



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE
E AUTOMAÇÃO - CECAU**



LUIZ GUSTAVO PEDROSA DE MELO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR OFFLINE PARA A
LAMINAÇÃO DE TIRAS A QUENTE**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2019

LUIZ GUSTAVO PEDROSA DE MELO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR OFFLINE PARA A
LAMINAÇÃO DE TIRAS A QUENTE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis

**Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
2019**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M528d Melo, Luiz Gustavo Pedrosa De .
Desenvolvimento de um simulador offline para a laminação de tiras à quente.
[manuscrito] / Luiz Gustavo Pedrosa De Melo. - 2020.
31 f.: il.: color., gráf..

Orientador: Prof. Dr. Agnaldo da Rocha Reis.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

1. Simulação (Computadores). 2. Laminação (Metalurgia) . 3. Siderurgia. I. Reis, Agnaldo da Rocha. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 681.2

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB: 1716

A comissão avaliadora constituída pelos professores Agnaldo José da Rocha Reis, Adrielle de Carvalho Santana e André Almeida Santos atesta que a monografia intitulada “Desenvolvimento De Um Simulador Offline Para A Laminação De Tiras A Quente” foi defendida e aprovada em 13 de dezembro de 2019.



Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis – Coorientador



Profa. Me. Adrielle de Carvalho Santana – Professora Convidada



Prof. André Almeida Santos – Professor Convidado

Este trabalho é dedicado a quem sempre acreditou no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

A contagem regressiva enfim terminou. E é com muito orgulho que me recordarei desta jornada. Gostaria de agradecer a Deus por este momento. Agradecer a minha mãe, Viviane, que sempre acreditou no meu potencial e ao meu pai, Gustavo, pelos incontáveis conselhos. Às minhas irmãs Beatriz e Laura, pelo carinho. Aos meus avós, Maria José, Marcos e Maria da Conceição (In Memoriam), por serem meus exemplos de vida. Aos tios, tias e primos, pelo apoio incondicional.

A experiência de sair de casa e estudar em Ouro Preto, foi única, inesquecível e fundamental para meu crescimento pessoal e profissional. Me resta agradecer: À UFOP, pelo ensino público, gratuito e de qualidade, esta que sempre será uma de minhas bandeiras. Aos professores da Escola de Minas pelo conhecimento lecionado, em especial ao meu orientador e amigo Agnaldo. Também à Equipe de Robótica Sucatão, Automic Jr, NEI e aos amigos da banda Bloopers. À Gerdau, pela primeira experiência profissional. Aos companheiros de longa data de Diamantina, em especial à Talita. Aos amigos: Amanda, André, Arthur, Batata, FakeDoi, Gabgol, Guilherme, Rafael e Wallison. E por último, agradecer aos "revolucionários" da República Kasa Cheia: Bia, Diego, Fernando, Marcelo, Matheus, Taylan, Thaís, Victor e Wilson.

“Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo.” (Paulo Freire)

RESUMO

O processo de laminação de Bobinas à Quente é uma das atividades mais rentáveis da siderurgia brasileira, portanto, é um dos assuntos mais estudados pelas áreas de pesquisa e desenvolvimento das indústrias que contém tal produto. Um dos campos de pesquisa que tem se tornado foco das usinas é a simulação de processos. A simulação off-line do processo metalúrgico em uma linha industrial traz vários benefícios, tais como: avaliação da influência dos principais parâmetros que afetam os resultados do processo, comparação entre diferentes configurações, maior assertividade em ajustes operacionais, otimização de processos e redução de testes para desenvolvimento de novos produtos. Com este objetivo, um software para simulação off-line do laminador de tiras a quente foi desenvolvido com base na lógica dos cálculos implementados no modelo online. O software resulta em variáveis importantes do processo tais como o esquema de passes de laminação, força, torque e potência em cada passe, temperatura e a tensão média de escoamento do material simulado. Durante a laminação, a tira apresenta diferentes temperaturas e tempos entre passes para diferentes pontos ao longo do comprimento da tira, que influenciam diretamente na resistência a quente do produto e conseqüentemente nas variáveis calculadas, assim os cálculos executados pelo software foram divididos em três pontos da tira: cabeça, corpo e cauda trazendo os resultados individuais para cada uma dessas posições.

Palavras-chaves: Simulação Computacional; Laminação de Tiras a Quente; Indústria Siderúrgica-Metalúrgica

ABSTRACT

The hot strip mill process is one of the most profitable activities of the Brazilian steel industry, so it is one of the most studied subjects by the research and development areas of the industries that contain this product. One of the research fields that has become the focus of plants is process simulation. The off-line simulation of the metallurgical process in an industrial line brings several benefits such as: evaluation of the influence of the main parameters that affect the results of the process, comparison between different set ups, greater assertiveness in operational adjustments, process optimization and reduction tests for development of new products. With this objective, a software for offline simulation of the hot strip mill process was developed based on the logic of calculations implemented in the online model. The software results in important process variables such as mill pass schedule, load, torque, and power at each pass, temperature and the hot mean flow stress of the simulated material. During lamination the strip presents different temperatures and time between passes for different points along the length, which directly influences the hot strength of the product and consequently in the calculated variables, thus the calculations executed by the software were divided to three points of the strip, head, body and tail bringing the individual results to each of these positions.

Key-words: Computer Simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Índice Global de Competitividade da Manufatura	11
Figura 2 – Processo de Conformação do Metal pelos Cilindros	14
Figura 3 – Ciclo de um projeto utilizando Scrum	17
Figura 4 – Rotina Simplificada de Cálculos	18
Figura 5 – Rotina Simplificada de Cálculos	19
Figura 6 – Exemplo de um código em XAML	20
Figura 7 – Exemplo da utilização de grade e pilha na estratégia de construção de software	20
Figura 8 – Commits representando o historiadador do projeto do simulador.	21
Figura 9 – Tela Inicial do simulador	22
Figura 10 – Tela de parâmetros iniciais	23
Figura 11 – Principais equipamentos no processo de laminação	23
Figura 12 – Tela de parâmetros do processo	24
Figura 13 – Tela de resultados	24
Figura 14 – Tela de resultados com informações adicionais	25
Figura 15 – Relatório gerado para o MicroSim	25
Figura 16 – SAE1012 3,00 mm x 1200,00 mm	26
Figura 17 – SAE1012 6,30 mm x 1200,00 mm	27
Figura 18 – SAE1012 12,00 mm x 1200,00 mm	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativas e Relevância	12
1.2	Metodologia	12
1.3	Objetivos	12
1.4	Organização e estrutura	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Processo de Laminação	14
2.2	Simulacao	14
2.3	Desenvolvimento Ágil de Software	15
3	DESENVOLVIMENTO	17
3.1	Planejamento	17
3.2	Rotina de Cálculos	17
3.3	Desenvolvimento do Back-End	19
3.4	Desenvolvimento do Front-End	19
3.5	Historiador do Projeto	20
4	RESULTADOS	22
4.1	Tela Inicial da Simulação	22
4.2	Tela de Resultados	24
4.3	Comparação dos Resultados	25
5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	29
	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o conceito moderno de indústria, comumente chamada de "indústria 4.0", tem sido alvo crescente de investimentos, buscando a modernização, digitalização e melhoria de processos. Visando assim uma retomada da produtividade e competitividade da indústria brasileira, que segundo índice Global de Competitividade da Manufatura (DELOITTE, 2016), o Brasil caiu da 5º posição em 2010 para a 29º em 2016, como mostrado na Figura 1.

2016 (Current)		
Rank	Country	Index score (100=High) (10 = Low)
1	China	100.0
2	United States	99.5
3	Germany	93.9
4	Japan	80.4
5	South Korea	76.7
6	United Kingdom	75.8
7	Taiwan	72.9
8	Mexico	69.5
9	Canada	68.7
10	Singapore	68.4
11	India	67.2
12	Switzerland	63.6
13	Sweden	62.1
14	Thailand	60.4
15	Poland	59.1
16	Turkey	59.0
17	Malaysia	59.0
18	Vietnam	56.5
19	Indonesia	55.8
20	Netherlands	55.7
21	Australia	55.5
22	France	55.5
23	Czech Republic	55.3
24	Finland	52.5
25	Spain	50.6
26	Belgium	48.3
27	South Africa	48.1
28	Italy	46.5
29	Brazil	46.2

Figura 1 – Índice Global de Competitividade da Manufatura

A indústria 4.0, segundo (ALTUS, 2019), consiste em nove pilares, são eles: Análise de Dados, Robótica, Simulação, Integração de Sistemas, Internet das Coisas (IoT), Cloud Computing, Manufatura Aditiva e Realidade Aumentada. Simulações computacionais de processos industriais estão cada vez mais difundidas na indústria, visando principalmente, uma adequação às novas tecnologias advindas da Indústria 4.0.

Porém, o processo de construção de um simulador, todavia, não é uma tarefa simples. Ele exige um elevado conhecimento do processo, além de conceitos físicos, químicos e matemáticos bem consolidados. E também exige conhecimentos na área de desenvolvimento de softwares e

otimização para a elaboração de uma ferramenta simples, rápida e eficaz.

Visando a indústria Siderúrgica, mais especificamente a Laminação de Bobinas à Quente, a simulação off-line do processo metalúrgico de laminação traz diversos benefícios, como: informações para otimização e manutenção do processo online, a avaliação da influência dos principais parâmetros que afetam os resultados do processo, a redução do número de experiências industriais para o desenvolvimento de novos produtos. Além disso, os simuladores podem ser usados como uma ferramenta para treinamento operacional, disseminando o conhecimento técnico por trás do processo e permitindo a visualização de alterações de configuração para várias condições de laminação.

Geralmente, grandes equipamentos industriais já tem ferramentas para simulação de processo, mas com foco nos ajustes da fase de comissionamento da linha. Esses simuladores não são ferramentas muito flexíveis com cálculos muito específicos e exigem que o usuário seja treinado e tenha um considerável conhecimento de automação. Além disso, diversas vezes a operação destas ferramentas competem com o modelo online, usando a mesma plataforma, que restringe seu uso somente em momentos de parada da linha.

1.1 Justificativas e Relevância

Em processos industriais, a necessidade de melhorar e otimizar a produção é um desafio constante dos colaboradores de uma empresa. E para isso, muitas ferramentas de produtividade são utilizadas e também, desenvolvidas. Desse modo, o foco deste trabalho, é o desenvolvimento de um software que facilite a criação de novas ideias para o desenvolvimento de produtos e soluções à partir do uso dos operadores e engenheiros do processo de Laminação de Bobinas à Quente e que permita realizar simulações das escalas de passe e da produtividade da linha.

1.2 Metodologia

Primeiramente foi realizado um estudo e um levantamento dos modelos metalúrgicos da linha de laminação e dos seus respectivos equipamentos, para extrair informações do comportamento do aço durante o processo. Em seguida, os modelos foram transferidos para planilhas para que os mesmos fossem testados e validados com diversas receitas já consolidadas. Após validar os modelos, foram feitos estudos buscando entender a melhor forma de desenvolver e distribuir o software. E por uma questão de licenças e escalabilidade, foi escolhido o CSharp como linguagem de programação e o WPF como linguagem de marcação.

1.3 Objetivos

Construir um software capaz de simular as principais variáveis do processo de laminação de bobinas a quente de forma offline.

Como objetivos específicos estão:

- Reduzir o número de experimentos no desenvolvimento de novos produtos;
- Utilizar o simulador como uma ferramenta para treinamento operacional;

1.4 Organização e estrutura

A linha de raciocínio deste trabalho é descrita da seguinte forma. No capítulo 2, está apresentada a revisão bibliográfica de trabalhos relacionados com o tema da pesquisa, utilizada também como referencial teórico para confecção do trabalho. No capítulo 3, é possível observar as abordagens e as técnicas utilizadas para a construção do software proposto. No capítulo 4, são detalhados os experimentos realizadas para validação do desempenho do simulador, além disso, também estão detalhados os resultados encontrados nos experimentos realizados, comparando com a simulação on-line do laminador para verificar a acertibilidade do simulador. Na Conclusão encontram-se um resumo das conclusões tiradas deste trabalho, tais quais as sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Processo de Laminação

A laminação, é um processo de conformação mecânica, que tem como objetivo a redução da seção transversal por compressão do metal através da passagem do mesmo por dois cilindros com eixos paralelos, que giram em torno de si mesmos como mostrado na Figura 2.([ABAL, 2019](#))

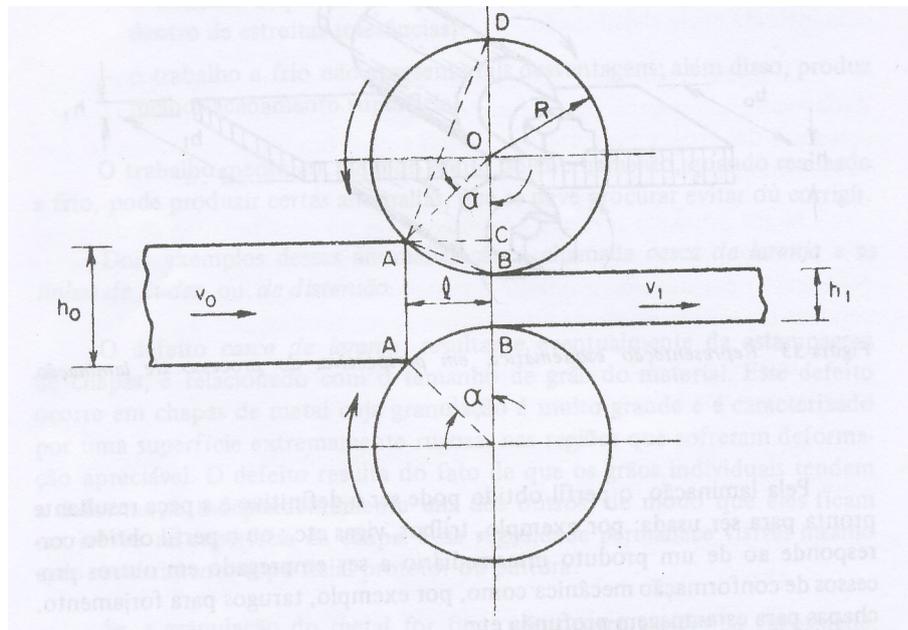


Figura 2 – Processo de Conformação do Metal pelos Cilindros

A laminação pode ser realizada em altas temperaturas, também conhecida como laminação à quente, ou à temperatura ambiente, comumente chamada laminação à frio. Usualmente a laminação é iniciada no processo à quente, com o objetivo de reduzir consideravelmente a espessura do material de entrada, que podem ser placas ou tarugos. Esta etapa inicial é chamada de Desbaste (roughing em inglês), normalmente com elevadas reduções de espessura absoluta. Já a laminação à frio é utilizada nos passes de acabamento (finishing em inglês) para dar melhor acabamento ao material e microestrutura mais refinada, permitindo a obtenção de propriedades mecânicas apropriadas para as aplicações deste material.

2.2 Simulacao

Simulação é um assunto muito estudado por diversos autores, que demonstram suas perspectivas de diferentes maneiras. Um dos pioneiros sobre o assunto, Schriber ([SCHRIBER, 1974](#)) dizia que simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma e

o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo. Já (FILHO, 2007), simulação pode ser definida como "técnica em que se utiliza um simulador, considerando o simulador como um objeto que represente parcial ou totalmente uma tarefa a ser aplicada".

A simulação, procura, através de diversas abordagens, modelar um processo para se ter um maior número de informações sobre o sistema modelado. Fortalecendo assim, os argumentos de tomadas de decisão, diminuindo possíveis problemas e facilitando a difusão de conhecimento.

O uso de simulação, pode acarretar em diversos benefícios além dos supracitados, como: análise de longos períodos de tempo de forma ágil e otimizada, testes de modificação do sistema/processo, visualização de parâmetros controláveis e a influência dos mesmos, facilitando os testes de hipóteses.

2.3 Desenvolvimento Ágil de Software

Com o objetivo de agilizar o desenvolvimento de software desburocratizar os antigos processos, que eram considerados extremamente detalhistas e lentos, foi criado, em 2001, o Manifesto Ágil (ALLIANCE, 2019), documento que reúne os princípios e práticas deste modelo de desenvolvimento.

O Manifesto Ágil para o desenvolvimento de software tem os seguintes valores:

- Indivíduos e interações mais que processos ferramentas
- Software em funcionamento mais que documentação abrangente
- Colaboração com o cliente mais que negociação de contratos
- Responder a mudanças mais que seguir um plano

E também citam um conjunto de doze princípios a serem seguidos, sendo eles:

1. A maior prioridade é em relação a satisfação do cliente através da entrega contínua e adiantada de software com valor agregado.
2. Mudanças nos requisitos, mesmo que tardias, não são um problema. Processos ágeis tiram vantagem das mudanças visando vantagem competitiva para o cliente.
3. Entregar frequentemente software funcionando, em um pequeno intervalo de tempo.
4. Pessoas de negócio e desenvolvedores devem trabalhar diariamente em conjunto por todo o projeto.
5. Construir projetos em torno de indivíduos motivados.

6. O método mais eficiente e eficaz de transmitir informações para e entre uma equipe de desenvolvimento é através de conversa face a face.
7. Software funcionando é a medida primária progresso.
8. Capacidade de manter um ritmo constante indefinidamente.
9. Contínua atenção à excelência técnica e m design aumenta a agilidade.
10. Simplicidade é essencial
11. As melhores arquiteturas, requisitos e designs emergem de equipes auto-organizáveis.
12. Reflexão da equipe, em intervalos regulares, sobre como se tornar mais eficaz e adapta um comportamento à tal reflexão.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Planejamento

Para facilitar o gerenciamento e o planejamento do desenvolvimento do software, foi utilizada a metodologia Scrum (TAKEUCHI, 1986) como base para tornar o desenvolvimento ágil. No Scrum, os projetos são divididos em ciclos de entregas, também conhecidos como Sprints, que é um intervalo de tempo que contém atividades que serão executadas e entregues. Todas as funcionalidades implementadas, foram adicionadas a uma lista de afazeres, conhecida como Product Backlog e ao início de cada Sprint, os membros da equipe definem quais tarefas receberão uma prioridade maior.

Além disso, diariamente a equipe de desenvolvimento se reuniu para discutir impedimentos e difundir o conhecimento das atividades realizadas no dia anterior. Este é chamado de Daily Scrum.

O ciclo do Scrum é representado pela Figura 3.

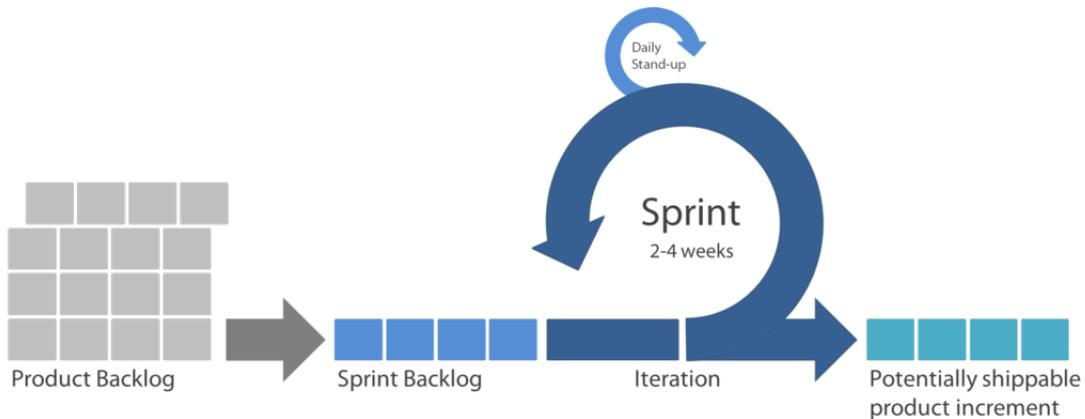


Figura 3 – Ciclo de um projeto utilizando Scrum

A equipe que desenvolveu o Simulador foi composta por engenheiros de controle e automação, responsáveis pelas coletas de rotinas presentes nos controladores lógico programáveis e pelo desenvolvimento do software, engenheiros metalurgistas, responsáveis pela modelagem do processo e pelos gerentes de Engenharia de processos e da Laminação de Tiras à Quente, responsáveis pelos indicadores de produtividade e na análise dos mesmos.

3.2 Rotina de Cálculos

Por mais que o processo de laminação seja descrito por conformação mecânica, a matemática por trás do mesmo é bastante complexa e envolve, além dos esforços físicos e de

desgaste do equipamento, variáveis de logística e produtividade, que são essenciais para o bom funcionamento e lucratividade da empresa.

Antes do início do desenvolvimento do software em si, foi necessário investigar a rotina de cálculos que o laminador faz para obter a escala de passes. Porém, uma parte relevante desta rotina é considerada um segredo industrial pela empresa que comissionou a linha, fazendo com que algumas das variáveis tivessem que ser modeladas pelos engenheiros de processo.

A escala de passes (ou o número de etapas de laminação) é determinada a partir dos limites do equipamento. Isso quer dizer que não é possível atingir o resultado final comprimindo o material apenas uma vez, são necessários diversas etapas (passes) de laminação. E, para diferentes tipos de materiais é possível ter uma quantidade de passes diferentes.

Os cálculos dos limites do equipamento são feitos diminuindo em pequenas porções a espessura e analisando o comportamento das variáveis delimitadoras do processo. Caso algum dos limites seja alcançado, acrescentamos um novo passe de laminação. A rotina de cálculos está representada na Figura 4 de forma simplificada

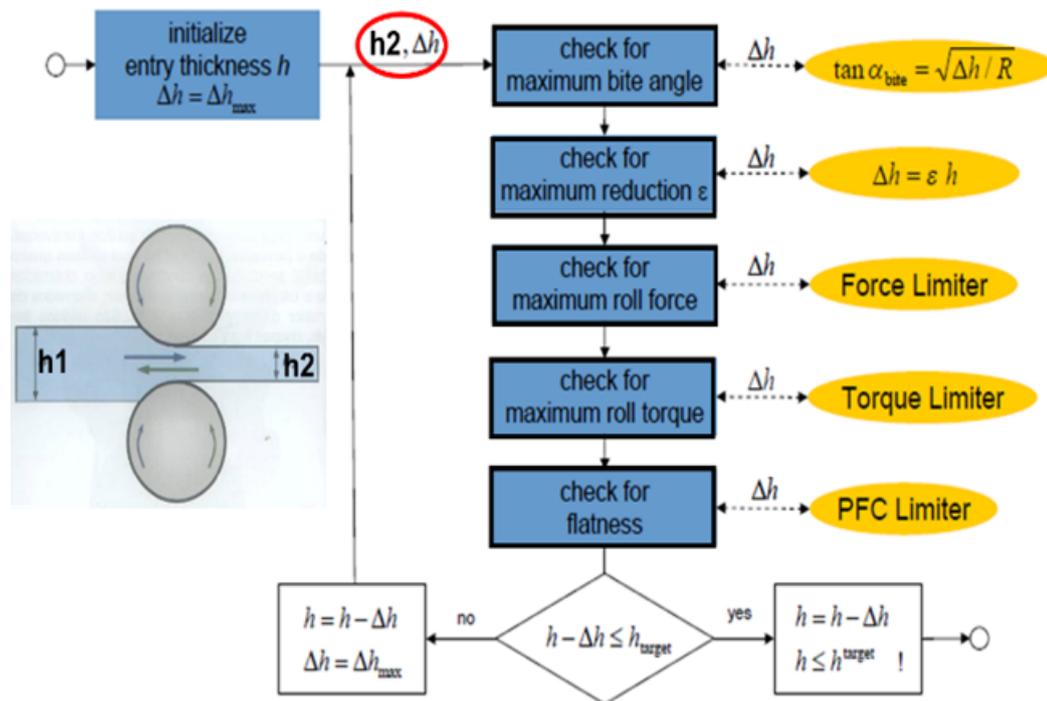


Figura 4 – Rotina Simplificada de Cálculos

Após a realização dos cálculos, o simulador verifica se o produto está sendo finalizado em um passe ímpar, por questões de logística, o material tem que ser finalizado para onde indica a seta da Figura 5. Para isso, ele utiliza uma rotina de otimização, que adequará o processo para que ele atenda tal condição.

Após definida a escala de passes, o simulador faz alguns cálculos de propriedades mecânicas, que mostram a viabilidade de confecção do mesmo para determinado cliente e

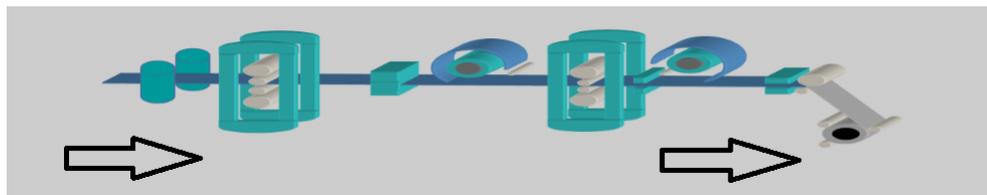


Figura 5 – Rotina Simplificada de Cálculos

também faz cálculos de produtividade, indicando se é lucrativo a produção do aço simulado.

3.3 Desenvolvimento do Back-End

Como desenvolvimento inicial do software, foi criada uma biblioteca de classes (DLL) em C#, para facilitar uma possível distribuição futura dos métodos de cálculos e rotinas do Simulador. A biblioteca utiliza o conceito de programação orientada à objetos, no qual, temos o objeto "Simulação LTQ" contendo os métodos da classe. Esta maneira de criar o programa foi pensada devido ao interesse da empresa de fazer um simulador para a linha de Laminação de Chapas Grossas, e muitos desses métodos poderiam ser herdados, visto que o processo é muito semelhante. Na biblioteca, estão presentes os cálculos individuais de cada variável e a rotina de simulação. A rotina, é composta por diferentes etapas: Desbaste, Otimização do Desbaste, Acabamento, Otimização do Acabamento, Cálculo de Propriedade Mecânica e por fim Cálculo de Produtividade.

Para melhorar a qualidade das análises realizadas, a biblioteca considera o cálculo para 3 pontos da barra: Topo, Meio e Base. Assim, é possível ter mais informações sobre variações do comportamento do material em pontos distintos da placa e em diferentes etapas no processo de laminação.

3.4 Desenvolvimento do Front-End

Para o desenvolvimento visual do software, foi utilizado o Windows Presentation Foundation (MICROSOFT, 2018). O WPF oferece um modelo de programação consistente, que possibilita a criação que pode ser implantada em um ambiente de área de trabalho ou hospedada em um site da web. Além disso, possibilita controles robustos, design e o desenvolvimento de aspectos visuais para programas Windows. O WPF também propõe unificar serviços de aplicações, como: interfaces com o usuário, desenhos 2D e 3D, gráficos, animações e vinculações de dados.

O WPF utiliza a linguagem de marcação XAML (MICROSOFT, 2019), que em conjunto ao WPF consegue facilitar a separação da lógica do programa (back-end) da interface com o usuário (front-end). A Figura 6 mostra um exemplo simples de código em XAML.

Além de todas as vantagens apresentadas, o WPF foi escolhido principalmente devido à uma parceria da Microsoft com a empresa onde foi desenvolvido o simulador, facilitando assim

```
<StackPanel>  
  <Button Content="Click Me" />  
</StackPanel>
```

Figura 6 – Exemplo de um código em XAML

questões de suporte e aquisições necessárias para a construção do software.

Como estratégia para a construção do software e visando a simetria final do software, foram utilizados os conceitos de grades e pilhas. Ou seja, quando queremos que elementos se posicionem um ao lado do outro na tela, utilizamos a grade. Já quando os elementos devem ser dispostos um acima do outro, utilizamos a pilha. A Figura 7 exemplifica o conceito de grade e pilha, onde existem duas colunas, uma ao lado da outra utilizando a grade, e os itens empilhados dentro de cada coluna.

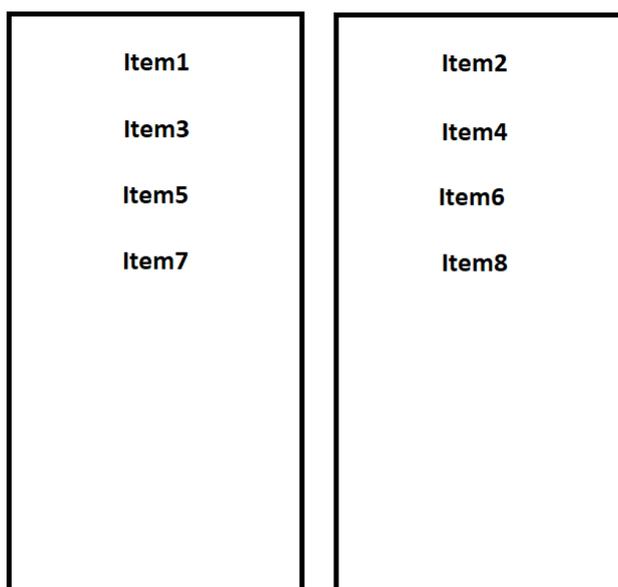


Figura 7 – Exemplo da utilização de grade e pilha na estratégia de construção de software

3.5 Historiador do Projeto

É de comum conhecimento a importância de se manter um histórico do projeto consolidado, visto que podem ocorrer mudanças no decorrer do mesmo como o aumento da equipe desenvolvedora, mudança das diretrizes do projeto, dentre outros como descrito em (KONNO-RATE, 2019). Para isso, foi utilizado um serviço de repositório Git da Azure.

O Git, é um sistema de controle de versões. Através dele, é possível que diversas pessoas desenvolvam o projeto ao mesmo tempo. Além disso, o Git ajuda a controlar o fluxo de

novas funcionalidades entre vários desenvolvedores no mesmo projeto com ferramentas para análise e resolução de conflitos quando o mesmo arquivo é editado por mais de uma pessoa em funcionalidades diferentes.

Qualquer repositório do tipo Git é movido através de pontos que representam os marcos da história do projeto, estes pontos são chamados de commits. Commits são um conjunto de alterações em um ou mais arquivos, que contém um descritivo que resume as alterações deste ponto. A Figura 8 representa parte do git de alterações realizados no projeto.

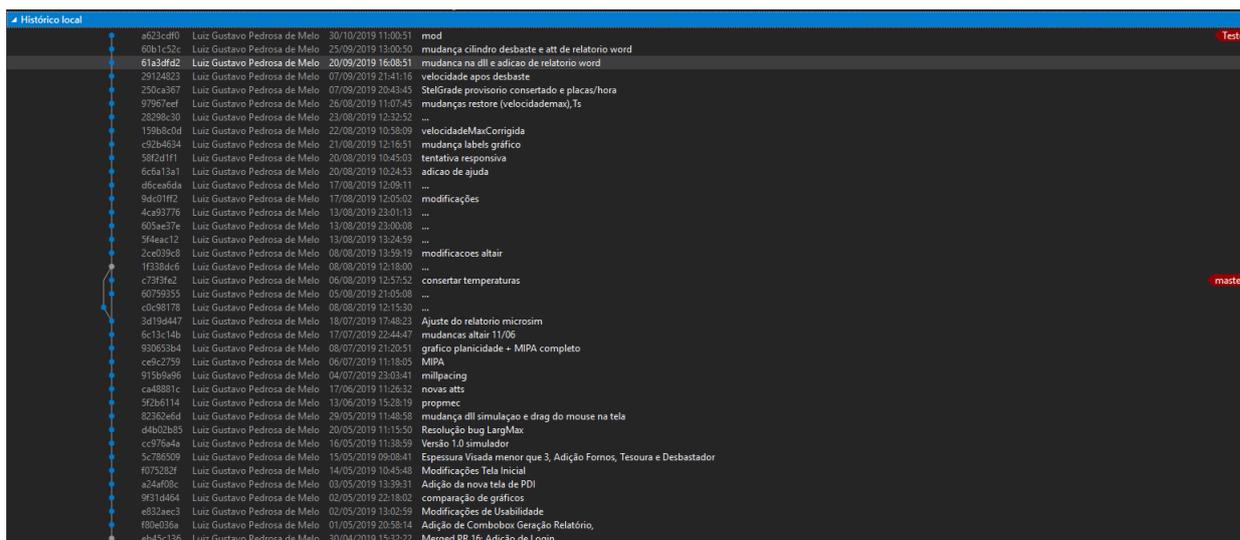


Figura 8 – Commits representando o historiador do projeto do simulador.

Restore			<input type="button" value="i"/>
SG			<input type="button" value="i"/>
Norma	SAE1012		<input type="button" value="i"/>
Cilindro	885		<input type="button" value="i"/>
Placa			
Esp. Placa	Largura	Compr.	
250	1200	7	
Bobina			
Esp. Visada	Larg. Visada		<input checked="" type="checkbox"/>
3	1238		
Temperaturas			
TempDes	TempAcab	TempBob	
1200	890	600	
<input type="checkbox"/> CRCODE			
Espes. Patamar 1	Temp. Patamar 1		
<input type="checkbox"/> Salvar?			
Nome da Simulação			
			<input type="button" value="SIMULAR"/>

Figura 10 – Tela de parâmetros iniciais

Em evidência na tela inicial do simulador, é possível perceber uma representação do laminador e dos equipamentos principais, que são, respectivamente: Desbastador, Tesoura, Forno 1, Desbastador/Acabador, Forno 2, como mostra a Figura 11. A partir dos "checkbox" contidos acima de cada equipamento, é possível habilitar ou desabilitar o mesmo. Esta função é muito útil para comparar o desempenho e o comportamento do aço com diferentes composições de equipamentos.

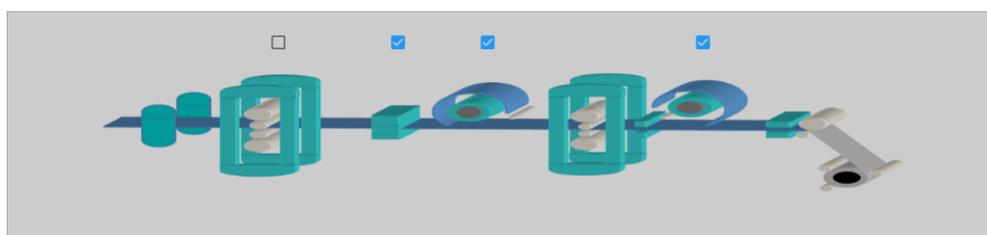


Figura 11 – Principais equipamentos no processo de laminação

Após pressionar o botão de "check" da tela de preenchimento de parâmetros iniciais, a tela de parâmetros do processo e composição química são preenchidas. Conforme representado na Figura 12.

possível realizar a mudança das abas dos gráficos, para visualizar os gráficos de quais limites foram atingidos do laminador, e também os gráficos das informações adicionais, Figura 14.

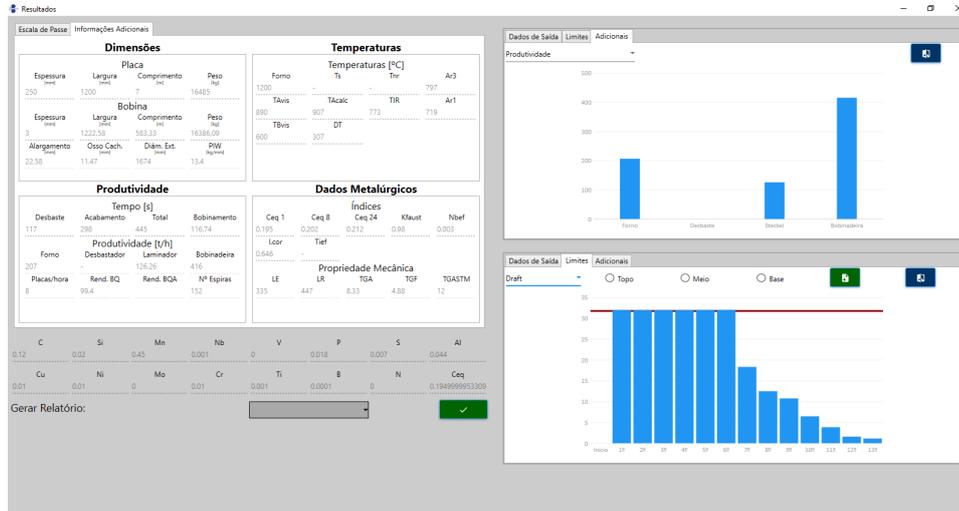


Figura 14 – Tela de resultados com informações adicionais

Ao final, pode-se gerar um relatório com todas as informações, que podem ser abertos em qualquer programa com foco em planilhas. Também é possível gerar um relatório em PDF com os principais parâmetros e gráficos, visando facilitar o desenvolvimento de novos aços. E também está disponível um relatório para preencher automaticamente o programa MicroSim, que é um software focado em realizar simulações de microestruturas e propriedades mecânicas de aços. O relatório do MicroSim é demonstrado pela Figura 15.



Figura 15 – Relatório gerado para o MicroSim

4.3 Comparação dos Resultados

A validação do Simulador foi feita realizando a comparação entre os dados simulados e o modelo online (utilizado antes da realização de laminações de teste). Utilizando, os mesmos

parâmetros de entrada.

As Figuras 16, 17 e 18 mostram a comparação entre três aços com norma SAE1012, todos com larguras de 1200mm, porém com espessuras de 3mm, 6mm e 12mm respectivamente. As variáveis para comparação foram: Temperatura, Espessura, Força e Tensão Média de Escoamento.

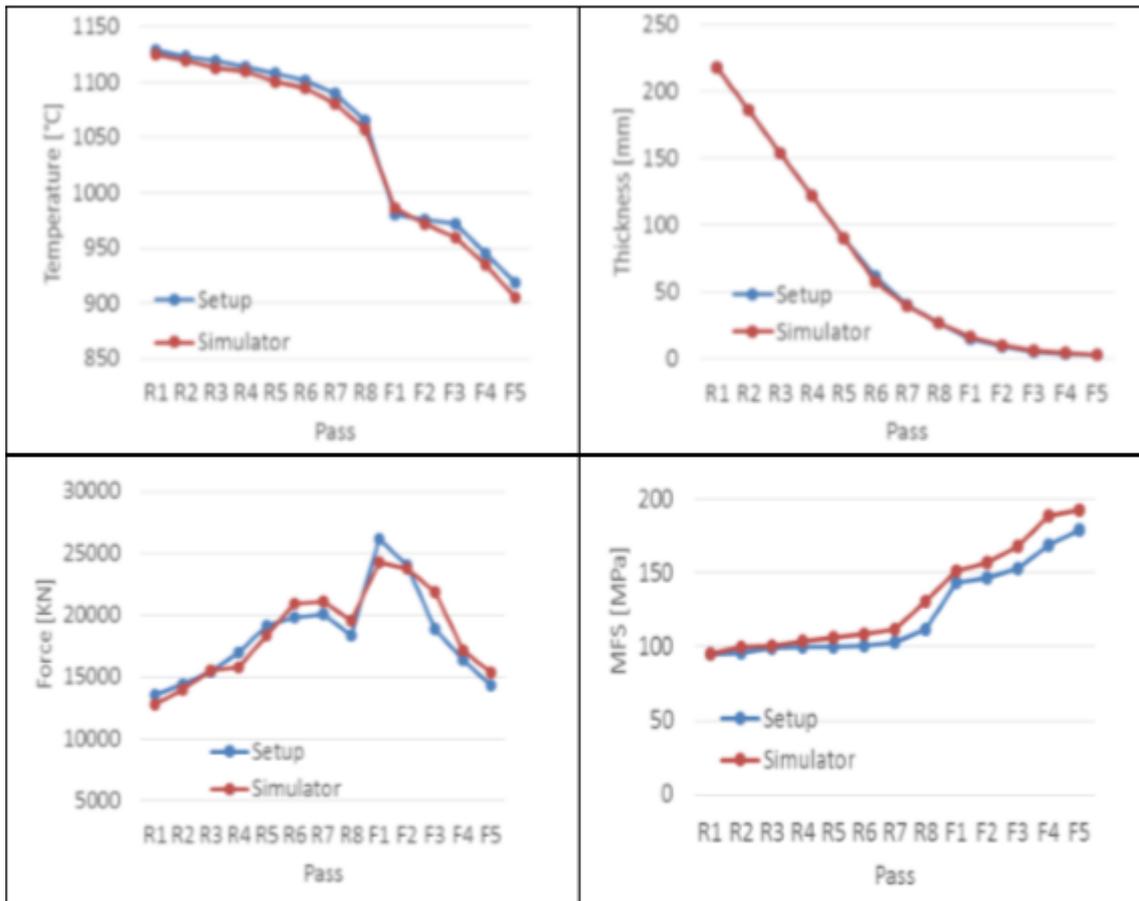


Figura 16 – SAE1012 3,00 mm x 1200,00 mm

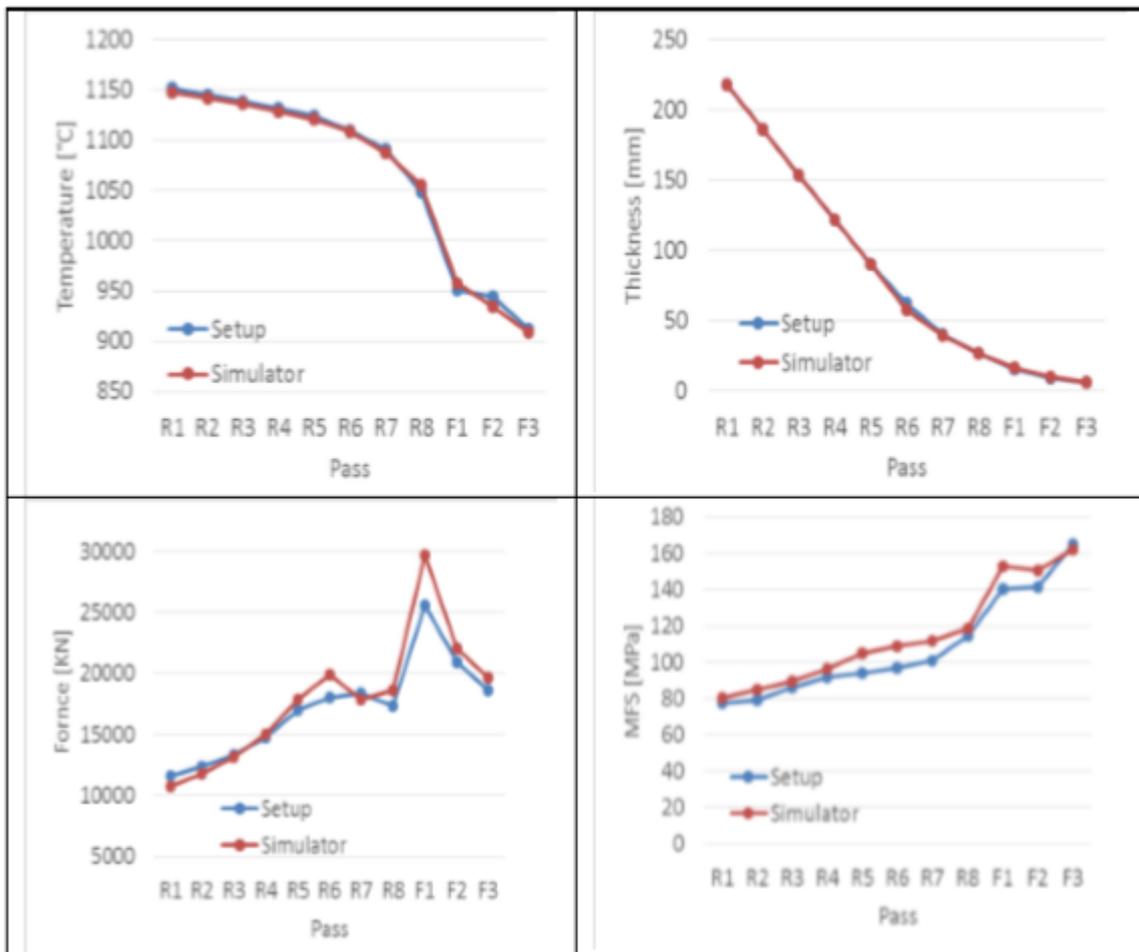


Figura 17 – SAE1012 6,30 mm x 1200,00 mm

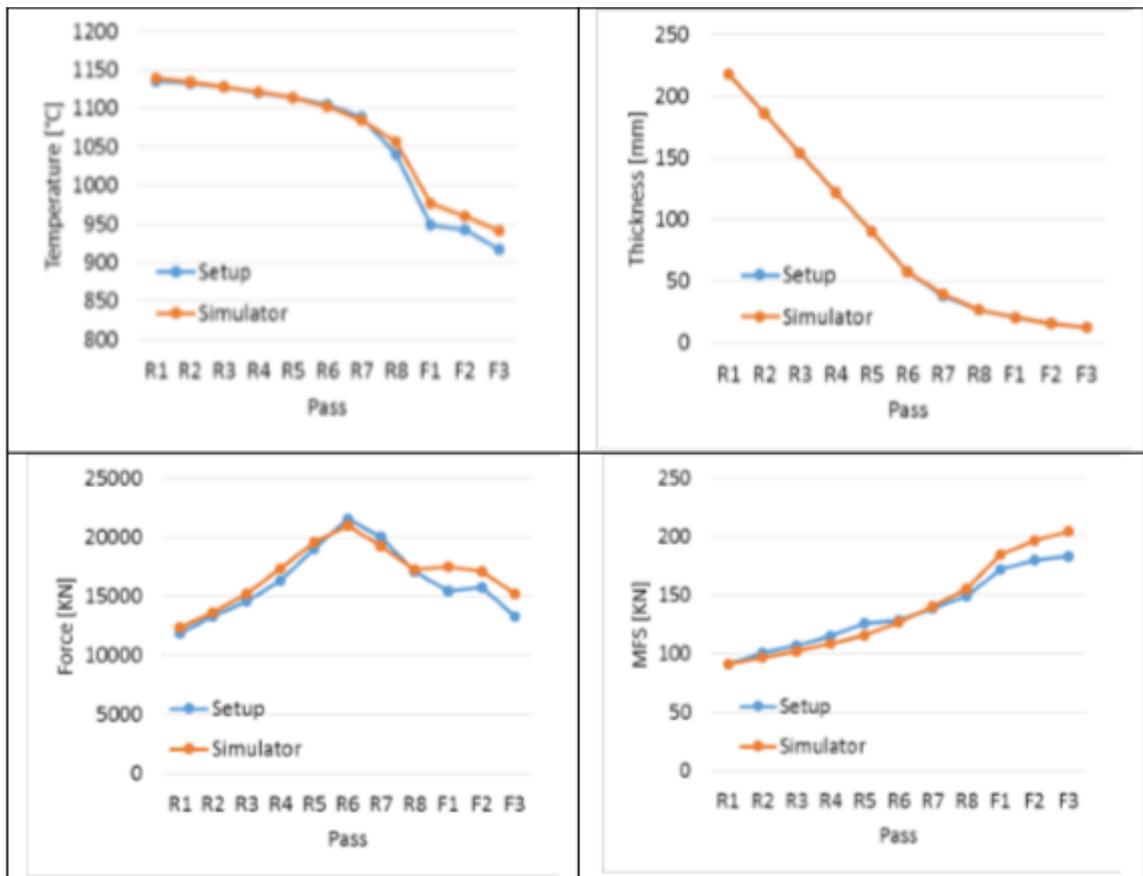


Figura 18 – SAE1012 12,00 mm x 1200,00 mm

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A automação de modelos matemáticos nas indústrias é um dos alvos para a digitalização das mesmas e traz diversos benefícios para a estabilização, melhoria, investigação e tratamentos de falha do processo. Por estes motivos, as indústrias têm investido no desenvolvimento de tecnologias que tem como valor agregado à otimização do processo industrial.

Para este trabalho, foi utilizado algumas técnicas de construção de software, juntamente com o conhecimento e modelagem matemática do processo para construir um software de simples utilização, porém com o poder de simplificar e ajudar nas investigações dos processos industriais que envolvem a laminação de aços planos.

A partir de resultados já consolidados por operadores, técnicos e especialistas da linha de laminação de tiras à quente, é possível concluir que a ferramenta de simulação está apta a ser utilizada como um simulador offline do modelo online do laminador.

Com a implementação e consolidação da ferramenta, abre-se um leque de possibilidades para o desenvolvimento e melhoria do processo, permitindo adicionar funcionalidades, modelos matemáticos e outras alternativas que podem melhorar a produtividade da linha. Além disso, facilita o desenvolvimento de novos produtos, avaliação do custo dos materiais e a disseminação do conhecimento aos colaboradores do processo.

Como trabalhos futuros, é recomendado a integração deste simulador com modelos matemáticos simulados de outros processos, como: Sinterização, Redução e Aciaria, para que se possa integrar toda a planta industrial como um todo e assim, buscar de forma mais otimizada, o ponto ótimo de trabalho da indústria.

REFERÊNCIAS

- ABAL. *Laminação*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/laminacao/>>. Citado na página 14.
- ALLIANCE, A. *Agile Manifesto*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://agilemanifesto.org>>. Citado na página 15.
- ALTUS. *CONHEÇA OS NOVE PILARES DA INDÚSTRIA 4.0 E SUA RELEVÂNCIA PARA A ATIVIDADE INDUSTRIAL*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/blog/categoria/2/detalhe/212/conheca-os-nove-pilares-da-industria-4-0-e-sua-relevancia-para-a-atividade-industrial>>. Citado na página 11.
- DELOITTE. *2016 Global Manufacturing Competitiveness Index*. [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Manufacturing/gx-global-mfg-competitiveness-index-2016.pdf>>. Citado na página 11.
- FERREIRA, L. C. R. N. P. Geração automática de modelos de simulação de uma linha de produção na indústria electrónica. *XIII SIMPEP*, 2006. 2006. Nenhuma citação no texto.
- FILHO, S. S. A. P. Simulação: Definição. *DIDÁTICA II - SIMULAÇÃO*, 2007. 2007. Citado na página 15.
- KEYONE. Modelamento matemático da laminação. *Congresso Anual da ABM*, 2005. 2005. Nenhuma citação no texto.
- KEYONE. Modelos matemáticos da nova linha de laminação de tiras a quente da gerdau. *50º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos*, 2013. 2013. Nenhuma citação no texto.
- KONNORATE, G. C. A importância do controle de versões no desenvolvimento de software. *Seminário de tecnologia, gestão e educação*, 2019. 2019. Citado na página 20.
- MICROSOFT. *Introdução ao WPF*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/visualstudio/designers/getting-started-with-wpf?view=vs-2019>>. Citado na página 19.
- MICROSOFT. *XAML overview in WPF*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop-wpf/fundamentals/xaml>>. Citado na página 19.
- SCHRIBER, T. J. *Simulation Using GPSS*. 1. ed. Rio de Janeiro: Wiley, 1974. Citado na página 14.
- SOUZA, A. L. de. Estudo da evolução do alargamento durante os passes em um laminador de tiras a quente. *55º Seminário da Laminação e Conformação de Metais*, 2018. 2018. Nenhuma citação no texto.
- TAKEUCHI, I. N. H. The new new product development game. *Harvard business review*, 1986. 1986. Citado na página 17.

VAI, S. Technical specification for steckel mill plant for gerdau ouro branco. 2010. 2010. Nenhuma citação no texto.

VIEIRA, G. E. Geração automática de modelos de simulação de uma linha de produção na indústria electrónica. *Dissertação de Mestrado*, 2003. 2003. Nenhuma citação no texto.