do gerador em **Busca>Geração de Curvas**.
- 2- Entre na seção CONFIGURAÇÃO clicando no botão  (Configurar). Conforme Figura 43.
- 3- Clique no botão  (Editar Configuração). Surgirão em seu lugar dois novos botões, para cancelar e para salvar as alterações, conforme Figura 44.
- 4- No quadro “Padrão das Cores” informe:
 - a. 9-Padrão das Cores: Escolha entre Aleatório e Manual.
- 5- Clique no botão  (Salvar) para salvar as alterações da configuração.

Obs: Caso queira cancelar a operação “Editar”, clique no botão  (Cancelar) antes de salvar.

4.4. ALGORÍTMO DE GERAÇÃO DA CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO

Com base nos estudos e testes realizados, o algoritmo desenvolvido proposto para gerar a curva tensão-deformação a partir das propriedades contidas no banco de dados modelado, necessita de quatro pontos distintos para manter uma similaridade com a curva real. São eles:

- 1) **Limite de Proporcionalidade:** definirá o limite da curva na região elástica a partir do ponto inicial (0,0).
- 2) **Limite de Escoamento:** representará a região de escoamento.
- 3) **Limite de Resistência à Tração:** será o ponto de tensão máxima existente na curva.
- 4) **Ponto de Ruptura:** definirá o último ponto da curva.

Para determinar as curvas entre tais pontos foi necessário calcular e definir três funções distintas: função de reta; função de tendência logarítmica; função da curva de Bézier.

4.4.1. Descrição do Algoritmo

Será descrito os passos lógicos do algoritmo desenvolvido e programado em Java presente no ANEXO I para visualização.

1) Primeiramente são criadas as variáveis responsáveis pelos quatro pontos supracitados e um vetor¹ que abrigará todos os outros pontos da curva gerada calculados a partir dos quatro pontos selecionados, a fim de ser plotado na interface responsável por imprimir o gráfico. Para uma melhor representação, tal vetor poderá possuir 100 valores de pontos para cada parte da curva, que foi dividida em quatro: do ponto inicial (0,0) até o ponto limite de proporcionalidade (d_{lp}, t_{lp})²; do ponto limite de proporcionalidade até o ponto limite de escoamento (d_{le}, t_{le})³; do ponto limite de escoamento até o ponto

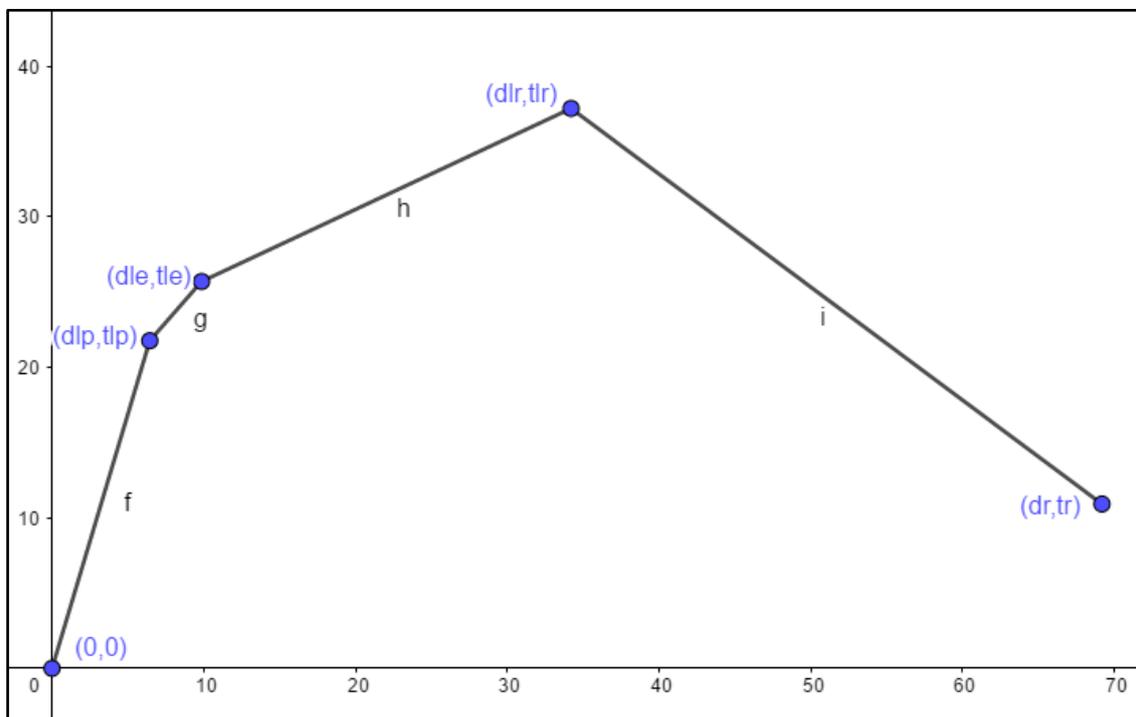
¹ Vetor em programação é uma variável indexada que pode armazenar n valores de um tipo determinado.

² d_{lp} = deformação limite de proporcionalidade (eixo x); t_{lp} = tensão limite de proporcionalidade (eixo y).

³ d_{le} = deformação limite de escoamento (eixo x); t_{le} = tensão limite de escoamento (eixo y).

limite de resistência $(dlr, tlr)^4$; do ponto limite de resistência até o ponto de ruptura $(dr, tr)^5$. Tal preparação pode ser observada na Figura 45.

Figura 45 - Representação genérica dos pontos obtidos para a geração da curva tensão-deformação.



Fonte: (Autor, 2017)

Levando em consideração a biblioteca JFreeChart com Java 8 utilizada na programação desse trabalho, basta informar dois pontos distintos que a mesma imprime no plano cartesiano uma reta entre tais pontos. Sendo assim, não é necessário definir a função de reta nem quantidades a mais de pontos que não sejam os limites para a reta da região elástica.

Já a região entre o limite de proporcionalidade e o limite de escoamento, que são geralmente muito próximos, é curta e não retilínea, os testes mostraram que se contivesse mais de dez pontos para descrever tal curva produziria um resultado visual poluído na interface utilizada.

Sendo assim, a primeira parte do vetor necessitará apenas de dois pontos, a segunda parte do vetor poderá conter apenas 10 pontos, a terceira e quarta partes produziram um resultado bom com 100 pontos. Ficando então

⁴ dlr = deformação limite de resistência (eixo x); tlr = tensão limite de resistência (eixo y).

⁵ dr = deformação de ruptura (eixo x); tr = tensão de ruptura (eixo y).

estabelecida a divisão como 2 pontos para a primeira parte, 10 pontos para a segunda, 100 pontos para a terceira e 100 pontos para a quarta, totalizando um vetor de 212 índices.

Tal divisão pode variar de acordo com a interface utilizada, porém, apenas quatro pontos continuam sendo necessários para calcular todos os outros, considerando que o ponto inicial sempre será (0,0).

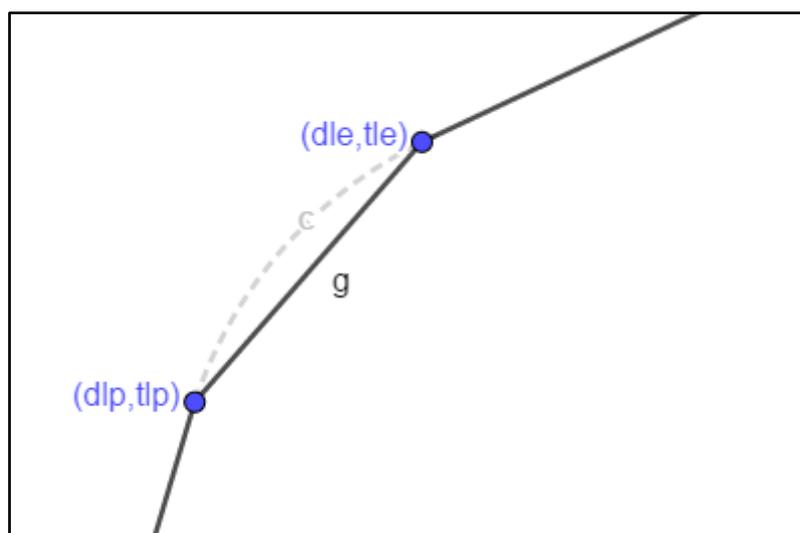
2) Então é realizada a leitura da tensão e da deformação para os quatro pontos. Podendo buscar tais valores do banco de dados ou diretamente do usuário.

3) Após a leitura dos dados é o momento de gerar todos os demais pontos da curva e preencher o vetor com os mesmos.

3.1) Os dois primeiros índices do vetor, responsáveis pela reta da região elástica, recebem (0,0) e (d_{lp}, t_{lp}) , representada pela reta f da Figura 45.

3.2) Para calcular a curva entre o limite de proporcionalidade e o limite de escoamento, uma função de tendência logarítmica do segmento de reta entre tais pontos, mostrou-se harmônica visualmente e interessante para descrevê-la, conforme demonstrado na Figura 46 pela curva c .

Figura 46 - Representação da tendência logarítmica entre um limite de proporcionalidade e um limite de escoamento genéricos.



Fonte: (Autor, 2017)

Usando a equação:

$$Y_i = a + b \cdot \ln x_i \quad (3)$$

Onde: Y_i é a tensão calculada na posição i para a deformação informada x_i na posição i .

Os cálculos do coeficiente a e do coeficiente b obedecem as seguintes equações:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n (\ln x_i \times y_i) - (\sum_{i=1}^n \ln x_i) \times \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum (\ln x_i)^2 - (\sum \ln x_i)^2} \quad (4)$$

e

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - b \times \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n} \quad (5)$$

O somatório de $i = 1$ até $i = n$ é em relação aos pontos do segmento que se deseja obter a tendência logarítmica e n é a quantidade de pontos.

Como se tem apenas dois pontos, então $n = 2$; $y_1 = tlp$; $x_1 = dlp$; $y_2 = tle$; $x_2 = dle$.

Com a e b definidos, é realizado o cálculo para os oito pontos entre o primeiro e o último. Estabelecendo uma razão de incremento para x_i ,

$$r = \frac{(x_2 - x_1)}{10} \quad (6)$$

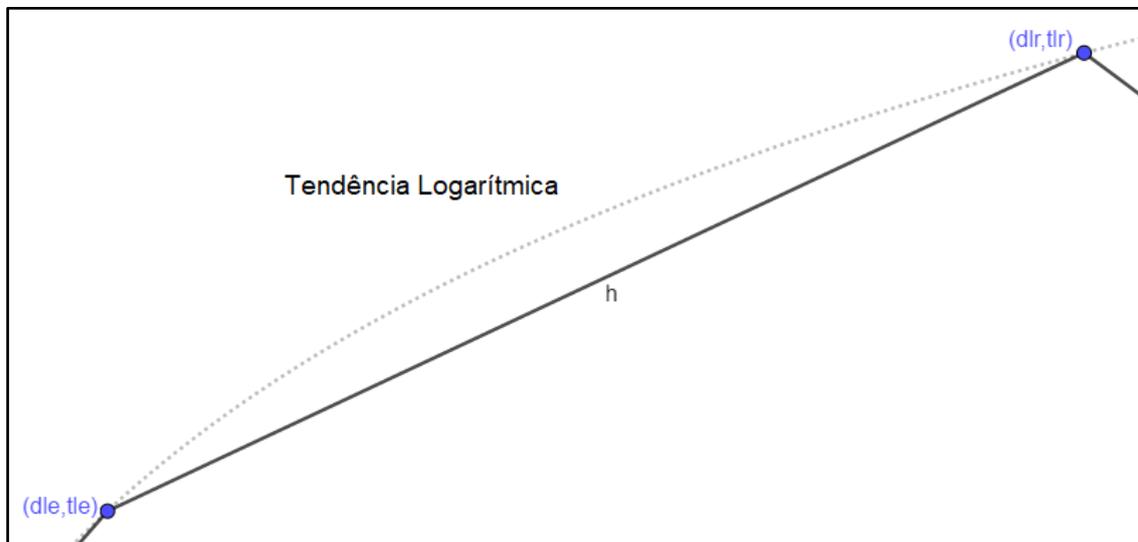
Onde na equação (3)

$$x_i = x_{i-1} + r \quad (7)$$

3.3) Para calcular a curva entre o limite de escoamento e o limite de resistência à tração, a tendência logarítmica do segmento de reta entre tais

pontos, mostrou-se igualmente harmônica visualmente e interessante para descrevê-la, conforme mostra a Figura 47.

Figura 47 - Representação da tendência logarítmica entre um limite de escoamento e um limite de resistência genéricos.



Fonte: (Autor, 2017)

Os passos realizados são os mesmos do item 3.2, as equações (3), (4) e (5) são aplicadas agora para os pontos (dle,tle) e (dlr,tlr) .

Como se tem apenas dois pontos, então $n = 2$; $y_1 = tle$; $x_1 = dle$; $y_2 = tlr$; $x_2 = dlr$.

Com a e b definidos, é realizado o cálculo para os noventa e oito pontos entre o primeiro e o último. Estabelecendo uma razão de incremento para x_i , agora dividida por 100.

$$r = \frac{(x_2 - x_1)}{100} \quad (8)$$

Onde na equação (3) aplica-se (7) com nova razão calculada em (8).

3.4) Para calcular a curva entre o limite de resistência à tração e o ponto de ruptura, uma função da curva de Bézier com três pontos, mostrou-se interessante para tal comportamento.

Obedecendo a equação geral:

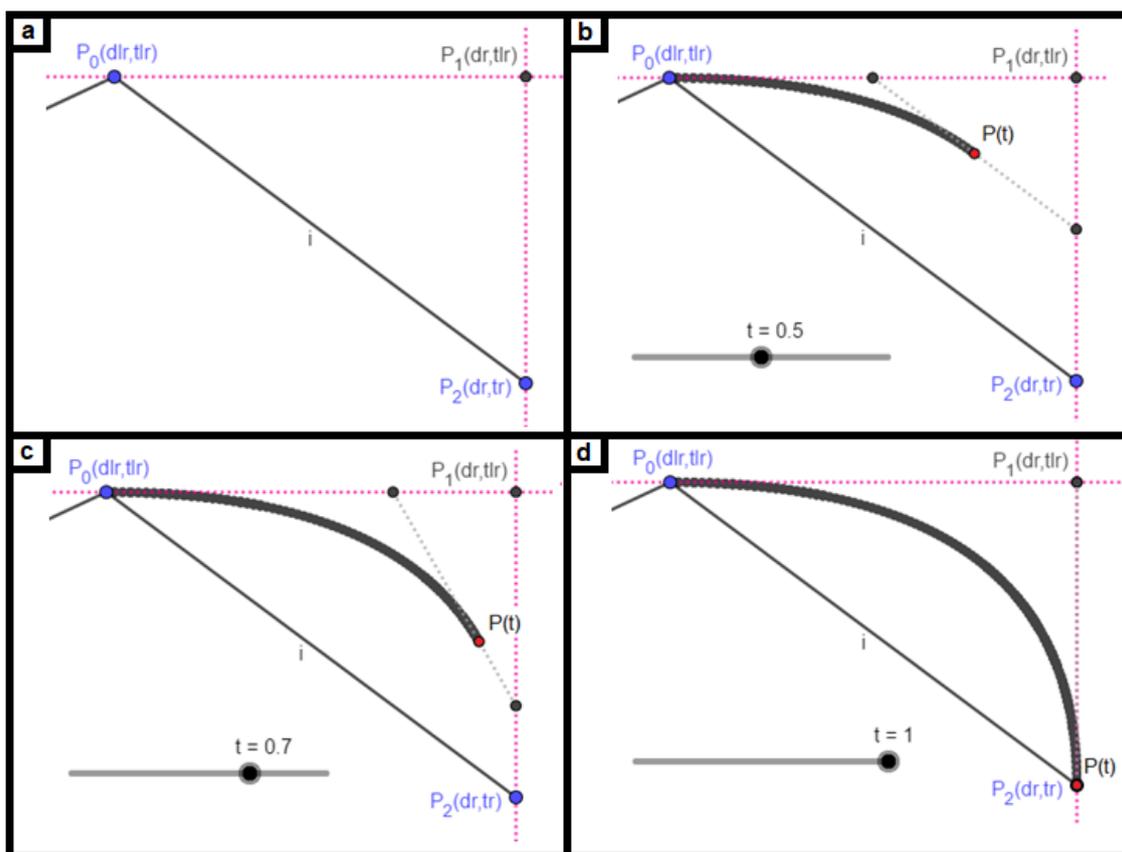
$$\sum_{i=0}^n \binom{n}{i} (1-t)^{n-1} t^i P_i, \quad t \in \mathbb{R}, 0 \leq t \leq 1 \quad (9)$$

Onde n é a quantidade de pontos de controle, obtêm-se os demais pontos da curva para três pontos de controle P_0, P_1 e P_2 através da equação:

$$P(t) = (1-t)^2 P_0 + 2t(1-t)P_1 + t^2 P_2 \quad (10)$$

Sendo P_0 o limite de resistência (dlr,tlr), P_1 a deformação de ruptura e a tensão limite de resistência (dr,tlr) e P_2 o ponto de ruptura (dr, tr) ilustrado na Figura 48.a, variando t de 0 a 1 ao passo 0,01, a curva gerada apresentará um comportamento demonstrado na Figura 48.b, c e d.

Figura 48 - Comportamento da curva de Bézier aplicada entre um limite de resistência e um ponto de ruptura genéricos, de acordo com a variação de t .



Fonte: (Autor, 2017)

3) Após gerados todos os demais pontos da curva no vetor, o mesmo é carregado na interface responsável por imprimir o gráfico e assim visualizado.

Nota-se no relatório da Figura 49 que a tensão de escoamento encontrada pelo programa Tesc versão 3.04 não corresponde ao real valor visualizado facilmente através do gráfico que está entre 320 e 330 MPa aproximadamente. Não sendo relevantes para o teste os valores sugeridos pelo programa em questão.

Ao carregar a matriz de dados do ensaio na tela de geração de curva do SBGCCM, o programa encontra os valores mais próximos dos pontos necessários conforme a Entrada 2 na Figura 50.

Figura 50 - Tela de entrada dos dados para geração de curva tensão-deformação do SBGCCM com a matriz de dados do ensaio do aço HX300LAD.

The screenshot shows the SBGCCM software interface with the following data:

Coordenadas:	
1- Limite de Proporcionalidade	
Tensão:	317.413
Deformação:	2.122
2- Limite de Escoamento	
Tensão:	320.522
Deformação:	2.353
3- Limite de Resistência	
Tensão:	397.662
Deformação:	29.032
4- Ponto de Ruptura	
Tensão:	0.08
Deformação:	46.866

Fonte: (Autor, 2017)

Então tais valores foram copiados para uma nova entrada manual (Entrada 1) conforme mostra a Figura 51

Figura 51 - Tela de entrada dos dados manual para geração de curva tensão-deformação do SBGCCM com dados copiados do ensaio do aço HX300LAD

The screenshot shows a software interface with the following components:

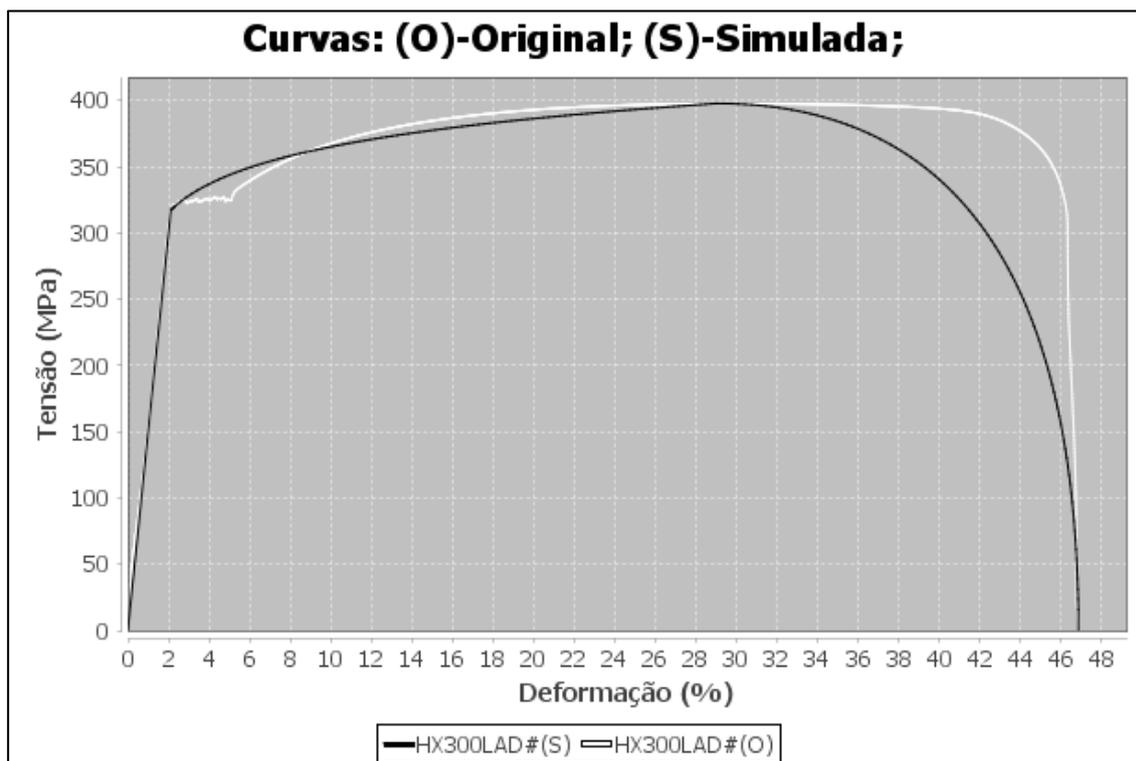
- Entrada 1** and **Entrada 2** tabs at the top.
- Apresentação** section:
 - Legenda:** HX300LAD
 - Cor:** [Redacted]
- Entrada** section:
 - Manual** tab selected.
 - Descrição:** Entrada manual do aço HX 300 LAD, para teste de comparação da curva simulada com a curva original.
- Coordenadas:** A table listing key points on the stress-strain curve:

1- Limite de Proporcionalidade	
Tensão:	317.413
Deformação:	2.122
2- Limite de Escoamento	
Tensão:	320.522
Deformação:	2.353
3- Limite de Resistência	
Tensão:	397.662
Deformação:	29.032
4- Ponto de Ruptura	
Tensão:	0.08
Deformação:	46.866

Fonte: (Autor, 2017)

Ao visualizar as curvas, as mesmas são sobrepostas e geram o gráfico presente na Figura 52, onde a curva original está representada na cor branca e a curva gerada pelo algoritmo está representada na cor preta.

Figura 52 - Curvas tensão-deformação original e simulada do aço HX 300 LAD sobrepostas.



Fonte: (Autor, 2017)

Ao analisar a Figura 52 percebe-se uma similaridade quanto à forma das curvas e uma proximidade relevante quanto aos quatro pontos utilizados na simulação. Embora a curva original, em branco, apresente uma região de escoamento bem definida e a curva simulada, em preto, não acompanhe tal região, o limite de escoamento é o mesmo para as duas. Assim como o limite de resistência e o ponto de ruptura também são similares nas duas curvas, mesmo que a curva entre eles não acompanhe o mesmo comportamento.

O primeiro teste apresentou um resultado satisfatório de geração de curva tensão-deformação e uma similaridade interessante entre a curva original e a curva simulada pelo algoritmo.

4.4.4. Segundo teste do Algoritmo

Para o segundo teste foi utilizada a amostra do aço 240 B2 que produziu uma curva tensão-deformação demonstrada no relatório de ensaio da Figura 53.

Figura 54 - Tela de entrada dos dados para geração de curva tensão-deformação do SBGCCM com a matriz de dados do ensaio do aço 240 B2.

The screenshot shows a software interface for data entry. At the top, there are two tabs: 'Entrada 1' (selected) and 'Entrada 2'. The interface is divided into several sections:

- Apresentação:**
 - Legenda: 240B2
 - Cor: TROCAR
- Entrada:**
 - Arquivo Texto do Ensaio
 - File selection path: C:\Users\Rafael\Google Drive\documentos\Artigos\Artigo\dados\CURVA CP3 240B2
- Corpo de Prova:**
 - Base: (Comprimento) 50
 - Largura: (empty)
 - espessura: (empty)
 - Área inicial: 18.22
- Coordenadas:**

1- Limite de Proporcionalidade	
Tensão:	215.999
Deformação:	1.629
2- Limite de Escoamento	
Tensão:	230.977
Deformação:	1.948
3- Limite de Resistência	
Tensão:	322.942
Deformação:	31.42
4- Ponto de Ruptura	
Tensão:	2.467
Deformação:	53.148

Fonte: (Autor, 2017)

Então tais valores foram copiados para uma nova entrada manual (Entrada 1) conforme mostra a Figura 55

Figura 55 - Tela de entrada dos dados manual para geração de curva tensão-deformação do SBGCCM com dados copiados do ensaio do aço 240 B2

The screenshot shows a software window with two tabs: 'Entrada 1' and 'Entrada 2'. The main area is divided into three sections:

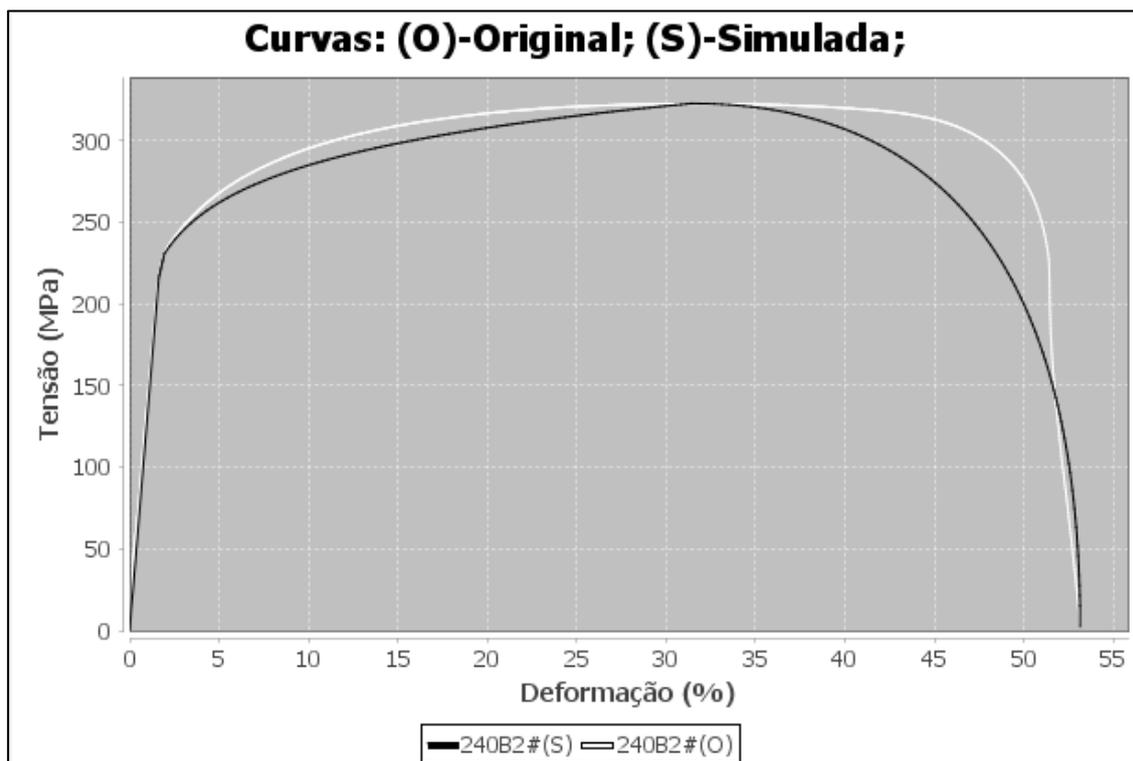
- Apresentação (Presentation):** Contains a 'Legenda:' field with the value '240B2' and a 'Cor:' field with a black color selection box.
- Entrada (Input):** Features a 'Manual' button and a 'Descrição:' text area containing the text: 'Entrada manual do aço 240 B2 para teste de comparação da curva simulada com a curva original.'
- Coordenadas (Coordinates):** A table listing key points from a stress-strain curve. The table has two columns: 'Tensão' (Stress) and 'Deformação' (Strain).

1- Limite de Proporcionalidade	
Tensão:	215.999
Deformação:	1.629
2- Limite de Escoamento	
Tensão:	230.977
Deformação:	1.948
3- Limite de Resistência	
Tensão:	322.942
Deformação:	31.42
4- Ponto de Ruptura	
Tensão:	2.467
Deformação:	53.148

Fonte: (Autor, 2017)

Ao visualizar as curvas, as mesmas são sobrepostas e geram o gráfico presente na Figura 56, onde a curva original está representada na cor branca e a curva gerada pelo algoritmo está representada na cor preta.

Figura 56 - Curvas tensão-deformação original e simulada do aço 240 B2 sobrepostas.



Fonte: (Autor, 2017)

Ao analisar a Figura 56 percebe-se uma similaridade quanto à forma das curvas e uma proximidade relevante quanto aos quatro pontos utilizados na simulação. Embora as curvas entre o limite de escoamento e o limite de resistência não apresentem comportamentos idênticos, os limites são os mesmos e a curvatura é muito próxima. Assim como o limite de resistência e o ponto de ruptura também são similares nas duas curvas, mesmo que a curva entre eles não acompanhe o mesmo comportamento.

O segundo teste apresentou um resultado satisfatório de geração de curva tensão-deformação e uma similaridade interessante entre a curva original e a curva simulada pelo algoritmo.

4.4.5. Terceiro teste do Algoritmo

Para o terceiro teste foi utilizada a amostra do aço 340 LA que produziu uma curva tensão-deformação demonstrada no relatório de ensaio da Figura 57.

Figura 58 - Tela de entrada dos dados para geração de curva tensão-deformação do SBGCCM com a matriz de dados do ensaio do aço 340 LA.

The screenshot shows a software interface for data entry. At the top, there are two tabs: 'Entrada 1' (selected) and 'Entrada 2'. The interface is divided into several sections:

- Apresentação:** 'Legenda:' field contains '340LA'. 'Cor:' field has a 'TROCAR' button.
- Entrada:** 'Arquivo Texto do Ensaio' section with a file selection icon and a text box containing the file path: 'gle Drive\documentos\Artigos\Artigo\dados\CURVA CP4 340LA (21-12-2017) .txt'.
- Corpo de Prova:** 'Base: (Comprimento)' is 50. 'Largura:' and 'espessura:' are empty. 'Área inicial:' is 10.83.
- Coordenadas:** A table with four rows of key points:

1- Limite de Proporcionalidade	
Tensão:	342.05
Deformação:	1.531
2- Limite de Escoamento	
Tensão:	345.014
Deformação:	1.746
3- Limite de Resistência	
Tensão:	426.223
Deformação:	25.014
4- Ponto de Ruptura	
Tensão:	291.367
Deformação:	41.61

Fonte: (Autor, 2017)

Então tais valores foram copiados para uma nova entrada manual (Entrada 1) conforme mostra a Figura 59

Figura 59 - Tela de entrada dos dados manual para geração de curva tensão-deformação do SBGCCM com dados copiados do ensaio do aço 340 LA

The screenshot shows a software window with two tabs: 'Entrada 1' and 'Entrada 2'. The 'Entrada 1' tab is active. The interface is organized into three main panels:

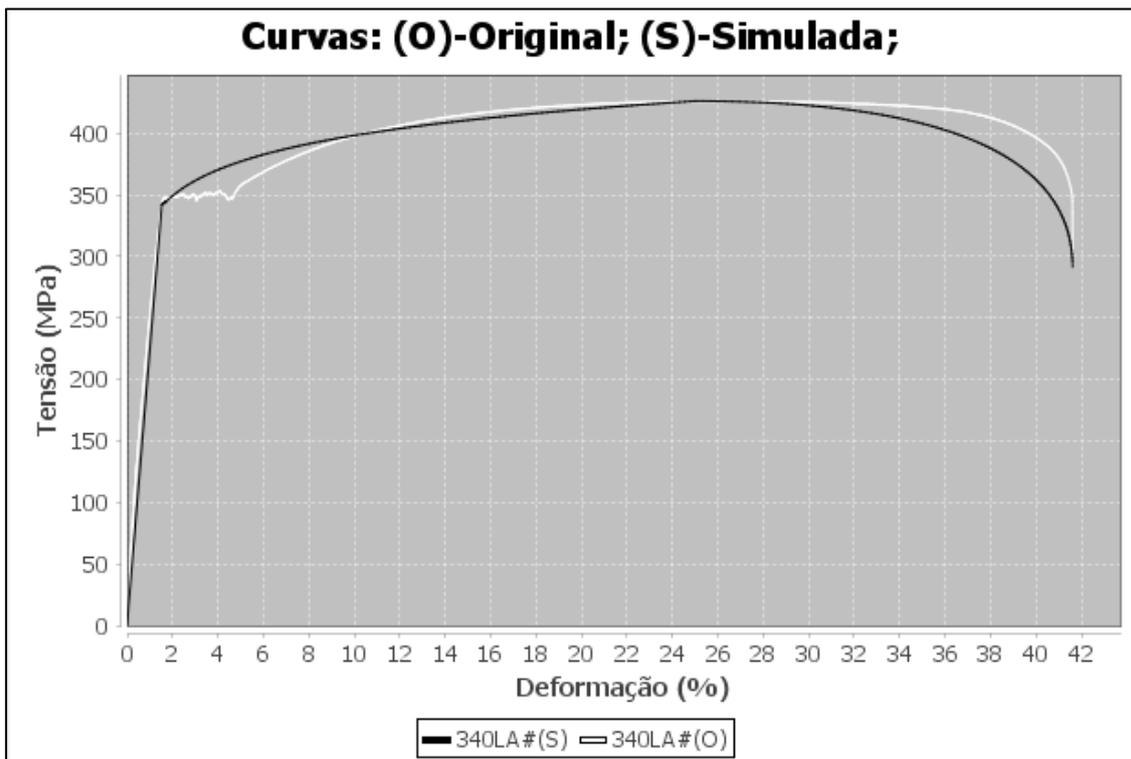
- Apresentação (Presentation):** Contains a 'Legenda:' field with the value '340LA' and a 'Cor:' field with a black color selection box.
- Entrada (Input):** Features a 'Manual' button and a 'Descrição:' text area containing the text: 'Entrada manual do aço 340 LA para teste de comparação da curva simulada com a curva original.'
- Coordenadas (Coordinates):** A table listing key points on the stress-strain curve. The table has two columns: 'Tensão' (Stress) and 'Deformação' (Strain).

1- Limite de Proporcionalidade	
Tensão:	342.05
Deformação:	1.531
2- Limite de Escoamento	
Tensão:	345.014
Deformação:	1.746
3- Limite de Resistência	
Tensão:	426.223
Deformação:	25.014
4- Ponto de Ruptura	
Tensão:	291.367
Deformação:	41.61

Fonte: (Autor, 2017)

Ao visualizar as curvas, as mesmas são sobrepostas e geram o gráfico presente na Figura 60, onde a curva original está representada na cor branca e a curva gerada pelo algoritmo está representada na cor preta.

Figura 60 - Curvas tensão-deformação original e simulada do aço 340 LA sobrepostas.



Fonte: (Autor, 2017)

Ao analisar a Figura 60 percebe-se uma similaridade quanto à forma das curvas e uma proximidade relevante quanto aos quatro pontos utilizados na simulação. Embora a curva original, em branco, apresente uma região de escoamento bem definida e a curva simulada, em preto, não acompanhe tal região, o limite de escoamento é o mesmo para as duas. Assim como o limite de resistência e o ponto de ruptura também são similares nas duas curvas, mesmo que a curva entre eles não acompanhe o mesmo comportamento.

O terceiro teste apresentou um resultado satisfatório de geração de curva tensão-deformação e uma similaridade interessante entre a curva original e a curva simulada pelo algoritmo.

5. CONCLUSÕES

O programa / aplicativo desenvolvido e proposto por esta dissertação mostrou-se uma ferramenta útil e com grande potencial para utilização na comunidade científica, nas indústrias e nas instituições de ensino que necessitam de informações sobre metais ferrosos, suas imagens, microestruturas e propriedades.

Seu banco de dados cresce e se renova à medida que novas informações são inseridas, sendo que sua estrutura simples permite tal crescimento sem grandes impactos de recursos e custos. Mesmo sendo modelado de forma compacta, consegue armazenar e fornecer as informações mais importantes e necessárias em uma busca inicial por metais que atendam determinadas propriedades.

A geração de curva de comportamento mecânico tensão-deformação mostrou-se eficiente, com apenas quatro pontos necessários para simular o comportamento esperado da curva. Os testes mostraram que a curva simulada pelo algoritmo desenvolvido, assemelha-se em forma e iguala-se em limites, no que diz respeito ao limite de proporcionalidade, limite de escoamento, limite resistência e ponto de ruptura. Criando assim, um modelo interessante para simulação e visualização do comportamento mecânico de metais ferrosos.

Sua interface amigável, limpa e bastante intuitiva vai de encontro com as necessidades atuais de demandas em softwares, contribuindo também para uma melhor aceitação pelas comunidades. Além de ser multiplataforma e de código aberto, o que permite sua expansão e melhoria por futuros pesquisadores e desenvolvedores.

É importante ressaltar que o aplicativo atende o objetivo proposto, porém ainda não foi implantado e testado junto ao usuário final até a data da defesa do trabalho. E por integrar um banco de dados próprio, sua implantação pode exigir alguns cuidados relativos a hardware e outros recursos, assim como adaptações durante o processo.

6. TRABALHOS FUTUROS

O aplicativo foi desenvolvido com o cuidado e a preocupação de poder ser expandido e melhorado, contribuindo cada vez mais para suprir as necessidades do meio acadêmico e corporativo, ajustando-se e transformando-se em ferramenta poderosa para as comunidades.

Sendo assim algumas sugestões de melhorias e trabalhos futuros podem ser elencadas:

- 1- Seu Banco de Dados tendo uma modelagem flexível e bem elaborada, pode ajustar-se para trabalhar no futuro com outros tipos de materiais, como polímeros e compósitos por exemplo.
- 2- Possui programação pronta para uma fácil mudança e migração de banco de dados, podendo assim mudar para SGBDs mais poderosos se necessário.
- 3- O banco de dados separado do software pode ser disponibilizado via redes de comunicação, como a internet, ampliando sua área de alcance para pesquisas.
- 4- Desenvolver outras interfaces de acesso às informações, como por exemplo, aplicativos para dispositivos móveis ou páginas para internet.
- 5- A geração de curvas de comportamento mecânico só trabalha com dados relativos ao ensaio de tensão-deformação, mas novas melhorias podem desenvolver outros tipos de gráficos e diagramas referentes às propriedades e comportamento dos materiais, assim como relacionar microestruturas próprias a pontos específicos da curva gerada.
- 6- Adicionar funcionalidades diversas para tratamento e análise das imagens de microestruturas armazenadas no banco de dados.

7. REFERÊNCIAS

ALEXANDRUK, Marcos. **Modelagem de banco de dados**. São Paulo: Unilivros, 2011.

ANTUNES, L. L. **Tudo sobre os metais e suas propriedades**. Jornal da Engenharia de Materiais, São Paulo, 2012.

ASSUNÇÃO, A. **Effect of composition, environmental factors and cement-lime mortar coating on concrete carbonation**. Material and Structures, 2007.

ASTM E 8M. 01 **Standard Test Methods of Tension Testing Metallic Materials**, 2002

BATISTA, Marlon Roberto. **Desenvolvimento de um web service em Java com estudo de caso**. Relatório. Universidade do Planalto Catarinense. Informática. Lages, 2005.

BEER, F, JOHNSTON, R, DEWOLF, J, & MAZUREK, D. (2009). **Mechanics of materials**. New York: McGraw-Hill companies.

BERTOLDI, Evandro. **ANÁLISE DE ENSAIOS DE DUREZA BRINEL E ROCKWELL EM CORPO DE PROVA**. 4^a Semana internacional de engenharia e economia. 2014. Horizontina. 2014.

BERGSTEN, H. **JavaServer Pages™, 2nd Edition**. Sebastopol: O'Reilly & Associates, 2002. Disponível em: <https://www.dcc.fc.up.pt/~zp/aulas/0607/es/geral/bibliografia/O'Reilly%20-%20JavaServer%20Pages_2nd%20Edition.pdf> Acesso em: setembro/2017.

BRAZ, C. C. M. **Introdução à Linguagem Java** (2015) Disponível em: <<http://www-usr.inf.ufsm.br/~cassel/minicursos/java/java.pdf>> Acesso em: setembro/2017.

CHEN, Peter Pin-Shan. **Entity-relationship modeling: historical events, future trends, and lessons learned**. In: Software pioneers. Springer Berlin Heidelberg, 2002. p. 296-310.

_____. **Modelagem de Dados - a Abordagem Entidade-relacionamento para Projeto Lógico**. Tradução da 2ª ed. Editora Macron Books, 1990.

_____. **The entity-relationship model—toward a unified view of data**. ACM Transactions on Database Systems (TODS), v. 1, n. 1, p. 9-36, 1976.

CLIMET, G. **Presence and importance of organochlorine solvents and other Compounds**. Journal Metals, 2013.

DOUGLAS, K. B. **Web Services and Service-Oriented Architecture: The Savvy Manager's Guide**. Morgan Kaufmann Publishers, 2003.

ELENADRO, R. P. **Guia das fundições de metais ferrosos**. Revista Fundação e Serviços, São Paulo, v. 19, 2010.

ESSEL. **Dureza Brinell. 2011**. Disponível em: <http://essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa11.pdf>. Acesso: agosto de 2017.

FARIA, T. **JAVA EE 7: Com JSF, Primefaces e CDI**. Algaworks, 2010.

FOWLER, Martin. **UML Essencial: Um Breve Guia para a Linguagem Padrão de Modelagem de Objetos**. Tradução de João Tortello. – 3ª ed – Porto Alegre: Bookman, 2005.

FIREBIRD Foundation - **Public Documentation License**. 2005. Disponível em: <<http://fsfeurope.org/documents/freesoftware>>. Acesso em: agosto de 2017.

FSFEUROPE - Free Software Foundation Europe. **What is a freesoftware?**. 2017. Disponível em: <<http://fsfeurope.org/documents/freesoftware>>. Acesso em: agosto de 2017.

GABARDO, P. **Conhecendo os Metais Ferrosos e outros**. Globo: São Paulo, 2011

GONZALES, R. B. **Anaerobic transformation of chlorinated aliphatic hydrocarbons in a sand aquifer based on spatial chemical distribution**; Water Resources Research, 2009.

GORU, R. **Ceramic Materials, Science and Engineering**; Springer, 2011.

GONÇALVES, Rodrigo. **Banco de Dados Firebird. 2006**. Disponível em: <http://www.goncalves.pro.br/artigos/apostilaFirebird.pdf> Acesso em: setembro/2017.

GRAHAM, Steve et al. **Building Web Services with Java: Making Sense of XML, SOAP, WSDL, and UDDI**. Indianapolis: Sams Publishing, 2001. 600 p.

GREEN, L. **composition on corrosion of cast iron and copper**; 2nd International Conference Lisbon, Portugal, 2010.

GRAVAN, N. N. **Environmental Aspects of the Metal Finishing Industry**. A Technical Guide, 2008.

JAVA. **Obtenha Informações sobre a Tecnologia Java (2016)** Disponível em: <https://www.java.com/pt_BR/about/> Acesso em: setembro/2017.

LEAL, E. **Metais Ferrosos e a transformação**. Globo: São Paulo, 2009.

LIMA, K.; **Aços Microestrutura e Propriedades**; Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

LORENZO, T. **EIS on plasma-polymerise coatings used as pre-treatment for aluminium alloys**, 2009.

_____. **Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LPDE and HPDE) and polypropylene (PP)**; Journal of Hazardous Materials, 2014.

LUCKOW, D. H; MELO, A. A. **Programação Java para a Web**. São Paulo: Novatec Editora, 2010.

MOREIRA, José Joaquim Magalhães. **WSQL: uma arquitectura de software baseada em Web Services** (2005) Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11646/2/Texto%20integral.pdf>> Acesso em: setembro/2017.

NASSU, Euginio A. **Banco de dados orientados a objetos**. São Paulo: Blucher, 1999.

NEWCOMER, Eric. **Understanding Web Services: XML, WSDL, SOAP and UDDI**. Addison-Wesley, 2002.

ORACLE. **Oracle Java SE and Oracle Java Embedded Products**. 2015. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/documentation/java-se-product-editions-397069.pdf>> Acesso em: setembro/2017.

_____. **NETBEANS IDE 8.2 ("Product") LICENSE AGREEMENT**. 2016. Disponível em: <<https://netbeans.org/downloads/licence/8.2/nb82-LICENSE.txt>> Acesso em: setembro/2017.

PURPER, B. V. **Caracterização das propriedades mecânicas e magnéticas de um aço inoxidável AISI 304**. UNIVATES, Lajeado, 2016.

RODRIGUES, Sérgio. **Modelagem conceitual**. 2004. Disponível em: http://www.sergiorodrigues.net/aulas/downloads/bd1/bd1_apostila2_Modelagem.pdf Acesso em: setembro/2017.

SANTOS, J. K. **Aço, Metal e suas propriedades**. Globo: São Paulo, 2008.

SANTOS, L. **Industrial ecology: a historical view**. Journal of Cleaner Production. v.5, 2015.

SANTOS, R. C; JORGE, E. M. F. **Java Server Pages (JSP)** (2008) Disponível em:
<http://javafree.uol.com.br/files_user/files/A/74/F8/Tutorial_JSP1.pdf> Acesso em: setembro/2017.

SETZER, Valdemar W.; SILVA, Flávio Soares Corrêa da. **Bancos de dados**: aprenda o que são, melhore seu conhecimento, construa os seus. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

SILBERSCHATZ, Abraham; KORTH, Henry F.; SUDARSHAN, S.. **Sistema de banco de dados**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1999.

SILVA, F. **Introdução à Linguagem Java** (2015) Disponível em:
<http://www.dcc.fc.up.pt/~fds/aulas/EDados/1314/Apontamentos/java_1a87-1x2.pdf> Acesso em: setembro/2017.

SONG, Il-Yeol; FROEHLICH, Kristin. Entity-relationship modeling. **IEEE Potentials**, v. 13, n. 5, p. 29-34, 1994.

SOUZA, L. **Stagnation time, composition, pH, and ortophosphate effects on metal leaching from brass**; EPA, 2009.

STAFF, K. **The effect of age on manganese uptake and retention from milk and infant formulas in rats**; Journal of Metals, 2010.

8. ANEXO I

Algoritmo de geração de curva de comportamento mecânico Tensão-Deformação programado em Java.

CLASSE util.Valida:

```

// MÉTODO PARA CALCULAR a E b DA TENDÊNCIA LOGARÍTMICA.
public static double[] abTendenciaLogaritmica(double[][] coordenadas,
int ajuste) {
    //cooedernadas [x][y]
    double[] ab = new double[2];
    int n = coordenadas.length / ajuste;

    double slnX = 0;
    double sY = 0;
    double slnXy = 0;
    double slnX2 = 0;

    for (int i = 0; i < n; i++) {
        slnX += Math.log(coordenadas[i][0]);
        sY += coordenadas[i][1];
        slnXy += (Math.log(coordenadas[i][0]) * coordenadas[i][1]);
        slnX2 += Math.pow(Math.log(coordenadas[i][0]), 2);
    }

    ab[1] = (n * slnXy - slnX * sY) / (n * slnX2 - Math.pow(slnX, 2));
    ab[0] = (sY / n) - ab[1] * (slnX / n);

    return ab;
}

```

```

// MÉTODO PARA CALCULAR O y DA TENDÊNCIA LOGARÍTMICA.
public static double getYLogaritmico(double a, double b, double x) {
    return a + b * Math.log(x);
}

```

```

// MÉTODO PARA CALCULAR x OU y DE UM PONTO QUALQUER DA
CURVA DE BÉZIER.
public static double getXCurvaBezier(double v0, double v1, double
v2, double t) {
    return Math.pow((1 - t), 2) * v0 + (1 - t) * 2 * t * v1 + Math.pow(t, 2) *
v2;
}

```

// MÉTODO PARA GERAR 100 PONTOS DA CURVA DE BÉZIER A PARTIR DOS 3 PONTOS INFORMADOS.

```

public static double[][] get100CurvaBezier3p(double x0, double y0,
double x1, double y1, double x2, double y2) {
    int qtdPontos = 100;
    double[][] pontos = new double[2][qtdPontos];
    pontos[0][0] = x0;//x
    pontos[1][0] = y0;//y

    pontos[0][qtdPontos - 1] = x2;
    pontos[1][qtdPontos - 1] = y2;

    double t = 0.0;
    double razao = 0.01;
    for (int i = 1; i < (qtdPontos - 1); i++) {
        t += razao;
        pontos[0][i] = getXCurvaBezier(x0, x1, x2, t);
        pontos[1][i] = getYCurvaBezier(y0, y1, y2, t);
    }
    return pontos;
}

```

// MÉTODO PARA CALCULAR O PONTO x1 E RETORNAR A CURVA DE BÉZIER VOLTADA PARA A DIREITA.

```

public static double[][] get100PontosCurvaBezierDiteita(double x0,
double y0, double x2, double y2) {
    double x1 = x2;
    double y1 = y0;
    return get100CurvaBezier3p(x0, y0, x1, y1, x2, y2);
}

```

// MÉTODO PRINCIPAL PARA GERAR OS PONTOS DA CURVA.

```

public static double[][] gerarCurvaComportamentoMecanico(double
xLP, double yLP, double xLE, double yLE, double xLR, double yLR, double
xPR, double yPR) {
    double curva[][];
    double pontos[][] = new double[2][2];
    double ab[];
    double razao = 0;
    double[][] data = new double[2][211];
    double tlp, dlp, tle, dle, tlr, dlr, tr, dr;

    tlp = yLP; dlp = xLP; tle = yLE; dle = xLE; tlr = yLR; dlr = xLR;
    tr = yPR; dr = xPR;
    //##### RETA PROPORCIONAL #####
    data[0][0] = 0;
    data[1][0] = 0;
    data[0][1] = dlp;
    data[1][1] = tlp;
}

```

```

##### ESCOAMENTO #####
//intervalo lp - le
razao = (dle - dlp) / 10;
data[0][10] = dle;//x
data[1][10] = tle;//y

pontos = new double[2][2];
pontos[0][0] = data[0][1];
pontos[0][1] = data[1][1];
pontos[1][0] = data[0][10];
pontos[1][1] = data[1][10];
ab = util.Valida.abTendenciaLogaritmica(pontos, 1);

for (int i = 2; i < 10; i++) {
    data[0][i] = data[0][i - 1] + razao; // deformação
    data[1][i] = util.Valida.getYLogaritmico(ab[0], ab[1], data[0][i]);
//tensão
}

##### RESISTENCIA #####
//intervalo le - lr
razao = (dlr - dle) / 100;
data[0][110] = dlr;//x
data[1][110] = tlr;//y

pontos[0][0] = data[0][10];
pontos[0][1] = data[1][10];
pontos[1][0] = data[0][110];
pontos[1][1] = data[1][110];
ab = util.Valida.abTendenciaLogaritmica(pontos, 1);

for (int i = 11; i < 110; i++) {
    data[0][i] = data[0][i - 1] + razao; // deformação
    data[1][i] = util.Valida.getYLogaritmico(ab[0], ab[1], data[0][i]);
//tensão
}

##### RUPTUTA #####
//intervalo lr - pr
data[0][210] = dr;//x
data[1][210] = tr;//y
curva = util.Valida.get100PontosCurvaBezierDiteita(data[0][110],
data[1][110], data[0][210], data[1][210]);

for (int i = 0; i < 100; i++) {
    data[0][i + 111] = curva[0][i]; //deformação
    data[1][i + 111] = curva[1][i]; //tensão
}
return data;
}

```