

# CLASSIFICADOR AUTOMÁTICO DOS RESULTADOS DE RETIFICAÇÃO DOS CILINDROS DE LAMINAÇÃO DA ARCELORMITTAL TUBARÃO\*

Alexander de Oliveira Botelho<sup>1</sup>  
Vinícius Antonio Ramos Pin<sup>2</sup>  
Daniel Cruz Cavalieri<sup>3</sup>  
Gustavo Maia de Almeida<sup>4</sup>  
Paulo Rodrigues dos Santos Junior<sup>5</sup>

## Resumo

A preocupação com a análise adequada dos resultados de retificação dos diferentes tipos de cilindros realizada na oficina é de grande importância para o processo de laminação. Sua classificação correta e de forma eficiente representa uma redução de custo e contribui para a estabilidade/continuidade do processo de produção de bobinas. Atualmente, na ArcelorMittal Tubarão, a interpretação destes resultados, assim como sua classificação, é realizada manualmente por retificadores que trabalham em regime de turno no púlpito de operação, a partir de dados gerados no final do processo de retificação pelos equipamentos denominados “retíficas”. Esse trabalho mostra o desenvolvimento e a aplicação de um sistema inteligente baseado em Lógica Fuzzy. Esse sistema objetiva a criação de um classificador automático da avaliação dos resultados de retificação como um guia operacional.

**Palavras-chave:** Classificador Fuzzy; Laminação; Retificação de Cilindros; Sistemas Inteligentes.

## AUTOMATIC CLASSIFIER OF GRINDING RESULTS OF ARCELORMITTAL TUBARÃO MILL ROLLS

### Abstract

The concern with grinding results proper analysis of different grinded roll types at roll shop area is of great importance for the rolling process. Its correct and efficient classification represents a cost reduction and contributes to the stability / continuity of the coil production process. Currently, at ArcelorMittal Tubarão, the interpretation of these results as well as its classification is performed manually by grinder operators working on a shift system in the operating pulpit, based on data generated at the end of the grinding process by the so-called grinding machines. This article shows the development and application of an intelligence system based on Fuzzy Logic. This system aims to create an automatic classifier for the evaluation of grinding results as an operational guide.

**Keywords:** Fuzzy Classifier; Mill; Roll Grinding; Artificial Intelligence.

- <sup>1</sup> Engenheiro Mecânico com Ênfase em Mecatrônica, Mestrando em Sistemas Inteligentes, Especialista de Automação, Gerência de Área de Engenharia de Automação, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.
- <sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Especialista da Oficina de Cilindros, Gerência de Controle de Processo de Produção de Bobinas a Quente e Acabamento Produtos, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.
- <sup>3</sup> Engenheiro Eletricista, Doutor, Professor EBTT, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Instituto Federal do Espírito Santo, Serra, Espírito Santo, Brasil.
- <sup>4</sup> Engenheiro Eletricista, Doutor, Professor EBTT, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Instituto Federal do Espírito Santo, Serra, Espírito Santo, Brasil.
- <sup>5</sup> Técnico em Mecânica, Operador de Retífica de Cilindros, Gerência de Área de Operação de Laminação de Tiras a Quente, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo – Brasil

## 1 INTRODUÇÃO

O aço está presente no contexto em que vivemos sendo um produto primordial na indústria automotiva, construção civil e aplicado de várias formas no ambiente doméstico e em bens de consumo.

A produção de aço dentro de uma indústria siderúrgica envolve alguns processos: na aciaria o ferro-gusa é beneficiado, gerando o aço líquido. Em seguida, o aço é solidificado através do processo de lingotamento contínuo gerando o produto denominado placa acabada. Esse produto é então direcionado para o processo de laminação a quente ilustrado na Figura 1.

Conforme suas dimensões, as placas acabadas formam instruções de laminação. Essas placas são introduzidas em fornos de reaquecimento para aumento da temperatura, que geralmente varia entre 1150 °C a 1250 °C. Isto permite sua conformação mecânica por diferentes tipos de cilindros.

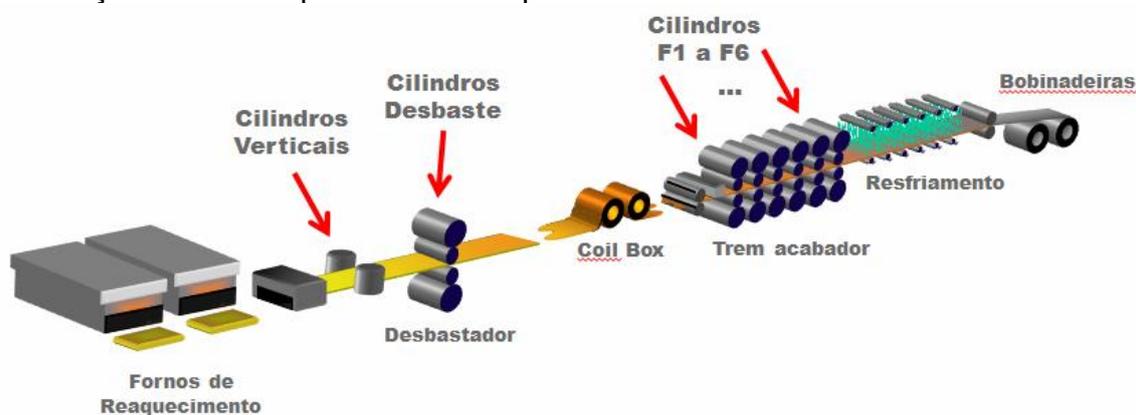


Figura 1. Visão geral do LTQ – Adaptado [1]

No processo de laminação ocorre a conformação mecânica por deformação plástica, que consiste em modificar a seção transversal de uma peça metálica pela passagem entre cilindros planos ou contendo canais entalhados ilustrados na Figura 2.



Figura 2. Conformação mecânica por meio de cilindros de laminação [2]

Como resultado, uma forma desejada é obtida por meio da redução de largura e espessura, obtendo-se alguns possíveis tipos de produtos finais (Figura 3).

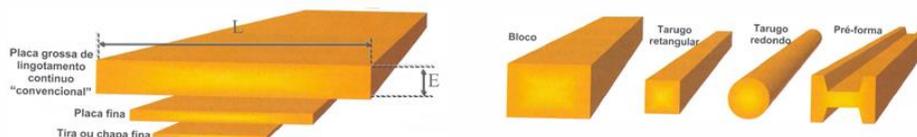


Figura 3. Produtos planos ou longos oriundos de processo de laminação [2]

Durante o passe de laminação, o conjunto mecânico e os cilindros são submetidos a esforços de até cinco mil (5000) toneladas (50 MN), gerando durante esse passe de laminação um desgaste (Figura 4) constante tanto nos cilindros de trabalho (estes

com maior intensidade devido ao contato direto na conformação do material aquecido) como nos cilindros de encosto (menor intensidade).

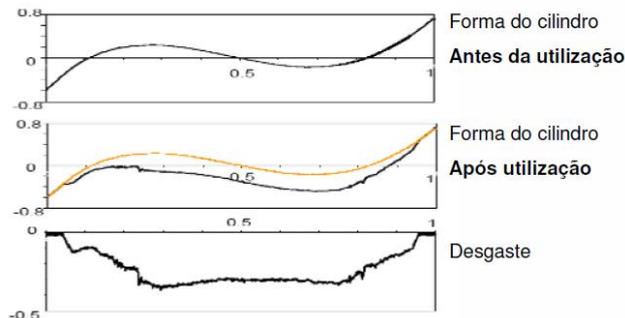


Figura 4. Desgaste de um cilindro de laminação [2]

Portanto, os cilindros ao atingirem determinados valores de utilização, precisam ser substituídos por outros devidamente preparados para permitir a continuidade do processo de laminação. A etapa de substituição dos cilindros desgastados é denominada troca de cilindros.

Após a troca, os cilindros desgastados na laminação são encaminhados para a oficina de cilindros para serem devidamente inspecionados e retificados. O processo na oficina pode ser visto na Figura 5 e envolve algumas etapas: inspeção visual, resfriamento e, principalmente, a retificação. Esta última ocorre nos equipamentos das retíficas 1 a 4, no qual enquadra-se esse trabalho.

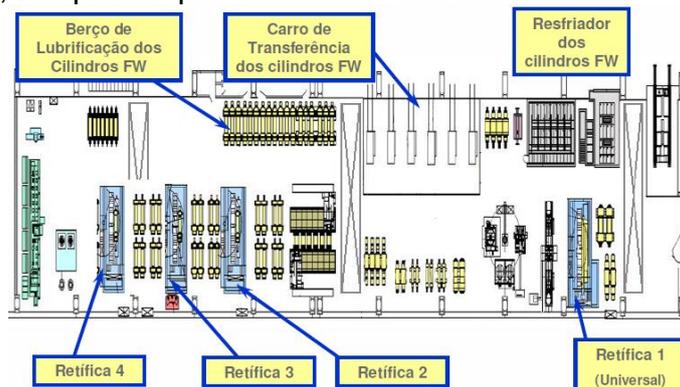


Figura 5. Visão geral da oficina de cilindros da ArcelorMittal Tubarão [2]

A etapa da retificação consiste basicamente na remoção de material e acabamento superficial, realizado através do contato de um material abrasivo de alta resistência denominado rebolo com o cilindro em retificação. Nessa etapa, o formato desejado deve ser obtido, sendo verificado visualmente conforme ilustrado na Figura 6.

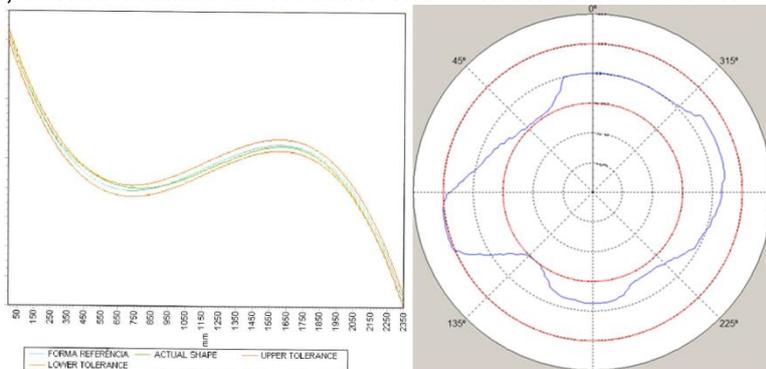


Figura 6. Avaliação visual de Forma e Redondeza – Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2019)

## 1.1 Descrição do problema

A oficina de cilindros encontra-se em funcionamento desde o startup da laminação em Agosto de 2002, sendo seu processo suportado pelo sistema de nível 2 de gerenciamento da oficina de cilindros denominado RSM (*Roll Shop Management*). Esse sistema foi atualizado no final de 2015 para a primeira versão do framework da automação utilizando linguagem java, mantendo-se a integração com outros sistemas de nível 2 de laminação e com os equipamentos das retíficas de cilindros. A análise dos resultados de retificação e a liberação dos cilindros retificados são realizadas manualmente pelos retificadores por meio da análise visual de gráficos e valores envolvendo a retificação atual e retificações anteriores com certo nível de subjetividade que varia conforme a experiência profissional dos mesmos.

Um complicador para realizar uma avaliação adequada para a liberação do cilindro é o volume significativo de informações de cada resultado de retificação, nos quais podemos destacar:

- Análise do gráfico de forma para certificação do perfil/curva obtido(a) dentro dos limites em relação ao perfil/curva ideal (Figura 6).
- Análise de rugosidade superficial.
- Análise do gráfico de trinca.
- Análise do gráfico de mudança de estrutura.
- Verificação dos valores de magnetismo.
- Análise do gráfico de ultrassom de amplitude para verificação da existência de defeitos.
- Análise do gráfico de redondeza (Figura 6).
- Análise das retificações anteriores para quantificar qualitativamente a evolução dos defeitos ao longo das utilizações do cilindro referente aos gráficos de trinca, mudança de estrutura e ultrassom amplitude.

Além disso, a variável “comportamental” (cansaço, aspecto psicológico ...) inerente à qualquer atividade humana possui certa influência na avaliação dos resultados podendo resultar em uma liberação inadequada de cilindros para o processo de laminação conforme ilustrado na Figura 7.



**Figura 7.** Lascamento do cilindro superior tipo FW2 – Fonte: ArcelorMittal Tubarão

Na falha acima, houve lascamento do cilindro superior da cadeia F5 de laminação do trem acabador, gerando perdas representativas de produção:

- Troca imprevista de cilindros com parada do laminador por 95 minutos (Perda aproximada de 1000 toneladas).
- Troca do raspador superior.
- Geração de uma bobina extra grossa imprevista ao invés da bobina destinada para o cliente final.

- Sucateamento do cilindro representando perda de vida útil do cilindro de 18.72 milímetros.

Com o volume de produção aumentando no decorrer dos anos desde o startup dos laminadores da ArcelorMittal Tubarão, resultando assim, no aumento da quantidade de cilindros a serem retificados, esse aspecto vem ganhando cada vez mais importância para manter a competitividade no mercado por meio de maximizar a disponibilidade para laminação de bobinas e minimizar o tempo requerido para avaliação e liberação adequada de cada cilindro retificado.

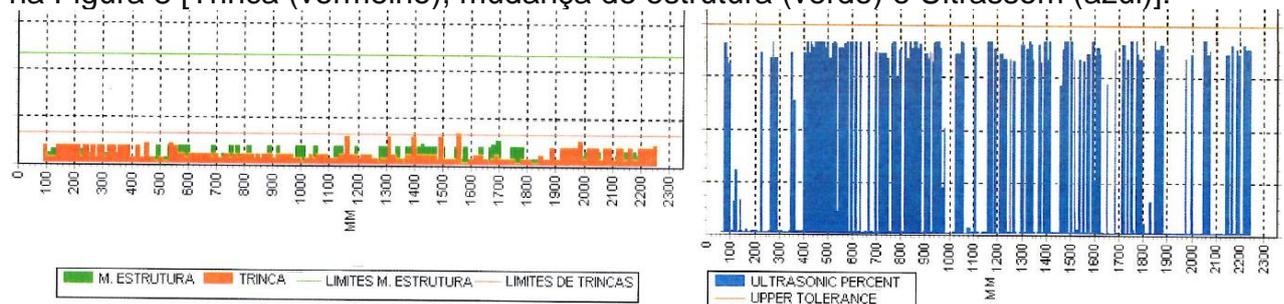
A correta interpretação dos resultados da retificação para a liberação dos cilindros é de fundamental importância na estabilidade do processo de laminação (LTQ e Linha de Acabamento) suscitando a seguinte pergunta: seria possível reduzir a análise subjetiva dos retificadores com base nos resultados gráficos de retificação para a classificação da liberação dos cilindros?

## 1.2 Retificação e Avaliação Manual dos Resultados

A oficina de cilindros da ArcelorMittal Tubarão possui quatro (04) retíficas do fabricante Hércules para a retificação dos diferentes tipos de cilindros de laminação, tendo a seguinte distribuição usual:

- Retífica 1 (Universal) → Retificação de cilindros de encosto (backup) e trabalho (Work Roll) citados abaixo:
  - Backup do Desbaste do LTQ (Tipo RB).
  - Backup do Trem acabador do LTQ (Tipo FB).
  - Backup da Linha de acabamento LA (Tipo SB).
  - Trabalho do desbaste do LTQ (Tipo RW).
  - Trabalho da linha de acabamento LA (Tipo SW).
- Retífica 2 → Trabalho Trem acabador do LTQ (Tipo FW1 → F1, F2 e F3).
- Retífica 3 → Trabalho Trem acabador do LTQ (Tipo FW2 → F4, F5 e F6).
- Retífica 4 → Trabalho do LTQ (Tipo FW2) e linha acabamento LA (Tipo SW).

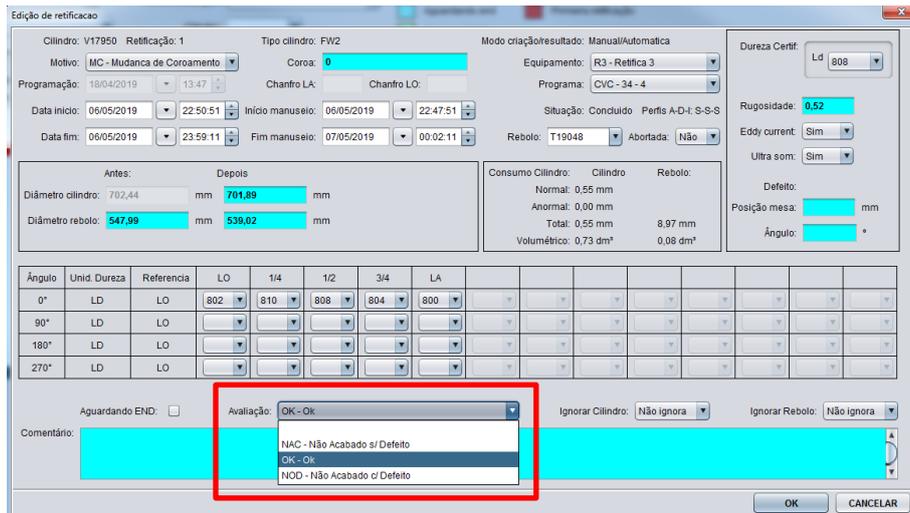
Para cada retificação, os resultados são avaliados nas telas do supervisor das retíficas (Nível 1) conforme ilustrado anteriormente por meio da Figura 6 e a seguir na Figura 8 [Trinca (vermelho), mudança de estrutura (verde) e Ultrassom (azul)]:



**Figura 8.** Avaliação visual para identificação de Trincas, Mudança de estrutura e Ultrassom – Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2019)

Após avaliar todos os gráficos envolvidos da retificação atual e das retificações anteriores, o retificador verifica as informações na tela do sistema de nível 2 RSM para finalizar a avaliação manual, destacando-se na Figura 9, as possibilidades existentes para a classificação da respectiva avaliação:

- NAC → Não liberado. Não acabado sem defeito.
- OK → Cilindro liberado para laminação (Não identificado anormalidades).
- NOD → Não liberado. Não acabado com defeito.



Edição de retificação

Cilindro: V17950 Retificação: 1 Tipo cilindro: FW2 Modo criação resultado: Manual/Automática

Motivo: MC - Mudança de Coroamento Coroa: 0 Equipamento: R3 - Retifica 3 Dureza Certif: Ld 808

Programação: 18/04/2019 13:47 Chanfro LO: Chanfro LO: Programa: CVC - 34 - 4

Data início: 06/05/2019 22:50:51 Início manuseio: 06/05/2019 22:47:51 Situação: Concluído Perfis A-D-I: S-S-S

Data fim: 06/05/2019 23:59:11 Fim manuseio: 07/05/2019 00:02:11 Rebolo: T19048 Abortada: Não

Antes: Depois

Diâmetro cilindro: 702,44 mm 701,89 mm

Diâmetro rebolo: 547,99 mm 539,02 mm

Consumo Cilindro: Cilindro Rebolo:

Normal: 0,55 mm Anormal: 0,00 mm Total: 0,55 mm

Volumétrico: 0,73 dm³ 8,97 mm 0,08 dm³

Rugosidade: 0,52

Eddy current: Sim

Ultra som: Sim

Defeito: Posição mesa: mm

Ângulo: °

Ângulo	Unid. Dureza	Referencia	LO	1/4	1/2	3/4	LA
0°	LD	LO	802	810	808	804	800
90°	LD	LO					
180°	LD	LO					
270°	LD	LO					

Aguardando END:  Avaliação: OK - OK Ignorar Cilindro: Não ignora Ignorar Rebolo: Não ignora

Comentário:

OK - OK  
NAC - Não Acabado s/ Defeito  
OK - OK  
NOD - Não Acabado o/ Defeito

OK CANCELAR

Figura 9. Finalização da Avaliação manual de uma Retificação – Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2019)

Esse processo demanda em média aproximadamente 5 a 7 minutos para cada retificação, sendo suscetível a erros conforme descrito anteriormente considerando o volume significativo de informações envolvidas. Os padrões operacionais citam para os diferentes tipos de cilindros, os respectivos limites e tolerâncias envolvidos para cada característica avaliada.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Classificador Fuzzy na Avaliação dos Resultados de Retificação

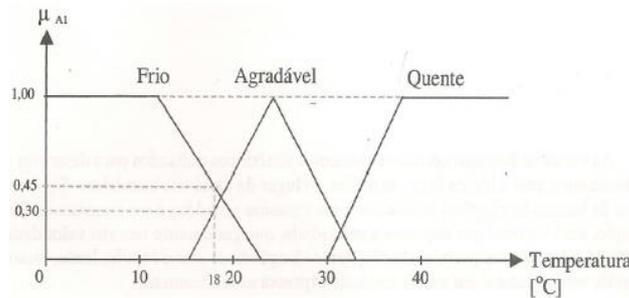
#### 2.1.1 Lógica Fuzzy (FL do inglês Fuzzy Logic)

Conforme descrito em [3], desde a publicação do artigo “Fuzzy Sets” em 1965 por Lofti Asker Zadeh, este considerado o pai da Lógica Fuzzy, tem sido crescente o interesse de pesquisadores, cientistas, engenheiros e estudantes pela aplicação desta tecnologia em diversas áreas.

A teoria FL propõe uma maneira matemática de representar a imprecisão na linguística e pode ser considerada uma generalização da teoria dos conjuntos clássicos. Basicamente, em um conjunto clássico (não-fuzzy), um elemento do universo pertence ou não pertence ao conjunto. Já o conjunto difuso é uma generalização de um conjunto comum em que permite o grau de adesão (pertinência  $\mu$ ) para cada elemento varia em um intervalo unitário  $[0,1]$ , no qual a pertinência zero (0) corresponde a não pertence e um (1) pertence totalmente.

A grande diferença citada em [3] entre o conjunto clássico e o conjunto difuso é que o primeiro possui uma função de pertinência única enquanto que os conjuntos *fuzzy* tem um número infinito de funções de pertinência que podem representá-lo, permitindo que os sistemas FL sejam ajustados para sua máxima utilidade em uma determinada situação.

Um exemplo tradicional citado por [4] descreve uma representação *fuzzy* para a variável linguística temperatura, no qual o conforto térmico é representado pelos atributos (valores ou termos linguísticos) frio, agradável e quente. Por exemplo, analisando a temperatura 18 °C conforme a Figura 10 temos o grau de pertinência  $\mu(18) = 0,45$  frio e  $\mu(18) = 0,30$  agradável. Concluimos assim, que este valor pertence mais ao conjunto frio (mais compatível) do que ao conjunto agradável.



**Figura 10.** Pertinências da variável linguística temperatura definido por [4]

As regras da *FL* segundo [5] são capazes de representar conhecimento com base em variáveis linguísticas, aproximando-se da linguagem humana para tomar decisões, sendo o modo mais usual baseado na seguinte regra: se <situação> então <ação>.

Finalmente, através de um mecanismo de inferência *fuzzy*, as ações ativadas são processadas juntas gerando o conjunto *fuzzy* de saída. Este por sua vez, passa pela etapa de defuzzificação transformando o valor incerto ou impreciso na variável de saída precisa para o processo em questão.

A *FL* está presente em diversas situações, sendo empregada desde a área médica até a industrial e comercial, por exemplo, em controladores de linhas férreas [6], controladores de voos e na determinação dos ganhos proporcionais e integrais utilizados nos controladores de Nível 1 de fornos de reaquecimentos de placas.

Além da utilização tradicional em controladores, a *FL* também é utilizada como classificador nos quais podemos citar:

- O artigo [7] descreve um classificador *Fuzzy* combinado com a técnica da rede neural artificial utilizando Perceptron multicamada, no qual este último extraía a composição de cores de uma fruta, sendo estes passados para o classificador *Fuzzy* como segundo estágio da classificação. Essa abordagem foi aderente uma vez que o classificador *Fuzzy* conferiu robustez aos erros de classificação do primeiro estágio, reduzindo também o treinamento do primeiro estágio, além de fornecer como subproduto o grau de pertinência da respectiva classificação.
- O artigo [8] descreve um modelo robótico para a detecção de plantas daninhas para plantações de cana-de-açúcar utilizando um sistema que envolve o processamento das imagens para a extração da textura das folhas e a aplicação destas no classificador *Fuzzy* em tempo real para obter a adequada classificação das duas classes alvos (colheita e erva daninha). Os resultados obtidos pelo classificador *Fuzzy* em tempo real supera a performance o classificador k-nearest neighbour classifier (k-NN) tanto na classificação da erva daninha quanto na classificação da cana-de-açúcar conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Acurácia dos classificadores *Fuzzy* e k-NN conforme artigo [8]

CLASSE ALVO	FUZZY REAL TIME (%)	k-NN (%)
cana-de-açúcar	96.4	53.6
erva daninha	91.9	76.7

Desta forma, a FL foi utilizada para o desenvolvimento de um modelo de classificador considerando sua aderência pelas características citadas e por uma imprecisão parcial associada à subjetividade da análise manual realizada pelos retificadores na tomada de decisão no momento da avaliação dos resultados de retificação.

### 2.1.2 Armazenamento e Aquisição de Dados

Os resultados de retificação são automaticamente transmitidos das retíficas (Nível 1) para o sistema de nível 2 de gerenciamento da oficina de cilindros (RSM), porém alguns perfis (Trinca, Redondeza, US de Amplitude e outros) utilizados na análise visual dos gráficos pelos retificadores não eram armazenados.

A comunicação com as quatro (4) retíficas foi alterada para permitir o armazenamento desses perfis como parte integrante de um resultado de retificação.

### 2.1.3 Tratamento dos dados

Após algum tempo registrando os novos perfis de retificação na base Oracle do sistema RSM, os dados para treinamento e validação foram extraídos, sendo identificadas, em alguns casos, algumas inconsistências:

- Valor da quantidade de pontos do perfil diferentes das medições do respectivo perfil. Utilizado a quantidade real de pontos da medição do perfil para garantir a avaliação de todos os pontos.
- A retífica 2 não informa as medições dos perfis. Fornecedor do equipamento acionado para providenciar as modificações necessárias no Nível 1.
- Valores do perfil de magnetismo do cilindro não indicava cilindro magnetizado conforme teste operacional realizado na oficina de cilindros.

Em função destas observações, o classificador foi desenvolvido de forma a realizar a verificação conforme a disponibilidade dos dados. Quando houver ausência, a respectiva entrada do classificador Fuzzy é atribuída dentro dos limites. A tela utilizada pelos usuários foi modificada para apresentar a indicação da medição de cada perfil.

Outro aspecto importante consistiu na redução da quantidade de entradas (dimensionalidade) para todos os perfis envolvidos, ou seja, foi desenvolvida uma caracterização em conjunto com o especialista e técnico da oficina de cilindros para a identificação de um valor representativo sendo este o atributo de entrada utilizado pelo classificador Fuzzy para a respectiva avaliação.

Podemos exemplificar essa redução de dimensionalidade para a análise de forma, visto que após a retificação o perfil possui trezentos (300) valores/pontos. Cada valor é um comparado com o perfil ideal e suas respectivas tolerâncias superior e inferior que variam conforme o tipo de cilindro. Calcula-se assim, o desvio de todos os pontos sendo o maior desvio utilizado como a entrada para o classificador *Fuzzy*.

As definições dos atributos de entrada variam conforme o tipo de perfil e levam em consideração:

- A posição do defeito identificado ao longo do comprimento do cilindro.
- A evolução/variação do defeito em relação às N retificações anteriores.
- Primeira ocorrência do respectivo defeito em relação às N retificações anteriores.

O conjunto total de amostras consistiu em 5292 classificados pelos retificadores conforme a Tabela 2.

**Tabela 2.** Distribuição Original das Amostras – Fonte (Autor)

OK	NOD	NAC
5224	45	23

Dentre as amostras disponíveis, 5222 foram utilizadas no treinamento e 70 selecionadas pelo especialista e técnico da oficina de cilindros para realizar a validação do modelo.

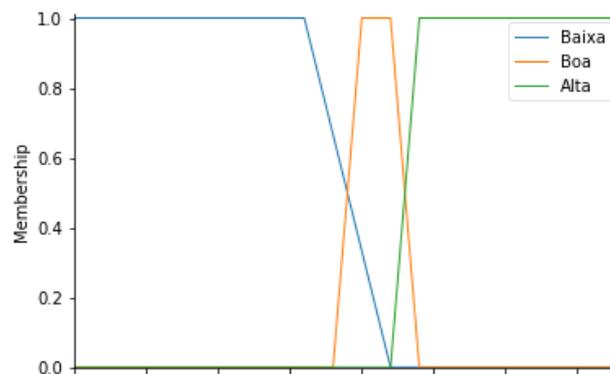
### 2.1.4 Classificador Fuzzy

O classificador Fuzzy foi desenvolvido em linguagem Python (IDE Spyder). As entradas com seus respectivos valores linguísticos estão descritas na Tabela 3, assim como a saída do classificador *Fuzzy* que corresponde a uma das três (03) classes possíveis da avaliação manual dos retificadores.

**Tabela 3.** Valores linguísticos das entradas e da saída do classificador – Fonte (Autor)

Tipo	Variáveis	Valores Linguísticos
Entrada	Desvio de Forma Superior	Baixo e Alto
Entrada	Desvio de Forma Inferior	Baixo e Alto
Entrada	Rugosidade	Baixa, Boa e Alta
Entrada	Desvio de Redondeza Superior	Baixo e Alto
Entrada	Desvio de Redondeza Inferior	Baixo e Alto
Entrada	Magnetismo	Baixo e Alto
Entrada	Desvio de Trinca	Baixo e Alto
Entrada	Desvio de Mudança de Estrutura (Bruise)	Baixo e Alto
Entrada	Desvio de Utrassom Amplitude	Baixo e Alto
Saída	Avaliação	OK, NOD e NAC

A Figura 11 ilustra o conjunto Fuzzy com as funções de pertinência para a variável de entrada Rugosidade.

**Figura 11.** Membership para Rugosidade – Fonte: Autor

O classificador Fuzzy da Retificação de Cilindros possui cinco (05) regras utilizando as variáveis linguísticas da Tabela 3 para a definição da Avaliação de saída no qual podemos exemplificar:

- Regra 1:

SE <desvioFormaSup['baixo'] > E <desvioFormaInf['baixo'] > E  
 <desvioRedondezaSup['baixo']> E <desvioRedondezaInf['baixo']> E

<Rugosidade['Boa']> E <desvioTrinca['baixo']> E  
 <desvioBruise['baixo']> E <desvioUSAmpl['baixo']> E  
 <magnetismo['NaoMagnetizado']>

ENTÃO

<avaliacao['OK']>

## 2.2 Principais Resultados/Ganhos

### 2.2.1 Qualitativos

Padronização das avaliações conforme as possibilidades de concorrência de desvios em cada cilindro retificado. Observou-se na fase de levantamento de dados a existência de variação operacional na definição da avaliação entre os retificadores, como por exemplo:

Desvio de Forma em conjunto com Desvio de Trinca:

- Caso exista desvio de forma a classe definida é NAC.
- Caso exista desvio de trinca a classe definida é NOD.
- Quando existe desvio de forma e também de rugosidade, alguns classificavam como NAC e outros como NOD.

Rugosidade:

- Alguns classificavam como NAC e outros como NOD.

A Tabela 4 mostra a padronização realizada, tendo-se a classificação NOD como prioritária em relação à classificação NAC:

**Tabela 4.** Desvios associados a respectiva classificação – Fonte (Autor)

Desvios	Avaliação
Desvio de Forma	NAC
Desvio de Redondeza	NAC
Desvio de Rugosidade	NOD
Magnetismo	NOD
Desvio de Trinca	NOD
Desvio de Mudança de Estrutura (Bruise)	NOD
Desvio de Utrassom Amplitude	NOD

### 2.2.2 Quantitativos

Para a verificação quantitativa em relação às classes minoritárias (NOD e NAC) foi selecionado um subconjunto específico no qual foram verificados 58 retificações em conjunto com o especialista e técnico da Oficina de Cilindros.

A acurácia refere-se ao quanto o classificador acertou das previsões possíveis, obtendo-se o valor de **92.86 %**, superior à expectativa inicial de 85 % e aos resultados obtidos pelo classificador Fuzzy utilizado na detecção de plantas daninhas para plantações de cana-de-açúcar citado no artigo [8].

A Tabela 5 mostra o resultado da matriz de confusão, no qual podemos observar que apenas cinco (5) amostras NAC foram classificadas como OK pelo classificador Fuzzy. Esse fato decorre de uma situação operacional específica no qual os cilindros foram retificados e não apresentaram nenhum desvio (logo a classificação OK), porém os retificadores classificam como NAC para que o sistema de Nível 2 RSM

mantenha a restrição de uso do cilindro até que o mesmo seja fresado para utilização como chapa de piso na cadeira de laminação F5 do trem acabador.

**Tabela 5.** Matriz de confusão – Fonte (Autor)

		OK	NOD	NAC
Target	OK	13	0	0
	NOD	0	52	0
	NAC	5	0	0

A Figura 12 mostra o relatório de classificação gerado pelo Python contendo importantes informações do desempenho do classificador Fuzzy, dentre as quais podemos destacar em relação às classes OK e NOD:

- Coluna “recall” indica que o modelo é excelente na predição dos positivos.
- Coluna “precision” indica a alta precisão do classificador.

	precision	recall	f1-score	support
OK	0.72	1.00	0.84	13
NOD	1.00	1.00	1.00	52
NAC	0.00	0.00	0.00	5
avg / total	0.88	0.93	0.90	70

**Figura 12.** Relatório de Classificação do Python – Fonte: Autor

O classificador utiliza as informações existentes e armazenadas, entretanto a parte da verificação manual (inspeção visual e ensaios não destrutivos como líquido penetrante) não está disponível o que restringe a possibilidade de realizar uma classificação completa quando ocorre a detecção de algum desvio (Classe NOD).

Mesmo assim, a Figura 12 mostra a alta precisão para a classe NOD, confirmando o potencial para orientar os retificadores sobre a necessidade de realizar a verificação manual, e conseqüentemente, minimizar possíveis liberações indevidas associadas.

O tempo necessário para a classificação das 5222 amostras de treinamento foi 66.1985 s utilizando processador “Intel® Core™ i5-6300U CPU 2.4 GHz” com 8 GB RAM e sistema operacional Windows 7 64 Bits.

## 2.3 Próximos Passos

Realizar o desenvolvimento da integração do classificador Fuzzy como guia operacional dos retificadores dentro do sistema de nível 2 RSM, incluindo a notificação “on line” via email para os respectivos grupos de responsáveis quando a liberação realizada pelo usuário diferir do classificador Fuzzy em condições nos quais a inspeção visual não é realizada ou não está liberada.

Além disso, outros modelos de classificadores serão avaliados (Ex: Árvore de Decisão) de forma a comparar diferentes modelos utilizados por sistemas inteligentes com objetivo de confirmar o excelente desempenho obtido no classificador Fuzzy.

## 3 CONCLUSÃO

Com o uso de sistemas inteligentes como a Lógica Fuzzy é possível aumentar a confiabilidade por meio da aplicação de classificadores automáticos podendo citar ainda os seguintes benefícios esperados nos próximos passos:

- Redução no tempo requerido pela avaliação manual dos retificadores, aumentando assim a disponibilidade dos mesmos para outras atividades.
- Antecipação da identificação de liberações inadequadas por meio da notificação “on line” por e-mail para supervisores e especialista.

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus que continuamente me surpreende com seu cuidado e proteção. À minha amada esposa Karla, meu filho João Filipe e minha filha Ana Luisa pela compreensão na redução do tempo de convivência em família para permitir minha dedicação ao mestrado. Aos orientadores Daniel e Gustavo pelo apoio, dedicação e toda ajuda oferecida nessa caminhada que se inicia. À ArcelorMittal Tubarão pela confiança e incentivo.

## REFERÊNCIAS

- 1 RIZZO, E. M. S. Processos de laminação a quente de produtos planos de aço. 2011. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. p.102
- 2 DORNELAS, F. C. Curso Laminação de Produtos Planos Fundamentos e Equipamentos. 2012. p.14-15, 169, 199, 200, ArcelorMittal Tubarão.
- 3 LIN, C.T.; LEE, C. S. G. Neural Fuzzy Systems. A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems. 1996. Editora Prentice-Hall do Brasil Ltda. ISBN 0-13-235169-2. p. xiii-3.
- 4 CORCOLL-SPINA, CO. Lógica fuzzy: reflexões que contribuem para a questão da subjetividade na construção do conhecimento matemático. 2010. 165 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- 5 YAGUINUMA, C. A. Processamento de conhecimento impreciso combinando raciocínio de ontologias fuzzy e sistemas de inferência fuzzy. 2013. 177 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2013.
- 6 YANG, Lixing; ZHOU, Xuesong; GAO, Ziyou. Credibility-based rescheduling model in a double-track railway network: a fuzzy reliable optimization approach. Omega, [s.l.], v. 48, p.75-93, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2013.11.004>.
- 7 SIMÕES, A. S.; COSTA, A. H. R.; ANDRADE, M. T. C. Utilizando um classificador fuzzy para a seleção visual de laranjas. 2001. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP. Disponível em: <https://www2.pcs.usp.br/~lti/artigos/2001/Costa%20-%20Utilizando%20um%20Classificador%20Fuzzy%20para%20Sele%C3%A7%C3%A3o%20Visual%20de%20Laranjas.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2018.
- 8 SUJARITHA, M et al. Weed detecting robot in sugarcane fields using fuzzy real time classifier. Journal Computers And Electronics In Agriculture, [s. L.], v. 134, n. , p.160-171, mar. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.01.008>>. Acesso em: 18 nov. 2018.