

O SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE BOBINAS LAMINADAS A QUENTE DA CST ⁽¹⁾

*Caetano Nunes da Silva ⁽²⁾
Fernando José Martinelli ⁽³⁾
José Fagundes Júnior ⁽⁴⁾
Luiz Renato de Araújo Amorim ⁽⁵⁾
Rogério Eleotério de Jesus ⁽⁶⁾*

O desenvolvimento e implantação do sistema de classificação da qualidade constituíram uma etapa fundamental no estabelecimento de procedimentos eficazes para a garantia da qualidade dos produtos laminados a quente da Companhia Siderúrgica de Tubarão. Praticamente dois anos após o start-up e seis meses após o atingimento da capacidade de produção nominal do laminador de tiras a quente, o sistema de classificação da qualidade de bobinas está firmemente consolidado como uma das principais ferramentas para a avaliação da qualidade do produto e do processo, tendo neste trabalho suas principais características apresentadas.

Palavras-chave: controle de qualidade, controle de processo, bobinas laminadas a quente, automação.

⁽¹⁾ *Contribuição Técnica ao VII Seminário de Automação de Processos, Belo Horizonte, MG, 6 a 8 de Outubro de 2004*

⁽²⁾ *Engenheiro de materiais, Especialista em Laminação de Tiras a Quente da CST, Vitória, ES*

⁽³⁾ *Engenheiro eletricista, DSc, Especialista em Automação da CST, Vitória, ES*

⁽⁴⁾ *Engenheiro metalurgista, MSc, Especialista em Laminação de Tiras a Quente da CST, Vitória, ES*

⁽⁵⁾ *Engenheiro metalurgista, Especialista de Controle Metalúrgico de Tiras a Quente da CST, Vitória, ES*

⁽⁶⁾ *Engenheiro eletricista, Especialista em Automação da CST, Vitória, ES*

1 INTRODUÇÃO

O Laminador de Tiras a Quente (LTQ) da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) teve o seu “start-up” em 31/04/2002, tendo atingido sua capacidade nominal de produção (165.000t/mês) em Janeiro de 2004. Com recursos tecnológicos de última geração, o laminador é capaz de produzir bobinas a quente de até 40t, com espessuras que variam de 1,2 a 16,0mm e largas de 700 a 1.880mm.

O sistema de classificação da qualidade de bobinas (“Coil Classify”) foi adquirido pela CST junto do fornecimento de seu LTQ. Ele é, de fato, uma das funcionalidades do sistema de nível 2 de controle da linha principal do LTQ. Sua filosofia foi definida pela CST em conjunto com a Toshiba durante a fase de engenharia detalhada do sistema, e com base nestas definições ocorreu o fornecimento.

Com a entrada em operação do laminador identificou-se que a ferramenta, como fornecida, já era de grande valor, mas precisava de alguns ajustes adicionais. Assim, foi iniciado um trabalho com o objetivo de aumentar a confiabilidade do sistema eliminando possíveis inconsistências e falhas de implementação que pudessem ser identificadas. Obtida a confiabilidade e realizados os refinamentos necessários para a avaliação da qualidade das bobinas, os resultados de classificação passaram a ser intensivamente utilizados no processo de julgamento da produção, de acordo com as tolerâncias especificadas no projeto de qualidade.

Finalizado o desenvolvimento do sistema de classificação em relação às especificações do projeto de qualidade, partiu-se para a consolidação da ferramenta como instrumento de avaliação da capacidade do processo produtivo.

Na situação atual as duas vertentes; a de avaliação da adequação do material produzido ao projeto de qualidade e a vertente de análise do processo, estão operando com sucesso.

2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O sistema de classificação da qualidade de bobinas usa como matéria-prima para o seu processamento os dados capturados dos dispositivos de medição posicionados ao longo da linha de laminação de tiras quente. Na atual versão, as seguintes variáveis são analisadas para cada bobina que é laminada:

Tabela 1 - Variáveis de controle e medidores utilizados:

Variável:	Medidor:	Posição do medidor:
Espessura (μm)	Multifunção	Saída do trem acabador
Largura (mm)	Medidor de largura	Fim da mesa de resfriamento
Temp. de acabamento ($^{\circ}\text{C}$)	Pirômetro	Saída do trem acabador
Temp. de bobinamento ($^{\circ}\text{C}$)	Pirômetro	Fim da mesa de resfriamento
Coroa (μm)	Multifunção	Saída do trem acabador
Cunha (μm)	Multifunção	Saída do trem acabador
Planicidade (I-Unit)	Multifunção	Saída do trem acabador

Segue uma ilustração dos equipamentos do LTQ da CST para melhor entendimento da localização descrita.

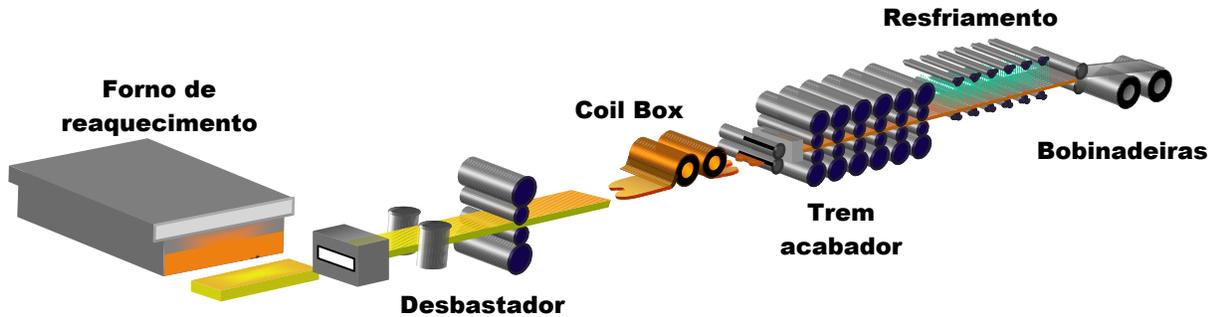


Figura 1: Lay-out do LTO da CST com a identificação dos principais equipamentos.

As medições realizadas pelos diversos instrumentos são capturadas pelo sistema de nível 2 da linha principal do LTO e processadas afim de homogeneizar sua forma de representação e facilitar as análises. Tal processamento converte os dados capturados em diferentes taxas de amostragem para uma mesma referência de comprimento, sendo que para cada variável realiza-se a identificação do valor que a variável estaria assumindo a cada metro ao longo do comprimento da bobina. Têm-se como resultado os dados convertidos, chamados “resultados metro-a-metro”.

Com todos os resultados das medições convertidos para metro-a-metro, inicia-se a verificação de sua adequação à referência desejada. Para a vertente do Coil Classify destinado à avaliação da qualidade do material, usam-se como referências as especificações dos projetos de qualidade.

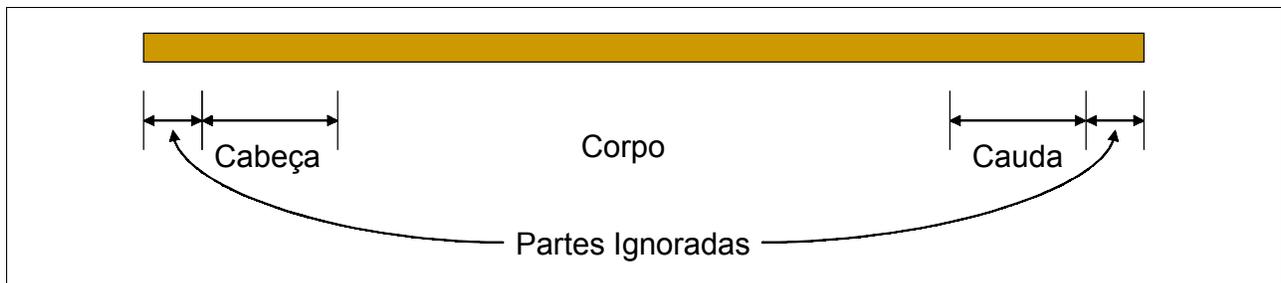


Figura 2: Divisão do comprimento da tira laminada a quente para classificação da qualidade.

Neste processamento, considera-se a tira dividida em 5 partes distintas:

- Comprimentos ignorados de cabeça e cauda: São regiões em que os valores medidos não são suficientemente confiáveis sendo desprezados na avaliação. Representam trechos pequenos em relação ao comprimento total das bobinas.
- Comprimentos úteis da cabeça e da cauda: Regiões das extremidades do material, tomadas a partir e antes das partes ignoradas. Nestes trechos a medição já é considerada confiável, mas como em geral tais partes podem ter resultados piores que o corpo da tira e podem ser descartadas em algum processamento posterior, as análises para elas são realizadas com critérios diferenciados.
- Comprimento do Corpo: Região central do comprimento da bobina em que a medição é confiável e o rigor da avaliação é maior.

Para estes trechos da bobina, identifica-se para cada um dos pontos se o valor está dentro das tolerâncias mínimas e máximas aceitáveis pelo projeto de qualidade. Ao fim desta análise obtém-se uma contagem indicando qual a quantidade de pontos que está dentro da faixa aceitável e qual a quantidade de pontos que está fora da faixa aceitável. Estes valores permitem então que se calcule o “índice de acerto” deste material através do percentual de pontos que estavam dentro da faixa de tolerância em cada uma das áreas.

Para o exemplo ilustrativo mostrado abaixo, nota-se que na região da cabeça há 1 ponto fora da faixa aceitável e 4 pontos dentro. Assim temos um acerto de 4 em 5, ou seja 80% de acerto. O mesmo raciocínio se aplica ao corpo e a cauda.

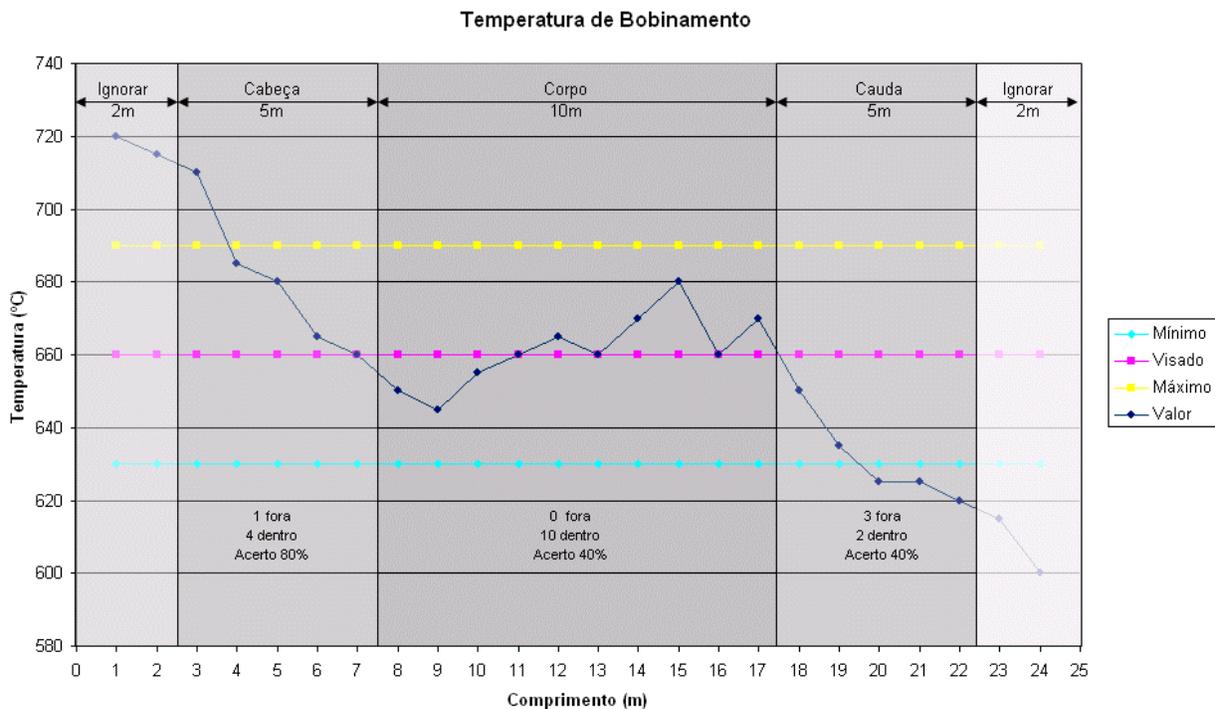


Figura 3: Exemplo ilustrativo do conceito de cálculo do índice de acerto.

Além do cálculo do índice de acerto da cabeça, corpo e cauda, o sistema calcula também o acerto ao longo de todo o comprimento da bobina. Contudo este valor é somente usado como referência de consulta.

Obtidos os índices de acerto para cada um dos trechos e para cada uma das variáveis, passa-se então a identificar se tal nível de acerto é aceitável para aquela variável e para aquele trecho. Os resultados desta avaliação qualitativa podem ser:

- a) **“Prime”**: Os índices de acerto são aceitáveis para todas as três regiões da bobina.
- b) **“Recovery”**: O índice de acerto no corpo é aceitável, mas a cabeça ou a cauda tem acertos abaixo do aceitável, sugerindo, por exemplo, um descarte a ser realizado na linha de acabamento.
- c) **“Hold”**: O índice de acerto no corpo está abaixo do aceitável.

3 ABRANGÊNCIA DO SISTEMA

3.1 “COIL CLASSIFY” COMO INSTRUMENTO DE CONTROLE DA QUALIDADE

Os resultados qualitativos de classificação da bobina (“Prime”, “Recovery” ou “Hold”) são enviados para o nível 3, onde serão processados no Sistema de Julgamento da Qualidade, ou seja, serão confrontados com os parâmetros de cada projeto de qualidade previamente definidos em função do atendimento das necessidades do cliente final.

Após essa etapa, caso se verifique o não atendimento às especificações, o sistema emitirá uma ou mais não-conformidades que irão necessitar de uma análise a fim de definir a disposição a ser indicada em cada caso. Os exemplos dispostos a seguir ilustram melhor esse processo:

Número Bobina	Tipo	Coil Classify							Prime	Trg	Número Placa	Número Chance	Data Laminação	Pedido
		ESP	LARG	TB	TA	COROA	CUNHA	PL						
4501731	BQ	Y	P	P	P	P	P	P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1316652011	FI050803	08/05/04 18:36:32	B201797-02 VE
4501732	BQ	P	P	H	P	P	P	P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2297899521	FI050803	08/05/04 18:39:45	C200128-03 KY
4501733	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2297899021	FI050803	08/05/04 18:43:04	C200128-03 KY
4501734	BQ	P	P	Y	P	P	P	P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2298016601	FI050803	08/05/04 18:47:49	C200128-02 KY
4501735	BQ	P	P	H	P	P	P	P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1315897531	FI050803	08/05/04 18:52:09	C200128-01 KY
4501736	BQ	P	P	Y	P	P	P	P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1315897521	FI050803	08/05/04 18:55:23	C200128-01 KY
4501737	BQ	P	P	H	P	P	P	P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2301967571	FI050803	08/05/04 18:58:37	C200128-01 KY
4500818	BQ	P	P	P	P	P	P	H	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2300711521	UB050501	05/05/04 19:25:55	R200118-01 VE
4500335	BQ	P	P	P	P	P	Y	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2300711591	UB050201	02/05/04 17:41:43	B201669-03 GC
4501740	BQ	P	P	Y	P	P	P	H	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1315897551	FI050803	08/05/04 19:08:16	C200128-01 KY
4500819	BQ	P	P	Y	P	P	P	P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2300708521	UB050501	05/05/04 19:29:40	R200114-01 VE
4503477	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2303590581	RF051401	14/05/04 07:49:38	C200142-01 AC
4503479	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2304010541	RF051402	14/05/04 08:08:59	B201818-05 VE
4501744	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2301970571	FI050803	08/05/04 19:20:17	C200128-01 KY
4500821	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2300711541	UB050501	05/05/04 19:41:31	R200118-04 VE
4500116	BQ	P	P	P	H	P	H	P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1314289031	FI050103	01/05/04 19:16:33	C200128-02 KY
4501747	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1316580511	FI050804	08/05/04 19:41:27	S200009-01 SH
4501748	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2301853551	FI050804	08/05/04 19:45:00	B201710-19 VE
4501749	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2302357051	FI050804	08/05/04 19:48:47	S200007-05 SH
4501750	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2302357531	FI050804	08/05/04 19:52:57	S200007-05 SH
4501751	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2302357521	FI050804	08/05/04 19:57:05	S200007-05 SH
4501752	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2302357041	FI050804	08/05/04 20:01:14	S200007-05 SH
4501753	BQ	P	P	P	P	P	P	P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2302357511	FI050804	08/05/04 20:05:27	S200007-05 SH

Figura 4: Tela do sistema de acompanhamento da produção (Nível 3), mostrando os resultados de classificação de cada variável e para cada bobina.

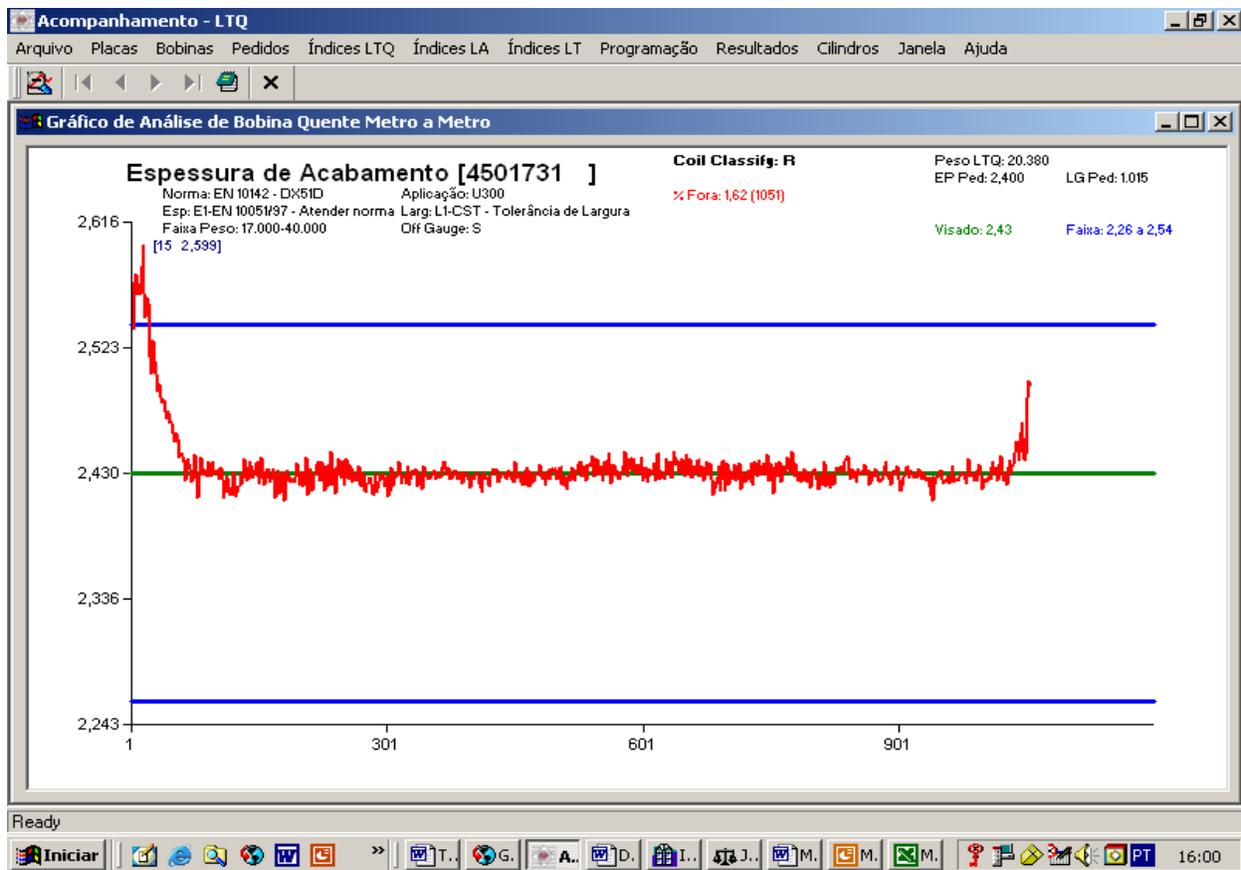


Figura 5: Gráfico dos resultados de espessura metro a metro de uma bobina com desvio de espessura na cabeça, classificada como “recovery”.

Bobina	Seq.	Chance	Julg Autom	Data Registro	Código Defeito	Responsável Defeito	Tratamento Defeito	Data Tratamento	Respons: Tratame
4501731	1	F1050803	S	08/05/2004	FE				

Figura 6: Tela do sistema de acompanhamento da produção (Nível 3), mostrando o defeito (FE - Falha de Espessura) resultante do julgamento de uma bobina classificada como “recovery”.

3.2 “COIL CLASSIFY” COMO INSTRUMENTO DE CONTROLE DO PROCESSO

Como forma de auxílio para o controle do processo, o sistema de controle da linha principal (Nível 2) disponibiliza uma tela para a visualização contínuo dos resultados de classificação das bobinas produzidas. Nesta tela, a cor verde para “prime”, amarela para “recovery” e vermelha para “hold”, indicam o resultado de

classificação da bobina para cada variável. Além disso, são informados também os percentuais de cada bobina que ficaram fora da faixa de classificação, permitindo um acompanhamento da efetividade das ações corretivas tomadas em cada caso, conforme previsto nos padrões operacionais.

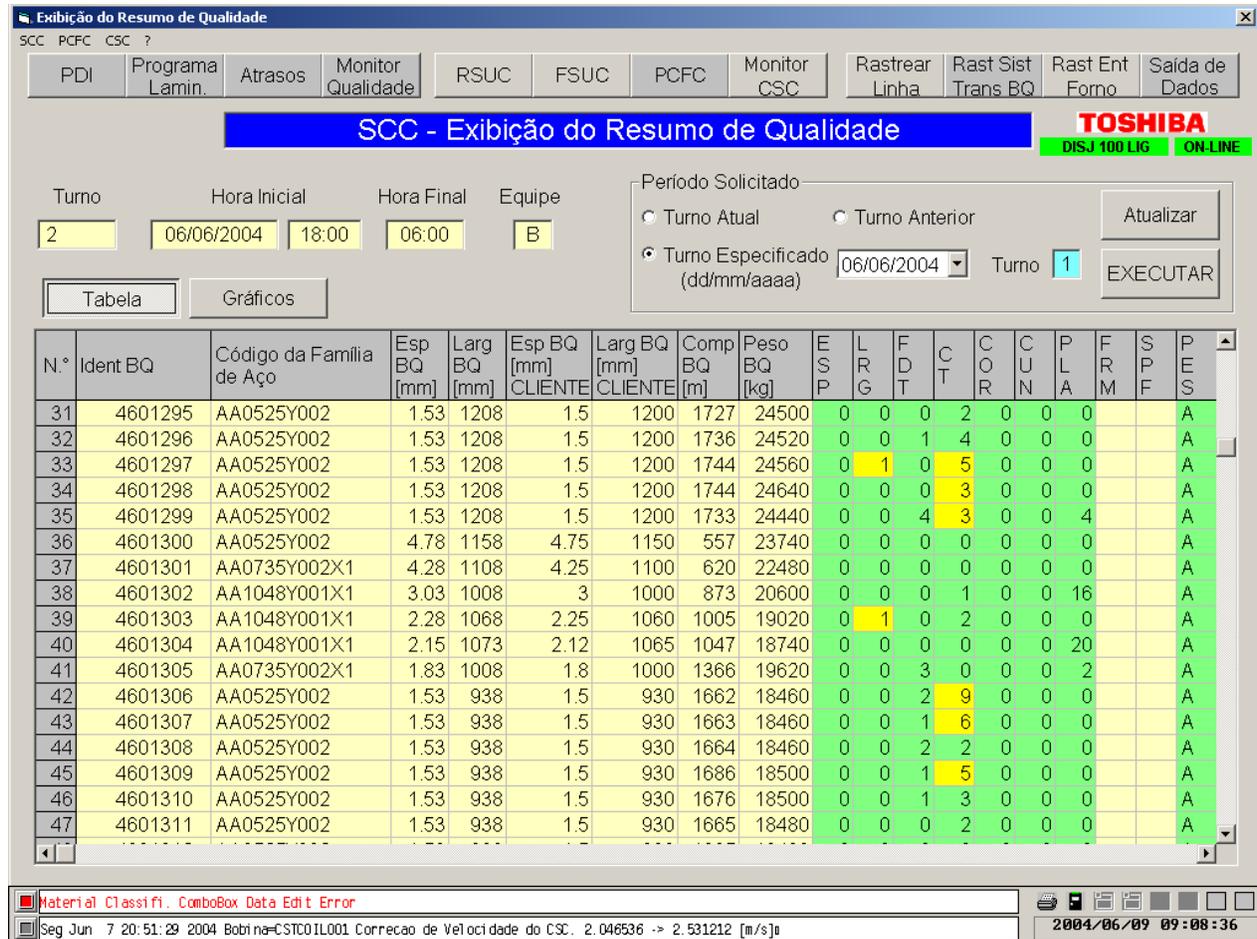


Figura 7: Exemplo da tela de classificação das bobinas apresentada no púlpito de operação do LTQ.

Os resultados de classificação podem ser visualizados também na forma gráfica, figura 8, facilitando a análise da evolução dos mesmos e fornecendo subsídios para a tomada de ações corretivas. Podem ser visualizados também os gráficos de itens de controle específicos, possibilitando comparações entre duas ou mais variáveis, conforme mostrado na figura 9 para as temperaturas de entrada e saída do Trem Acabador.

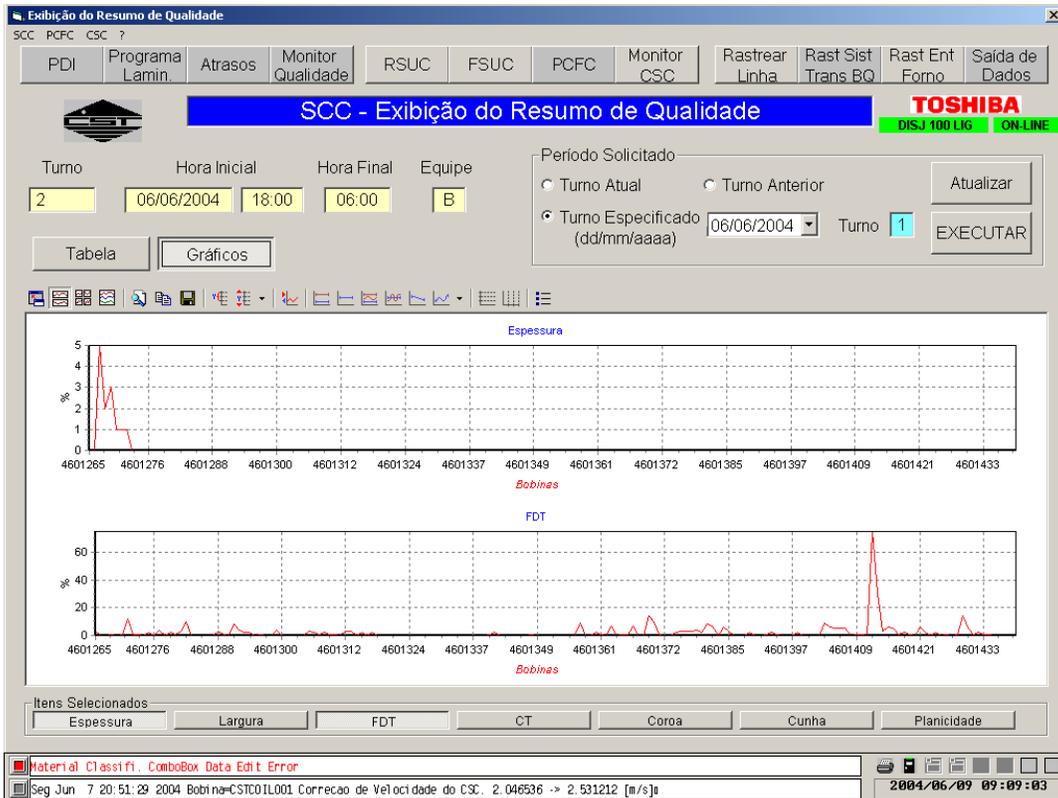


Figura 8: Exemplo da tela de classificação das bobinas na forma gráfica.

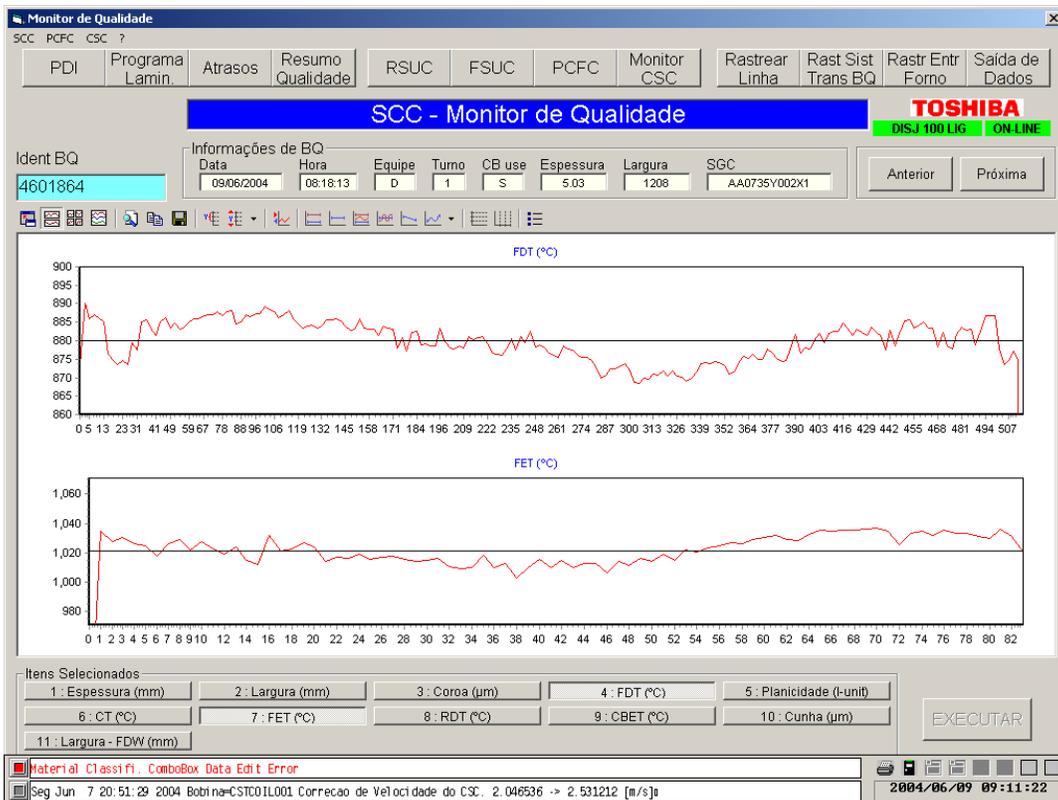


Figura 9: Exemplo de gráficos de temperatura de entrada e saída do Trem Acabador, que podem ser visualizados a partir da tela de classificação.

4 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No dia a dia da CST nota-se ainda uma grande potencialidade para novos desenvolvimentos tendo como base o sistema de classificação da qualidade das bobinas. Seguem abaixo alguns deles:

- a) Expansão das variáveis a serem analisadas: Nas seções anteriores indicou-se que o sistema trabalho hoje com 7 diferentes variáveis. Contudo, já está sendo viabilizada a possibilidade deste sistema operar ainda com outras variáveis do processo produtivo. Muitas destas variáveis já estão disponíveis e inclusive preparadas para uso direto no “Coil Classify”.
- b) Expansão da área de atuação: Hoje o sistema é usado apenas para a avaliação da qualidade do material processado no laminador de tiras a quente. Contudo, já esta em fase de implantação no laminador de acabamento da CST, uma versão mais resumida do “Coil Classify” para a classificação dos resultados de espessura e taxa de alongamento.
- c) Inclusão dos resultados do sistema de Inspeção Superficial de Defeitos: Hoje a CST tem instalado em seu LTQ um sistema de inspeção automática de defeitos superficiais. Os resultados deste sistema são hoje utilizados para atuação direta no processo em caso de defeitos tais como marcas de cilindro, marcas de rolos e carepa. Contudo, vislumbra-se o seu uso também no processo de julgamento da qualidade do material. Para isto já está sendo projetada uma solução que permita que os dados do sistema de inspeção sejam usados diretamente pelo “Coil Classify”. Alguns ajustes na filosofia de análise serão necessárias, mas nada que impeça a consecução deste projeto.

5 CONCLUSÕES

O sistema de classificação utilizado na CST tem sido de grande utilidade para o pré-julgamento automático das bobinas laminadas, restringindo a necessidade de intervenção humana apenas às bobinas classificadas como “recovery” e “hold”, cujo percentual está sendo progressivamente minimizado com ações de otimização do processo e de aperfeiçoamento dos critérios de classificação.

A consolidação dos principais itens de controle intermediários e finais de cada bobina conferiu maior agilidade e precisão às análises de anomalias e oportunidades de melhoria por parte dos especialistas do processo.

A tela de classificação fornece aos operadores um resultado imediato da qualidade das bobinas produzidas. Deste modo, a partir de procedimentos indicados pelos padrões operacionais são tomadas ações que corrigem imediatamente desvios que estejam ocorrendo no processo.

A classificação segundo as tolerâncias de processo possibilita um acompanhamento diário do desempenho dos modelos matemáticos e demais funções de controle. Além disso, fornece subsídios para uma determinação sempre atualizada da capacidade do processo, permitindo grande agilidade no desenvolvimento de novos produtos e no atendimento a consultas de clientes.

HOT ROLLED COIL'S QUALITY CLASSIFIER - CST ⁽¹⁾

Caetano Nunes da Silva ⁽²⁾
Fernando José Martinelli ⁽³⁾
José Fagundes Júnior ⁽⁴⁾
Luiz Renato de Araújo Amorim ⁽⁵⁾
Rogério Eleotério de Jesus ⁽⁶⁾

The Coil Classifier development has represented an important step in order to establish the procedures to guarantee the quality of the hot rolled coils produced by Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST). Two years after the CST hot strip mill start-up, and having reached the mill nominal capacity, the Coil Classifier System is being successfully used as one of the main tools in order to evaluate the process and product quality. In this article it is being presented the main characteristics of this system.

Key words: quality control, process control, hot rolled coils, automation.

⁽¹⁾ *Technical Contribution to 7th Processes Automation Seminar, October 6th to 8th, 2004 - Belo Horizonte - MG*

⁽²⁾ *Materials Engineer, CST's HSM Specialist Engineer, Vitória, ES*

⁽³⁾ *Electrical Engineer, D.Sc, CST's Automation Specialist Engineer, Vitória, ES*

⁽⁴⁾ *Metallurgical Engineer, M.Sc, CST's HSM Specialist Engineer, Vitória, ES*

⁽⁵⁾ *Metallurgical Engineer, CST's Metallurgical Specialist Engineer, Vitória, ES*

⁽⁶⁾ *Electrical Engineer, CST's Automation Specialist Engineer, Vitória, ES*