

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA AUTOMÁTICO DE INSPEÇÃO SUPERFICIAL COMO FERRAMENTA DE APOIO À OPERAÇÃO DO LTQ E DE CONTROLE DA QUALIDADE DAS BOBINAS ¹

Vitor Leonardo Ferreira Areas ²
Ludmilla Milanez Franca ³
Pedro Campos Dias ⁴
Roberto Dalmaso ⁵
Fernando José Martinelli ⁶

Resumo

O sistema automático de inspeção superficial é uma ferramenta que possibilita a inspeção “on-line” de 100% da superfície das tiras laminadas a quente. Neste trabalho serão apresentados as características do equipamento e seu princípio de funcionamento, os procedimentos para ajuste do sistema, sua utilização e os resultados obtidos e as perspectivas de futuro. O sistema fornecido pela Parsytec detecta e classifica as imagens com características diferentes da imagem de base (superfície da tira) durante o processo de laminação, através de câmeras posicionadas na saída do trem acabador (face superior) e no final da mesa de resfriamento (face inferior). A classificação do defeito é feita pela comparação com as características de imagens previamente selecionadas. O sucesso do sistema automático de inspeção de superfície depende fundamentalmente de um correto processo contínuo de aprendizagem. O sistema automático de detecção e classificação de defeitos vem sendo utilizado como uma ferramenta importante de controle de qualidade de produto e de processo no LTQ da CST.

Palavras-chave: Inspeção superficial; Controle de qualidade; Inspeção de bobinas.

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC SURFACE INSPECTION SYSTEM AS A TOOL TO SUPPORT HOT STRIP MILL OPERATION AND QUALITY CONTROL OF COILS

Abstract

The automatic surface inspection system is a tool that allows on-line inspection in 100% of hot strips surface. In this paper are going to be presented the equipment characteristics, system adjustment procedures, the use of system, results achieved and next steps. The system supplied for Parsytec detects and classifies images that can be defects using cameras and software that compare some characteristics. The success of this system depends on a continuous learning process. This automatic system has been used as an important tool in product and process quality control in CST – Arcelor Brasil.

Key words: Surface inspection; Quality control; Hot strip inspection.

¹ Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Engenheiro Especialista de Controle Técnico da Laminação de Tiras a Quente – CST Arcelor Brasil.

³ Engenheira Especialista em Controle Integrado de Produto – CST Arcelor Brasil.

⁴ Engenheiro Especialista em Inspeção de Produtos – CST Arcelor Brasil.

⁵ Técnico Especializado de Manutenção de Controle de Processo - CST Arcelor Brasil.

⁶ Engenheiro Especialista de Automação de Processos – CST Arcelor Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O comissionamento do Sistema de Inspeção Superficial (SIS) da Parsytec (HTS 4.2) se deu em paralelo ao comissionamento do Laminador de Tiras a Quente da CST – Arcelor Brasil. Porém, devido ao *rating up* de um LTQ demandar muito dos especialistas envolvidos, o ajuste da ferramenta de inspeção superficial foi relegado a segundo plano, até a estabilidade do LTQ. Até então, o SIS era usado exclusivamente como uma ferramenta de apoio operacional.

A partir do segundo semestre de 2005 foi formada uma equipe para participar do ajuste do SIS, composta por especialistas do Controle Técnico do LTQ, Controle Integrado de Produto, Inspeção de Produtos, Manutenção de Controle de Processo e Automação de Processos. Esta equipe participou de treinamento *on-site* sobre o sistema, recebeu uma assistência técnica da Parsytec (de 2 previstas), conheceu as práticas de utilização do sistema nas empresas do grupo Arcelor e está aplicando este conhecimento adquirido para ajuste do sistema e sua utilização, não só como ferramenta de apoio operacional, como também de controle da qualidade superficial das bobinas produzidas.

O SIS tem como função básica detectar uma diferença de níveis de cinza entre a superfície da tira e um objeto estranho nela e, baseado em algumas regras, capturar a imagem do possível defeito, classificar esta imagem (por comparação com a base de dados) e exibi-la na tela de monitoramento com a classificação do defeito, posição e tamanho.

Vários ajustes no sistema foram realizados desde o seu comissionamento, como o *setup* básico do sistema, ajuste de detecção e ajuste das interfaces com o operador, sendo que o principal deles é o ajuste da classificação de defeitos, através da ferramenta *Automatic Classifier*. Esse ajuste permanece sendo feito, visto que é um processo de aprendizagem contínuo, em que novas imagens de defeitos são capturadas para refino da base de dados. Entretanto, alguns ajustes ainda são necessários para melhoria do acerto na classificação e detecção de defeitos, principalmente nas bordas da tira.

A utilização do SIS para controle de qualidade das bobinas é essencial para a competitividade da empresa, e como ferramenta de apoio operacional, representa uma oportunidade de redução de custos. Portanto, o uso correto deste sistema é fundamental, haja vista a possibilidade da avaliação da qualidade de superfície em todo comprimento da tira e em todas as bobinas produzidas.

O objetivo do trabalho é apresentar as características do equipamento, o princípio de funcionamento, os procedimentos para ajuste do sistema, sua utilização e os resultados obtidos na CST - Arcelor Brasil e as perspectivas futuras.

2 CARACTERÍSTICAS E FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

O Sistema de Inspeção Parsytec HTS 4.2 foi projetado para inspeção automática em materiais cujo processo é realizado em alta velocidade, como na laminação a quente.

O sistema^[1,2] (Figura 1) é composto por câmeras digitais (controladas via sinais de sincronização do servidor) em conjunto com módulos de iluminação, ambos integrados nas câmaras de inspeção, que capturam imagens que são transferidas ao servidor via cabos de fibra ótica. O servidor processa as imagens e salva os dados de defeitos na base de dados. O resultado é mostrado pelo terminal de operação, enquanto o terminal de controle é usado tanto para ver as imagens armazenadas, quanto para ajustar o sistema.

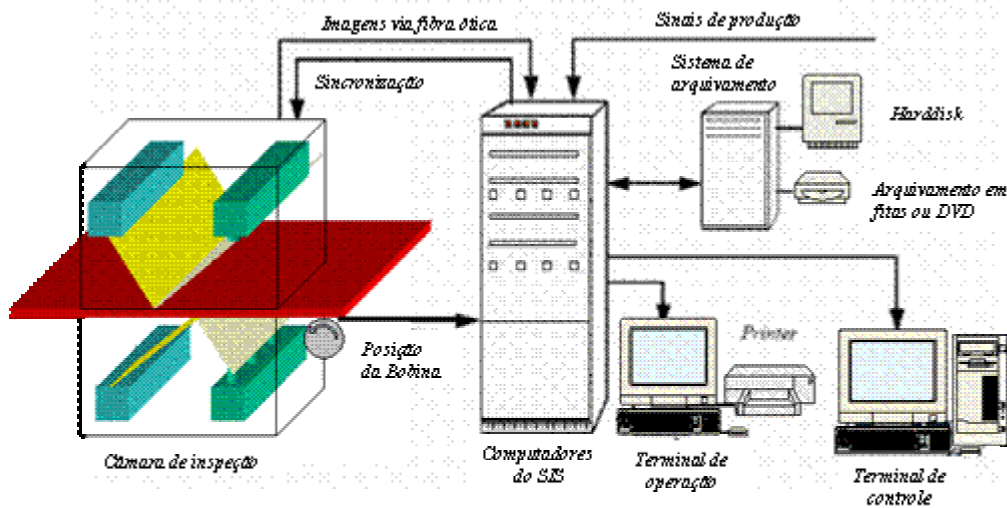


Figura 1 – Desenho esquemático do Sistema Parsytec HTS 4.2.^[2]

O hardware^[3] em uso possui um conjunto de 6 câmeras CCD matriciais para captura de imagens em cada face da tira. Seis computadores são utilizados para processamento das imagens capturadas (1 computador para 2 câmeras). Cada uma destas câmeras captura periodicamente imagens da tira em uma razão constante. As câmeras superiores trabalham com 120 imagens por segundo e ficam localizadas na saída do trem acabador (Figura 2). Em função da distância entre rolos da mesa, as câmeras inferiores, localizadas após a mesa de resfriamento, próximo a entrada das bobinadeiras, obtêm imagem com área inferior a das câmeras superiores. Para compensar tal situação, estas câmeras capturam imagens numa razão de 240 por segundo.

Como a detecção de defeitos e a classificação são baseadas na distribuição de níveis de cinza (contraste e brilho) da imagem capturada, a iluminação^[4] tem uma função importante no processo. Garantir uma iluminação superficial adequada é crítico em qualquer sistema baseado em algoritmos de processamento de imagens.

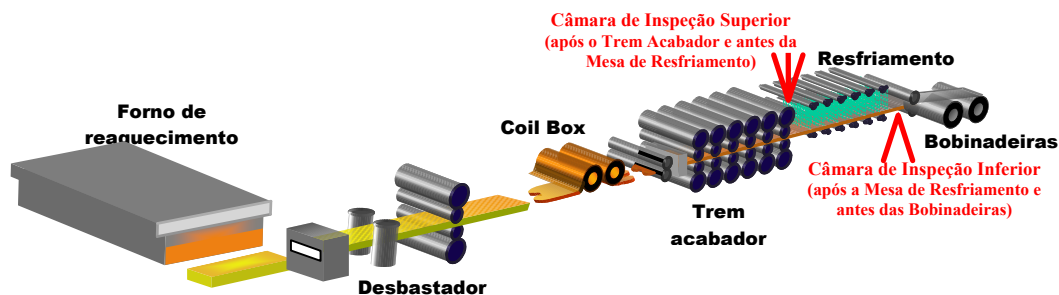


Figura 2 – Posição do sistema de inspeção no LTQ da CST – Arcelor Brasil

As imagens capturadas (Figura 3) em cada câmera são enviadas a computadores que realizam um processamento inicial de identificação de variações de níveis de cinza entre os pixels da imagem. A seguir, o sistema determina se a imagem está “limpa” ou existe um possível defeito. Caso a imagem esteja “limpa”, ela é descartada.

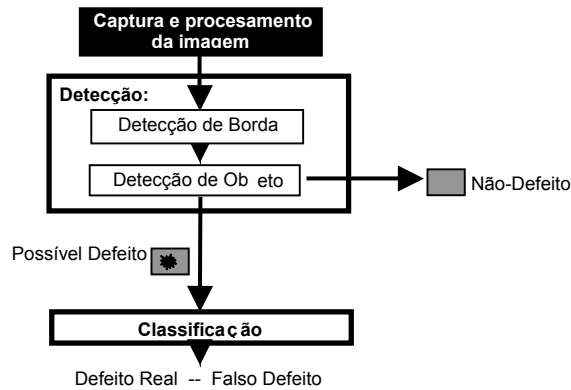


Figura 3 – Fluxo do processo de reconhecimento da imagem.^[5]

As imagens consideradas como possíveis defeitos passam por um processamento adicional, no qual, primeiramente, ocorre a determinação da posição exata dos pixels do defeito. Os pixels relacionados são então combinados em objetos, e centenas de características são extraídas desses objetos. Baseado nessas características, o classificador determina, no próximo estágio, a classificação do defeito. A determinação de qual característica e quais valores representa cada tipo de defeito são baseadas em algumas técnicas de inteligência artificial, baseada em árvore de decisão.

A detecção e a identificação adequada do defeito dependem de alguns ajustes no sistema (Figura 4) que devem ser realizados continuamente. Esses ajustes serão detalhados posteriormente. O *setup* básico do sistema é realizado durante o comissionamento. O ajuste na interface do operador depende da demanda do usuário e a administração do sistema é uma função contínua de manutenção.

A Interface para utilização do sistema é o ODIS (Operator Display Software) que mostra as informações necessárias à inspeção da bobina (Figura 5).

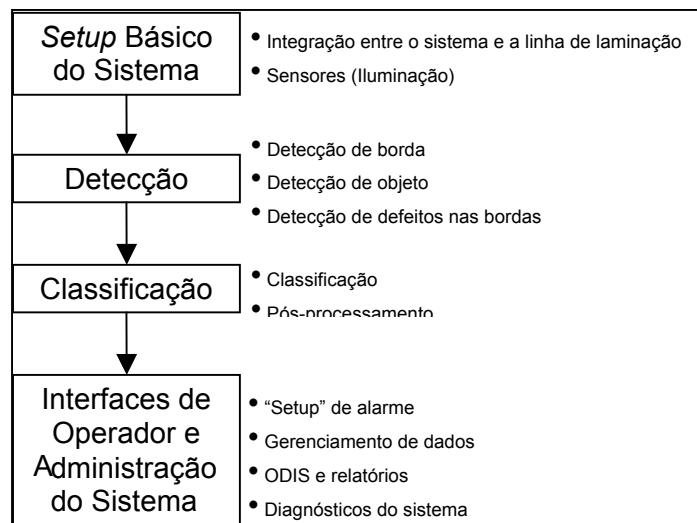
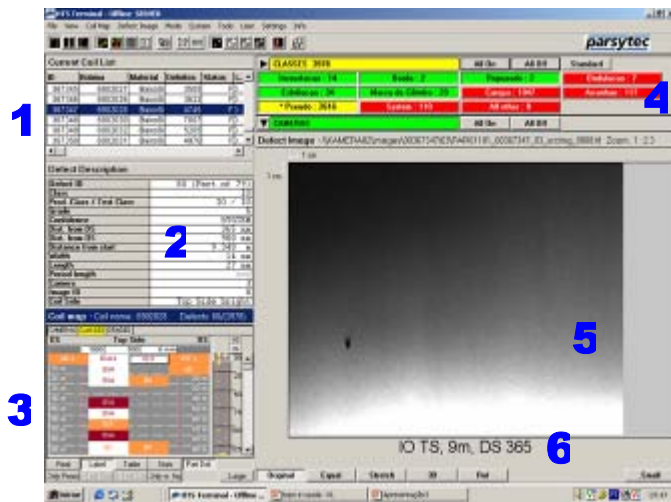


Figura 4 - Fluxo de ajuste do sistema



- 1 – Lista de Bobinas
- 2 – Descrição do Defeito
- 3 – Mapa de Defeitos da Bobina
- 4 – Classes de Defeitos
- 5 – Imagem do Defeito
- 6 – Posição do Defeito

Figura 5 – Tela do ODIS

No modo *on-line*, somente a bobina que está sendo inspecionada pelo sistema é mostrada na tela. Este modo é útil para fornecer à operação da linha informações instantâneas sobre a qualidade da bobina produzida. A interface contém uma visão geral de toda a bobina, uma visão detalhada da última seção inspecionada da bobina, atualização automática da imagem de defeitos, indicadores de *status* para todos os computadores e controles das câmeras para influenciar o processo de inspeção e a apresentação da informação na tela.

O modo *off-line* é utilizado por quem está encarregado em julgar a qualidade das bobinas produzidas e por quem utiliza o modo de classificação para corrigir um defeito classificado incorretamente pelo sistema. Este modo oferece funções por selecionar bobinas da base de dados, mostrando informações dos defeitos e imagens e imprimindo relatórios.

3 AJUSTES DE DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITO

3.1 Ajuste de Detecção

A detecção consiste de 2 estágios: a detecção de borda e a detecção de objeto. A detecção de borda define a posição das bordas da tira inspecionada. Assim sendo, as imagens que estiverem fora da superfície da tira não são consideradas no processo de detecção e classificação.

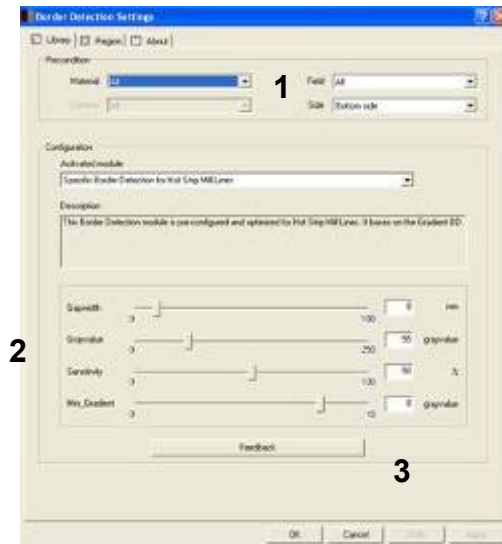


Figura 6 – Controles de Ajuste da Detecção de Borda

A Figura 6 mostra os controles para ajuste da detecção de borda:

1 – Campo que especifica as pré-condições sobre o qual os ajustes irão ter efeito;

2 – Controles de *Gapwidth*, *Grayvalue*, *Sensitivity* e *Min_Gradient* – utilizados para ajustar uma configuração adequada a fim de proporcionar uma melhor detecção de borda das tiras.

3 – *Feedback* (Figura 7) – Este botão remete ao programa Parsyvision, que mostra o resultado dos ajustes nos valores de controle em uma imagem selecionada.

A detecção de objeto é responsável pela detecção de estruturas que podem ser defeitos. A detecção de objeto se divide em 2 partes: detecção de objeto próximo a borda da tira e detecção de objeto na superfície.

A detecção de objeto próximo a borda é usado para detectar possíveis defeitos do tipo trinca de borda e avarias na borda (borda serrilhada ou avarias devido guardas laterais).

A detecção de objeto na superfície é usada para detectar possíveis defeitos na tira e isolá-los para processamento posterior.

Os controles para ajuste da detecção de objeto na superfície da tira são semelhantes aos controles para ajuste da detecção de borda. A diferença é que não há controle para ajuste de *Gapwidth*, *Grayvalue* e *Min_Gradient*, e sim controle para ajuste de *Sensitivity* e *Adaptation*, utilizados para ajustar uma configuração adequada a fim de proporcionar uma melhor detecção de possíveis defeitos nas tiras.

A função *Feedback* (Figura 8) é semelhante ao ajuste de detecção de borda.

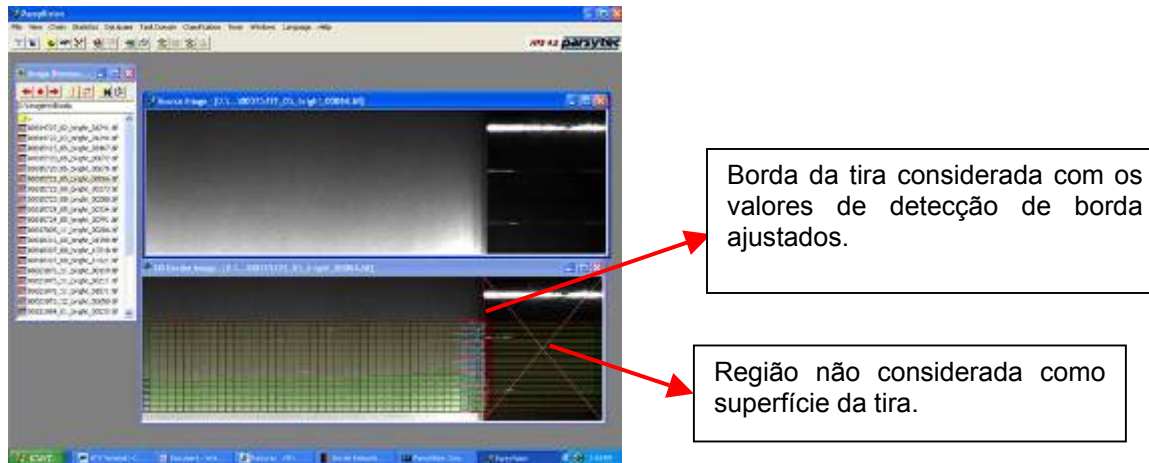


Figura 7 – Feedback dos ajustes no Parsyvision

Quando a configuração ajustada para a detecção de objeto é adequada, os possíveis defeitos são detectados para posterior classificação como defeito ou falso defeito, como na Figura 8(1). Quando a configuração não é adequada existe a possibilidade de um possível defeito não ser detectado, como na Figura 8(2), ou de detectar vários “objetos” que não são defeitos, como no caso de material com textura superficial grosseira (Figura 9(2)) – a detecção adequada neste caso é mostrada na Figura 9(1).

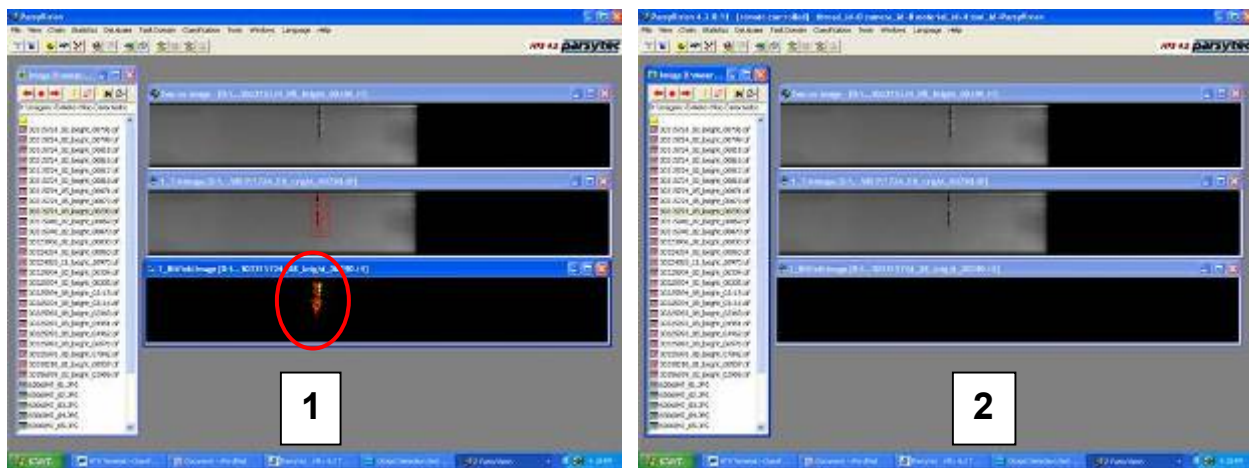


Figura 8 - Ajuste de detecção adequado (1) e inadequado - defeito não detectado (2)

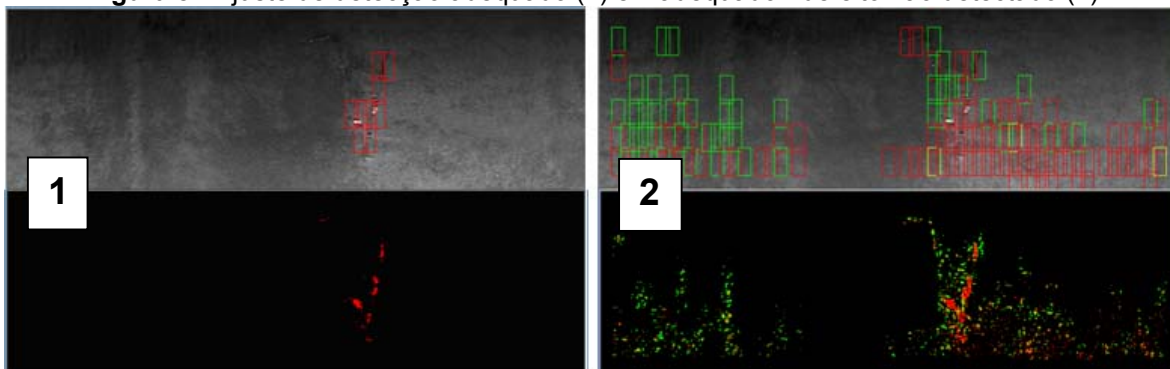


Figura 9 - Ajuste de detecção adequado (1) e inadequado - falso defeito detectado (2)

3.2 Ajuste da Classificação de Defeitos

A ação de nomear objetos (defeitos) é o que chamamos de classificá-los. Objetos similares devem estar na mesma categoria, mesmo que não sejam exatamente iguais, o que permite ao software reconhecê-los. Tirando como exemplo do nosso dia-a-dia, reconhecemos uma bola como sendo redonda, mesmo podendo ter cores e tamanhos diferentes.

Quanto mais amostras do mesmo tipo de objeto tivermos coletados, maior a chance do software reconhecê-lo como sendo tal objeto. O conjunto de imagens classificadas como defeito, separadas por categorias, é chamado de classificador. O processo de criação de classificadores é contínuo, sempre com a intenção de torná-lo cada vez melhor, capaz de reconhecer corretamente cada defeito detectado pelo sistema.

Existem dois tipos diferentes de classificadores, que podem ser combinados para atingir uma taxa de acerto otimizada: Classificador Automático e Classificador Visual.

O Classificador Automático possui regras implícitas que determinam a qual categoria de defeito a imagem detectada pertence. Basta prover o classificador com um número suficiente de boas imagens (amostras) de defeitos que ele fará todo o processo (árvore de decisão) automático para a identificação de cada objeto detectado.

O Classificador Visual utiliza a construção de regras pelo “operador”, por conhecimento de características explícitas do defeito ou pelo método de tentativa e erro, para identificação de um objeto. Este método não é utilizado na CST – Arcelor Brasil.

O processo de criação de um novo classificador consiste nos seguintes passos: seleccionar amostras de defeitos classificados incorretamente pelo sistema, enviá-las ao *ParsyClassification Tool* (ferramenta para criação de classificadores – Figura 10), treinar as amostras nomeando-as com a classificação correta dos defeitos, criar um novo classificador, testá-lo “on-line” no modo “dual mode” - que mostra a classificação do defeito pelo novo classificador criado, juntamente com o classificador em uso - e, estando com um índice de acerto de classificação maior do que o classificador em uso, o novo classificador é posto em funcionamento.

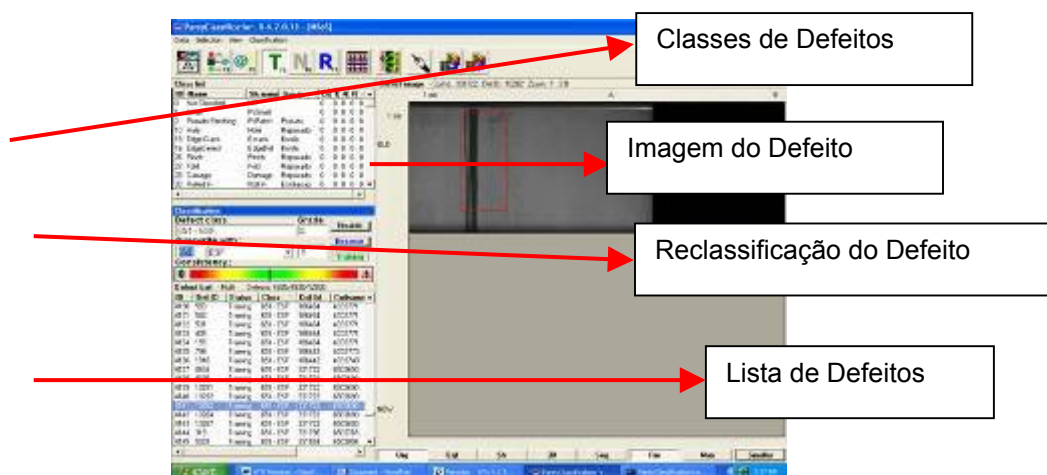


Figura 10 – ParsyClassification Tool

A análise do índice de acerto de um classificador pode ser feito observando o resultado da classificação dos defeitos no dia-a-dia por amostragem ou utilizando a ferramenta *Reference Data*.

Para utilização da ferramenta *Reference Data* é necessário selecionar algumas bobinas e classificar manualmente todos os objetos detectados (defeitos e não-defeitos). Daí então é realizada a verificação automática da bobina utilizando o classificador criado. O resultado da classificação automática é confrontado com o resultado da classificação manual, após o qual é fornecido o índice de acerto geral e por defeito. Até o fechamento deste trabalho não havia sido realizado a análise do índice de acerto do novo classificador utilizando esta ferramenta.

Utilizando a verificação do índice de acerto por amostragem, onde são selecionadas bobinas com indicação de defeito pela inspeção e confrontado este resultado fornecido pela inspeção com o da classificação automática, obtivemos os seguintes resultados:

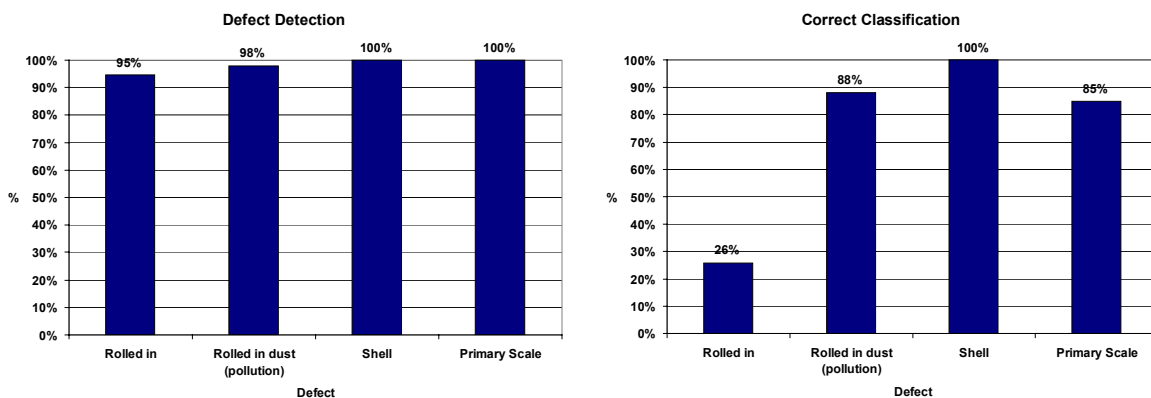


Figura 11 – Resultado do índice de Detecção e Classificação de alguns defeitos


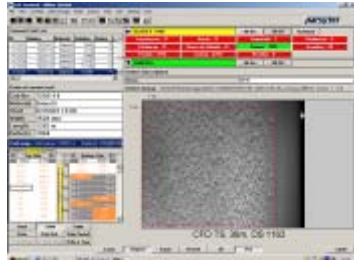
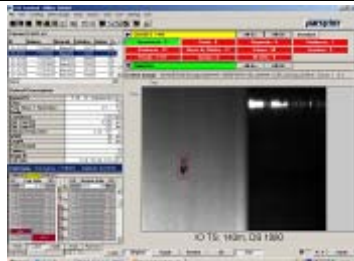
Podemos verificar que o índice de detecção dos defeitos Corpo Laminado (*Rolled In*), Incrustação de Óxido (*Rolled In Dust*), Esfoliação (*Shell*) e Carepa Primária (*Primary Scale*) é bem alto ($\geq 95\%$). O que significa dizer que esses defeitos são corretamente indicados pelo sistema como defeitos e, assim sendo, são detectados pelos inspetores. Quanto ao índice de acerto de classificação, que indica o quanto o sistema está classificando corretamente cada defeito, podemos observar que, enquanto os defeitos Incrustação de Óxido e Carepa Primária estão com índices considerados bons ($\geq 85\%$) e Esfoliação obteve índice de acerto de classificação de 100% na amostragem realizada, o defeito Corpo Laminado obteve índice muito abaixo do ideal (26%). Isto pode ser explicado pelo fato deste defeito ser facilmente confundido com defeitos mais grosseiros, como Incrustação de Óxidos, e com não-defeitos, como água e sujeira. Devido a isto, 2 novas classes de “defeito” foram criadas: PS_água e PS_sujo. Apesar desta ação não melhorar o acerto de classificação deste defeito, diminui a possibilidade dele não ser detectado pelos inspetores.


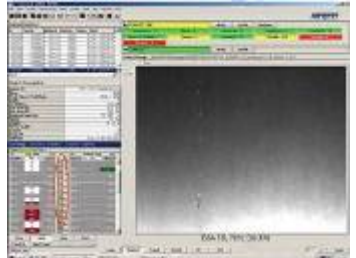
Esta avaliação foi realizada no classificador 57, criado em 26/07/2006 e em utilização desde então, que contém mais de 4500 imagens de referência, divididas em 25 classes de defeitos e não-defeitos. Hoje está sendo testado o classificador de número 60. Os classificadores 58 e 59 não apresentaram resultados satisfatórios e, portanto, não foram utilizados.

4 UTILIZAÇÃO DO SISTEMA PARSYTEC DE INSPEÇÃO SUPERFICIAL PELA CST – ARCELOR BRASIL

O uso deste sistema no controle de processo do LTQ se faz através de dois terminais de operação – um no púlpito do trem acabador e outro no púlpito das bobinadeiras. O operador da bobinadeira tem a responsabilidade de acompanhar *on-line* o processamento das tiras, avaliar os defeitos apresentados pelo sistema, julgá-los relevantes ou não para a operação do laminador e dar *feedback* ao operador do trem acabador. Toma-se a decisão de parar a produção para identificação do agente causador e eliminação do problema caso o defeito seja considerado grave, ou continuar laminando, caso o operador julgue que o defeito é de baixa gravidade. Se houver dúvida em relação à intensidade (gravidade) do defeito e este puder ser verificado nos últimos 7 metros da tira, o operador desvia a bobina em questão para a inspeção primária (*offline*) a fim de avaliar visualmente o defeito. A Tabela 1 mostra as ações da operação quando da detecção de certos defeitos.

Tabela 1 – Utilização do sistema pela operação

DEFEITO	AÇÃO	FOTO DO DEFEITO
Marca de Cilindro	A bobina é enviada a inspeção primária para avaliar a intensidade do defeito e, dependendo da intensidade x cliente, a operação da linha decide realizar (ou não) a troca dos cilindros que apresentam a marca.	
Carepa	Quando detectado que o problema é de falha de descarepação, é realizada uma checagem nos descarepadores. Se se tratar de carepa em faixa devido bandeamento do cilindro, é verificada a necessidade de troca de cilindro caso o defeito seja de intensidade alta.	
Incrustação de Óxidos	Dependendo da gravidade e frequência de ocorrência do defeito, a operação decide parar a aplicação de óleo de laminação durante um período e, caso esta ação não resolva o problema, é realizada a limpeza das cadeiras com jatos d'água.	

DEFEITO	AÇÃO	FOTO DO DEFEITO
Corpo Laminado ou Corpo Estranho	Se a frequência de ocorrência do defeito for grande, a operação decide inspecionar as guias laterais e limpá-las, caso necessário.	
Arranhão	Dependendo da frequência de ocorrência e intensidade do defeito é realizado a checagem da linha de laminação para encontrar a causa.	

Em caso de falha do sistema Parsytec o laminador pára para manutenção do equipamento e a produção somente é reiniciada quando for restabelecido seu funcionamento normal.

A utilização do sistema na garantia da qualidade do produto é realizada por um terminal de operação na sala da inspeção.

O inspetor analisa *offline* todas as imagens de todas as bobinas, exceto as classificadas como não-defeito, e realiza o julgamento da qualidade superficial de cada bobina de acordo com a intensidade dos defeitos, cliente e aplicação final do produto.

As bobinas podem ser liberadas, desclassificadas ou enviadas para tratamento dos defeitos nas linhas de acabamento, com a informação no nível 3 do tipo de defeito, intensidade e a posição dele na tira.

5 COMENTÁRIOS FINAIS

A utilização do SIS para detecção de defeitos é uma ferramenta importante para o controle de qualidade de processo e de produtos laminados.

Os benefícios do sistema de inspeção automática para a CST – Arcelor Brasil foram:

- Inspeção de 100% das tiras, nas duas faces, em tempo real e ao longo de toda a produção;
- Detecção e confirmação mais rápida da ocorrência de um defeito, o que possibilita atuar em contramedidas antes mesmo de ter o resultado da inspeção de qualidade;
- Eliminação do processamento de material nas linhas de acabamento para inspeção preventiva;
- Possibilidade de inspeção superficial em bobinas que não poderiam ser processadas (e inspecionadas) nas linhas de acabamento devido restrições dimensionais dos equipamentos.

Apesar de todo benefício e dos bons resultados obtidos com o sistema, existe uma necessidade contínua de melhoria do nível de acerto de classificação de defeitos, principalmente os de baixo contraste de imagem e de reduzidas dimensões.

O projeto de desenvolvimento do sistema está em sua 2ª fase, onde os próximos passos são:

- Criar critérios automáticos de julgamento por cliente e aplicação;
- Criar indicação automática de intensidade de defeito pelo SIS para julgamento direto de bobinas;
- Desenvolver uma ferramenta de julgamento automático de qualidade superficial baseado na intensidade de defeito, quantidade e densidade no comprimento total da bobina (coil grade);
- Melhorar o acerto de classificação de defeitos para atingir índice médio superior a 85%.
- Promover a integração entre o SIS de Vega do Sul (Siemens-VAI) e o SIS da CST – Arcelor Brasil (Parsytec).

REFERÊNCIAS

- 1 Parsytec AG. System Description: Concepts and Facilities. In: Manual do Parsytec HTS 4.2. 2002, cap. 1, p. 5.
- 2 Parsytec AG. Operator Display: User Manual. In: Manual do Parsytec HTS 4.2. 2002, cap. 1, p. 7.
- 3 Lima Jr., S. O.; Bellon, J. C.; Martinelli, F. J.; Pinto, C. A. A.; Dantas, W. S. Desenvolvimento e implementação do sistema de inspeção “on-line” de superfície como ferramenta de controle de qualidade de bobinas a quente da CST – Arcelor Brasil. In: Seminário de Laminação – Processo e Produtos Laminados e Revestidos, 41, 2004, Joinvile. São Paulo: ABM, 2004.
- 4 Tiwari, P. K.; Jana, T. Online automatic surface inspection system for quality control at Hot Strip Mill, Tata Steel.
- 5 Knaak, U. HTx tuning training detection. In: TREINAMENTO BÁSICO DO SISTEMA PARSYTEC NA CST – ARCELOR BRASIL, 2005.