



Tema: Gestão Sistêmica

## OTIMIZAÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS DE PRODUTOS PARA FINS ELÉTRICOS NA CSN COM USO DE FERRAMENTAS LEAN SIX SIGMA\*

*Kleidon Rodrigues de Almeida<sup>1</sup>*

*Mariana Corrêa Assis<sup>2</sup>*

*Luiz Marques Barbosa<sup>3</sup>*

*Júlio Cesar Lopes da Silva<sup>4</sup>*

### Resumo

O presente projeto descreve um trabalho de otimização dos ensaios laboratoriais de liberação do produto para fins elétricos na CSN (Companhia Siderúrgica Nacional), sendo tema de um projeto *Lean Six Sigma*. O foco do projeto foi otimizar os ensaios de *epstein*, tração e dureza, reduzindo o *Lead Time* de liberação dos produtos para fins elétricos e a quantidade de ensaios realizados. Para a realização deste trabalho, fez-se o uso de ferramentas e métodos *Lean Six Sigma*, permitindo a busca dos resultados de maneira sistêmica, superando as metas estabelecidas, gerando uma maior competitividade à empresa no mercado. Obteve-se com este projeto uma forte redução do *Lead Time* e da quantidade dos ensaios laboratoriais dentro de um prazo estabelecido, permitindo uma liberação para faturamento no mesmo dia de produção em 80% da produção deste produto.

**Palavras-chave:** *Lean six sigma*; Otimização; Ensaio de *Epstein*; Tração; Dureza; Aços para fins elétricos.

### OPTIMIZATION OF LABORATORY TESTS ON ELECTRIC GRADE STEEL AT CSN USING METHODS OF LEAN SIX SIGMA

### Abstract

This project describes the optimization of laboratory testing of electric grade steel, being the subject of a *Lean Six Sigma* project. The purpose of this project was to optimize the test laboratory for *epstein*, traction hardness and reduce the *Lead Time* of the tests, in addition to reducing the number of tests performed. *Lean Six Sigma* methods were used, allowing the search results in a systemic way surpassing the set targets, generating greater competitiveness in the enterprise market. Obtained in this work a significant reduction of *Lead Time* and quantity of laboratory tests within a specified period, allowing a release for billing on the same day of production in 80% of the production of this product.

**Keywords:** *Lean six sigma*; Optimization; *Epstein* method; Tensile test; Hardness Test; Electric grade steel.

<sup>1</sup> *Engenheiro de Produção Mecânica, Engenheiro de Desenvolvimento, Gerência Geral de Processos Siderúrgicos, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Desenvolvimento, Gerência de Desempenho Operacional, CSN, Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.*

<sup>3</sup> *Técnico em Metalurgia, Supervisor de Laboratório de Qualidade de Produtos Laminados, Gerência Geral de Processos Siderúrgicos, CSN, Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.*

<sup>4</sup> *Técnico em Metalurgia, Técnico de Desenvolvimento, Gerência Geral de Desenvolvimento de Produtos, CSN, Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.*

\* *Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

De maneira geral, todo o material usado no processo de manufatura de produtos implica em custos diretos ou indiretos para o cliente. Baseado nisso, surge a necessidade de se buscar reduções de custos ao longo da cadeia produtiva, o que pode ser um diferencial competitivo no mercado de produtos siderúrgicos.

O *Lean Manufacturing* é uma iniciativa que busca eliminar desperdícios, isto é, eliminar o que não tem valor para o cliente e imprimir velocidade à empresa.

Neste trabalho, é mostrado o uso da metodologia *Lean Six Sigma* com o objetivo de reduzir o *Lead Time* do ensaio *epstein* e otimizar os demais ensaios feitos no produto para fins elétricos.

Este trabalho foi usado como projeto para obtenção de certificação *Green Belt*. Um *Green Belt* é uma pessoa com conhecimento teórico e prático da metodologia Seis Sigma, incluindo ferramentas estatísticas, de qualidade e técnicas *Lean*, além de se envolver em projetos de melhoria que visem ganhos expressivos.

Os “aços elétricos” são usados por possuírem uma qualidade de amplificar em milhares de vezes um campo magnético externamente aplicado. São normalmente usados na geração, transmissão e utilização da energia elétrica. Seu emprego é muito amplo, sendo aplicados nos núcleos de geradores e motores elétricos (de pequeno a grande porte), reatores para sistemas de iluminação, medidores de energia, motores para compressores herméticos de geladeiras, *freezers* e ar-condicionado, entre outros.

O ensaio de *epstein* é usado para quantificar a perda magnética de um aço para fins elétricos antes do seu uso na fabricação de motores. Na CSN, este ensaio possuía um *Lead Time* médio de 7 dia. Por ser considerado como um alto tempo para a realização das análises, o *Lead Time* deste ensaio foi identificado como um problema a ser tratado.

Com a implantação das recomendações sugeridas ao término do trabalho, foi possível constatar uma expressiva redução do *Lead Time* do ensaio *epstein*, bem como a otimização deste ensaio e dos demais envolvidos na caracterização do produto para fins elétricos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A última etapa de transformação de um aço para fins elétricos ocorre em uma linha de Recozimento Contínuo, sendo este, um tratamento térmico que tem como finalidade reestabelecer as propriedades mecânicas alteradas durante a laminação a frio. O Recozimento também modifica as características elétricas e magnéticas, dando ao produto para fins elétricos uma maior eficiência elétrica (menor perda).

Após o processo de Recozimento Contínuo, o material passa por uma série de ensaios laboratoriais, a fim de que sejam garantidas algumas características (mecânicas e elétricas). Dentre as análises feitas no aço, destacam-se: o ensaio de tração e dureza (medem o comportamento mecânico) e o ensaio de *epstein* (quantifica a perda magnética/elétrica).

No início do projeto, o cenário de demanda do mercado para aços de fins elétricos na CSN era de aumento ao longo do tempo, conforme pode ser observado na figura 1.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

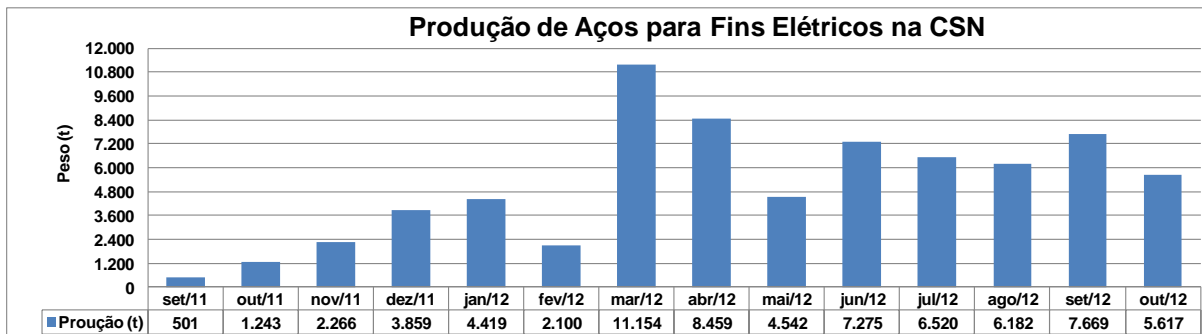


Figura 1. Produção de aços para fins elétricos na CSN

A quantidade de ensaios *epstein* para análise das perdas magnéticas subia na mesma proporção do aumento de produção. Portanto, identificou-se uma necessidade de melhoria quanto ao *Lead Time* do ensaio *epstein*, uma vez que este demandava um tempo médio de 7 dias para ser realizado. Durante a realização dos ensaios, o material (as bobinas) não pode ser liberado para faturamento e entrega. Contudo, definiu-se o problema: alto tempo (*Lead Time*) de análise do ensaio *epstein*.

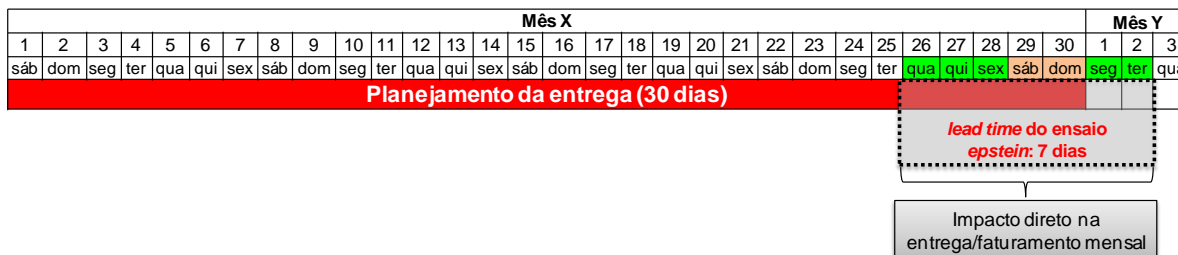


Figura 2. Demonstração de impacto do *Lead Time* na entrega de produtos para fins elétricos

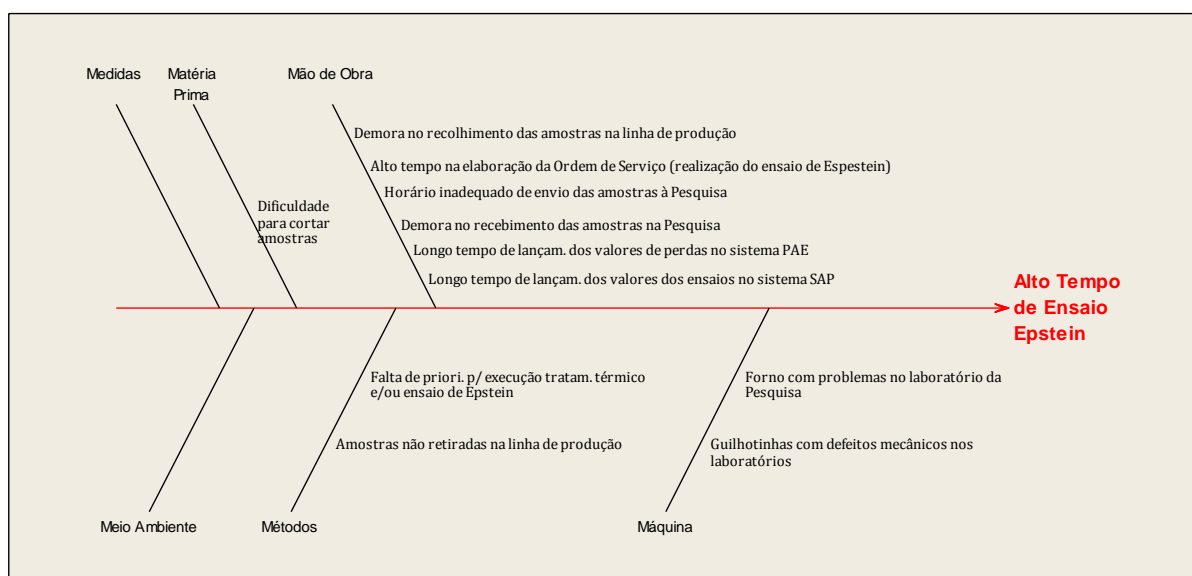
A figura 2 mostra o impacto que o *Lead Time* do ensaio *epstein* causa na entrega de produtos para fins elétricos, principalmente se a produção deste produto ocorrer a partir do dia 26 do mês. Neste caso, o material só poderá ser liberado para entrega/faturamento a partir do dia 02 do mês seguinte, devido à realização ao tempo necessário para realização do ensaio de *epstein*.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

- Brainstorming*** - Redução do *lead time* do ensaio de *epstein*
- ==> Amostras não retiradas na linha de produção
  - ==> Demora no recolhimento das amostras na linha de produção
  - ==> Alto tempo na elaboração da Ordem de Serviço para o laboratório da Pesquisa
  - ==> **Horário inadequado de envio das amostras ao laboratório da Pesquisa**
  - ==> Demora no recebimento das amostras no laboratório da Pesquisa
  - ==> Guilhotinas com defeitos mecânicos (laboratório da Pesquisa)
  - ==> Dificuldade para cortar amostras (dureza alta)
  - ==> Falta de prioridade para execução de tratamento térmico e/ou ensaio de *epstein*
  - ==> Forno com problemas (demora no tratamento térmico)
  - ==> Longo tempo para lançamento dos valores de perdas elétricas no sistema PAE (disponibilidade dos resultados)
  - ==> Longo tempo para lançamento dos valores de perdas elétricas, dureza e tração no SAP (disponibilidade dos resultados)

**Figura 3.** *Brainstorming* para a redução do *Lead Time* do ensaio de *epstein*

Uma vez definido o problema, fez-se um *Brainstorming* (figura 3) e conseqüentemente um Diagrama de Causa e Efeito (figura 4), o que permitiu estruturar hierarquicamente as causas do problema.



**Figura 4.** Diagrama de Causa e Efeito referente ao alto tempo de ensaio *epstein*

De acordo com a figura 4, a maioria das causas potenciais estavam relacionadas à mão de obra empregada na realização do ensaio de *epstein*.

O DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*) é um método estruturado para o alcance de metas utilizado na metodologia Seis Sigmas, que fomenta a busca de bons resultados.

O método DMAIC foi aplicado com o auxílio do Mapa de Raciocínio (ver figura 5), que por sua vez, trata-se de uma ferramenta usada para estruturar o projeto, é uma documentação progressiva na forma de raciocínio durante a execução de um projeto. O Mapa de Raciocínio ajuda a descrever o problema, as metas do projeto, as questões às quais a equipe precisou responder durante o desenvolvimento do

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

projeto, o que foi feito para responder às questões, respostas às questões, novas questões, novos passos, novas respostas.

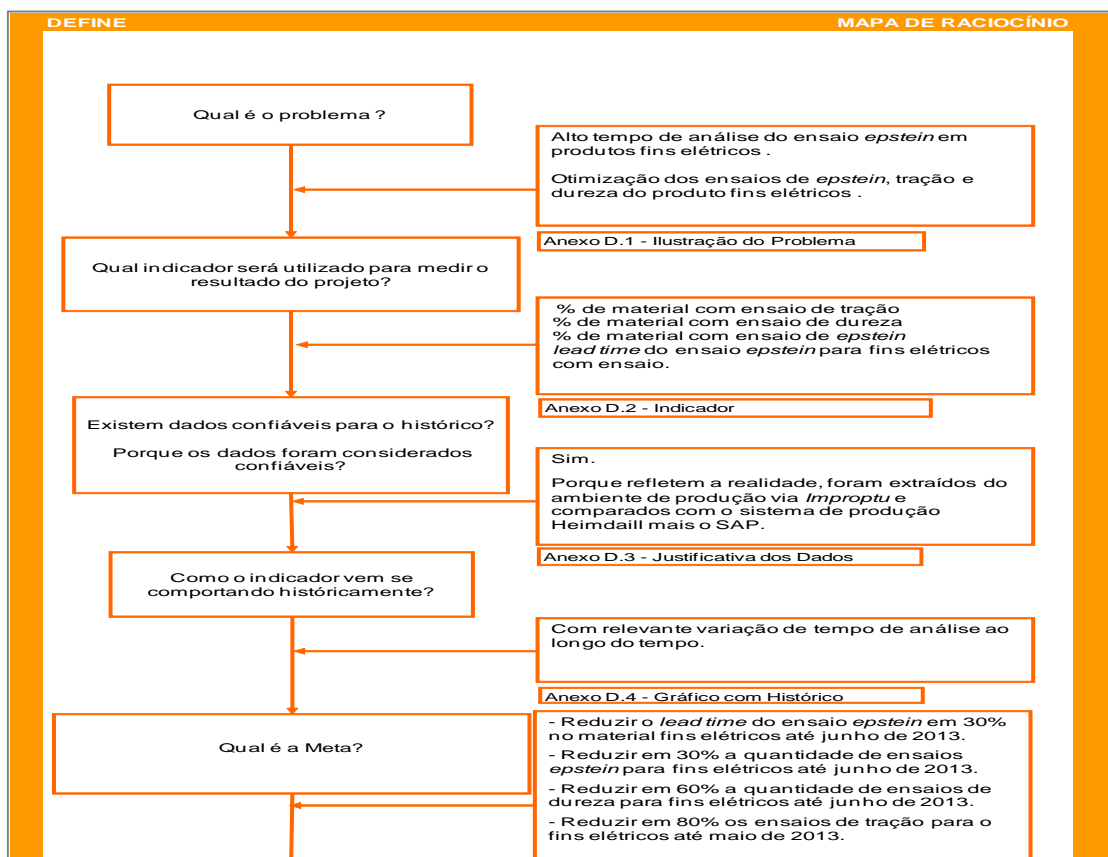


Figura 5. Mapa de Raciocínio usado na fase *Define*.

O Mapa de Raciocínio favorece contribuições (novos conhecimentos e ideias) de pessoas que não fazem parte da equipe responsável pelo trabalho, já que o entendimento do projeto fica facilitado.

Uma importante análise feita foi conhecer quais ensaios as demais empresas que produzem aços para fins elétricos faziam em seus produtos dentro das usinas siderúrgicas, para tal, fez um quadro comparativo (*benchmarking*) de cada produto, que pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1. Quadro comparativo dos ensaios para aços fins elétricos

Empresa	Eficiência elétrica	Ensaio de tração	Ensaio de dureza	Ensaio de <i>epstein</i>
CSN	Baixa	X	X	X
	Média	X	X	X
Concorrente A	Baixa	X	Não produz	
	Média			
Concorrente B	Baixa	X		
	Média	X		X

Além do alto tempo para realização dos ensaios *epstein*, percebeu-se (após análise da tabela 1) que a CSN estava fazendo uma quantidade de ensaios maior que os demais fornecedores de produtos para fins elétricos. Algumas questões surgiram: É necessária a realização de tantos ensaios? Quais ensaios poderemos otimizar? Etc. O próximo passo foi definir as metas, conforme segue:

- Reduzir o *Lead Time* do ensaio *epstein* em 30% até junho de 2013;

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

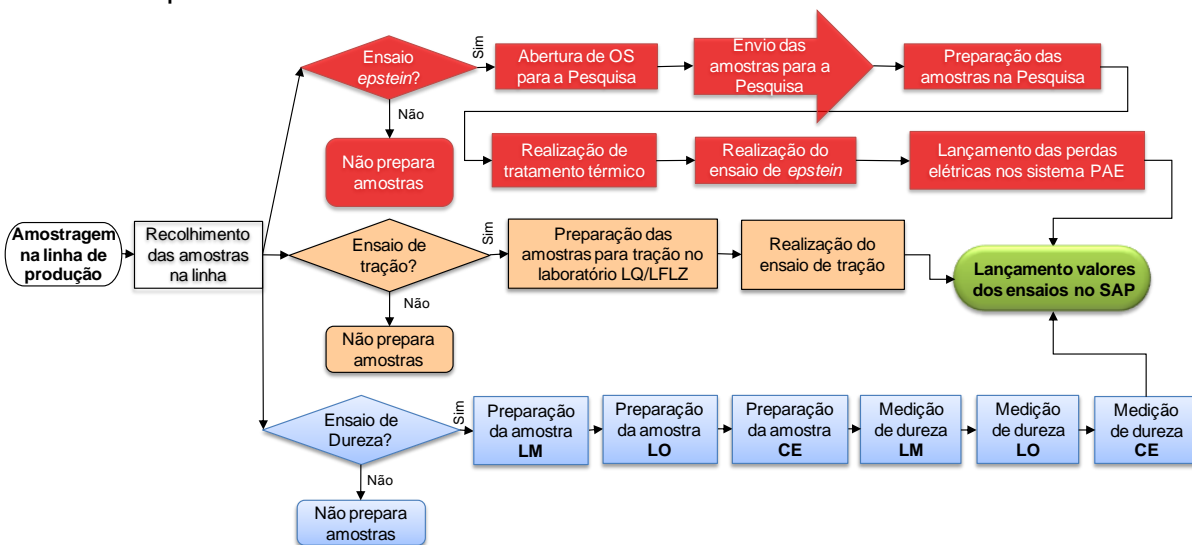
- Reduzir em 30% a quantidade de ensaios *epstein* até junho de 2013;
- Reduzir em 60% a quantidade de ensaios de dureza até junho de 2013;
- Reduzir em 80% os ensaios de tração até maio de 2013.

Uma maneira de definir o principal processo envolvido em um projeto Seis Sigma, e conseqüentemente, facilitar a visualização do escopo do trabalho é a realização de um diagrama SIPOC, que resulta das iniciais, em inglês, dos cinco elementos presentes no diagrama: Fornecedores (*Suppliers*), Insumos (*Inputs*), Processo (*Process*), Produtos (*Outputs*) e Consumidores (*Customers*). A tabela 2 mostra o SIPOC utilizado na fase *Define* do DMAIC.

**Tabela 2.** SIPOC envolvido nas análises laboratoriais do produto para fins elétricos

Fornecedores <b>S</b> uppliers	Insumos <b>I</b> nputs	PROCESSO <b>P</b> rocess	Produtos <b>O</b> utputs	Consumidores <b>C</b> ustomers
LRCC	Amostras para os ensaios mecânicos e elétricos	Corte das amostras na linha de produção (geração da amostra)	Amostra de bobinas	Laboratório GGPS
LAB LQ/LF-LZ	Amostras para os ensaios elétricos	Recolhe amostras, selecionar e enviar amostras ao laboratório GGPD	Amostra de bobinas	Laboratório GGPD
	Amostras para os ensaios mecânicos	Prepara e realiza ensaios mecânicos	Resultados de tração e dureza	Clientes (alguns)
Laboratório Mecânico GGPD	Amostras para ensaio de tratatamento térmico	Realiza tratamento térmico	Amostras recozidas	Ensaio epstein
	Amostras para ensaio de epstein	Realiza ensaio epstein	Resultados de perdas elétricas	Clientes (alguns)

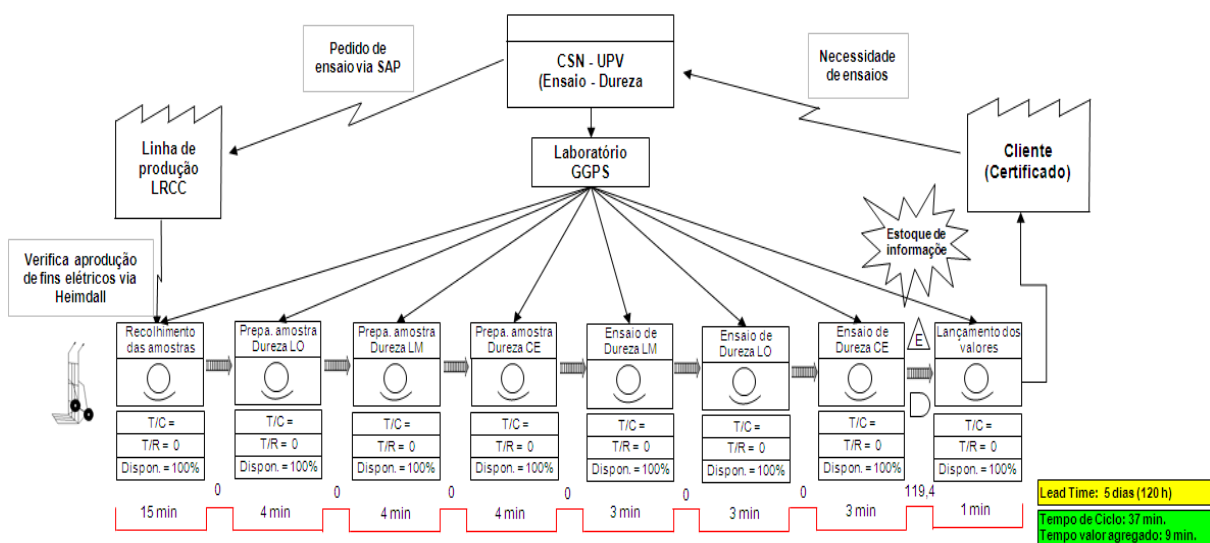
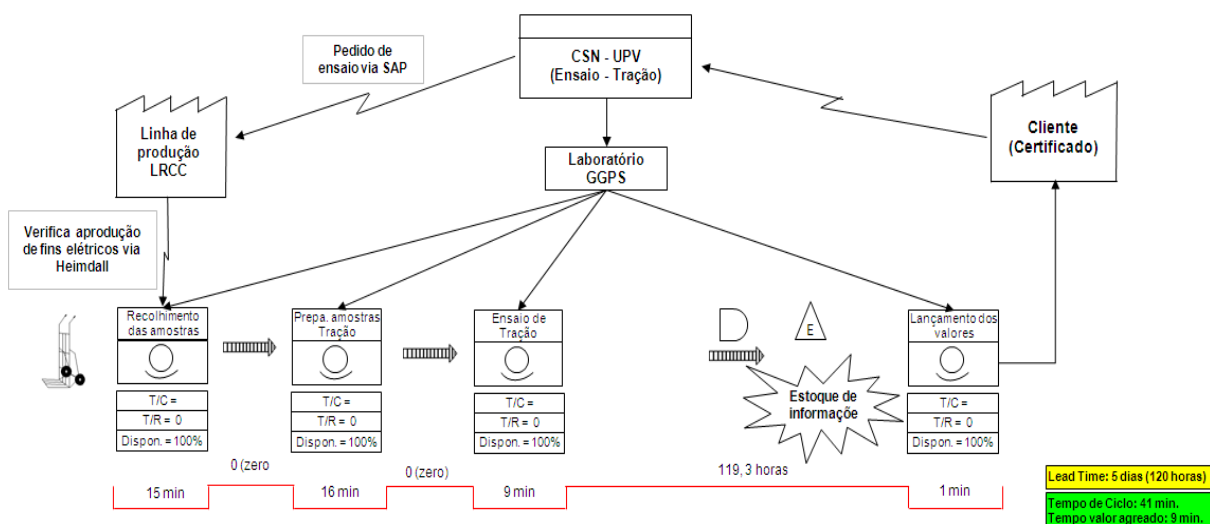
Para melhor entender o processo e suas etapas, elaborou-se um Mapa de Processo dos três ensaios de laboratório (*epstein*, tração e dureza), que pode ser visto na figura 6. Os Mapas de Processo ajudam a tornar visível o trabalho necessário à produção de um bem ou serviço. A maior visibilidade melhora a comunicação e o entendimento, além de proporcionar uma referência comum para as pessoas envolvidas com o processo. A análise dos processos documentados pelos Mapas pode contribuir para o aumento da satisfação dos clientes/consumidores, já que esta análise permite a identificação de ações capazes de: reduzir o tempo de ciclo do processo, diminuir defeitos, reduzir custos, reduzir etapas que não agregam valor e aumentar a produtividade.



**Figura 6.** Mapa de Processos dos ensaios laboratoriais dos produtos fins elétricos

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Com o intuito de elaborar um plano bem estruturado para melhorar a produtividade, reduzir os desperdícios e o *Lead Time* dos ensaios de laboratório, foi criado um Mapa de Fluxo de Valor. Permitindo separar aquilo que agregava valor aos olhos do cliente e aquilo que não agregava valor. Entende-se aqui por fluxo de valor o conjunto de todas as atividades que agregam valor desde a obtenção de matéria prima até a entrega do produto ao consumidor final. Nas figuras 7, 8 e 9 ver-se a o uso desta ferramenta para o ensaio de tração, dureza e *epstein* respectivamente.



\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

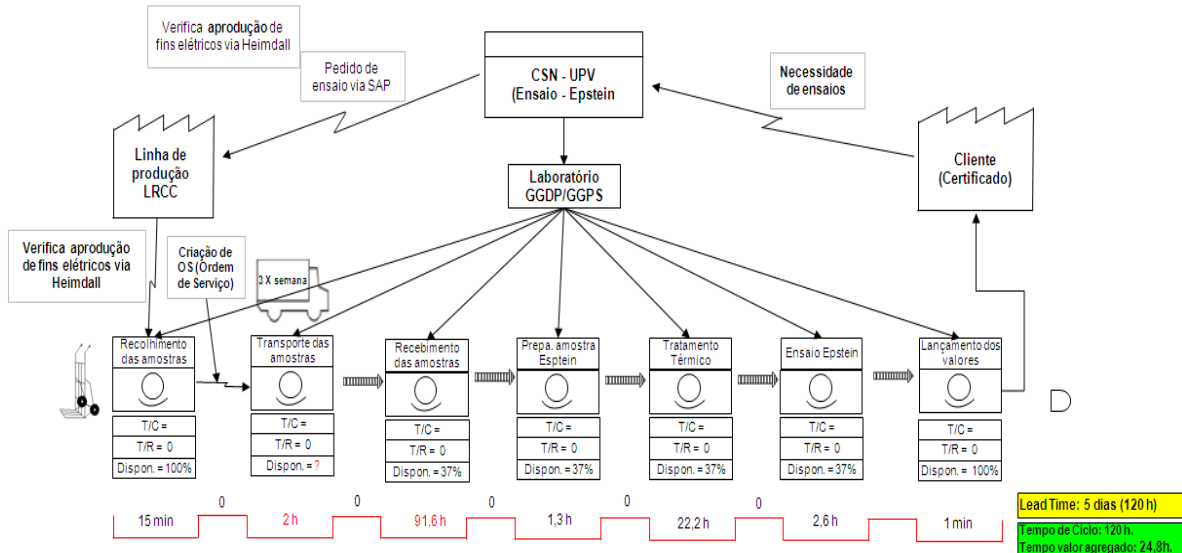


Figura 9. Mapa de Fluxo de Valor do ensaio de epstein

Apesar de o ensaio de tração ser realizado em 41 minutos (figura 7) e o de dureza em 37 minutos (figura 8), ambos tinham o valor lançado no sistema de controle de ensaios após a realização do ensaio de epstein (figura 9), portanto, os tempos de ensaio eram acrescidos em função da espera para finalização do ensaio de epstein, que por sua vez possuía um *Lead Time* de 120 minutos. Portanto, o ensaio de epstein foi apontado como gargalo, por ser o que demandava um maior tempo para a realização, impedindo assim a liberação do material para faturamento/entrega.

MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO E CONSENSO											
Critérios de Priorização	G			U			T			TOTAL	
	GRAVIDADE			URGÊNCIA			TENDÊNCIA				
	Qual o nível da gravidade do problema, está causando muito prejuízo, acidentes, desmotivação, etc?			Qual o nível da urgência da solução em se resolver isto? Há muita pressão ou pode se esperar um pouco?			Qual a tendência de piorar se nada for feito agora?				
	Muito Grave	Gravidade Média	Sem Gravidade	Muito Urgente	Média Urgência	Sem Urgência	Muita tendência	Média tendência	Sem tendência		
5	3	1	5	3	1	5	3	1			
1	Amostras não retiradas na LRCC			1						1	3
2	Demora no recolhimento das amostras na LRCC		3							1	5
3	Alto tempo na elaboração da OS para a GGDP			1						1	3
4	Horário inadequado de envio das amostras à GGDP	5			5			5			15
5	Demora no recebimento das amostras na GGDP		3							1	5
6	Guilhotinas com defeitos mecânicos (GGDP)			1						1	3
7	Dificuldade para cortar amostras (dureza alta)			1						1	3
8	Falta de prioridade para execução de tratamento térmico e/ou ensaio de Epstein			1						1	3
9	Forno com problemas (demora no tratamento térmico)			1						1	3
10	Longo tempo para lançamento dos valores de perdas elétricas no PAE (disponibilidade dos resultados)			1						1	3
11	Longo tempo para lançamento dos valores de perdas elétricas, dureza e tração no SAP (disponibilidade dos resultados)			1						1	3

Figura 10. Matriz de Priorização e Consenso

A figura 10 mostra uma Matriz GUT, esta ferramenta permitiu a avaliar de forma quantitativa o problema, tornando possível priorizar as ações corretivas e preventivas e otimizar os ensaios, minimizando o tempo gasto na execução. A primeira atividade na montagem da Matriz GUT, foi listar todos os problemas relacionados às atividades. Em seguida foi atribuída uma nota para cada problema listado, dentro dos três aspectos principais: Gravidade, Urgência e Tendência. Cada problema analisado recebeu uma pontuação de 1 a 5 em cada uma das características. Depois de atribuída a pontuação, multiplicou-se GxUxT chegando a

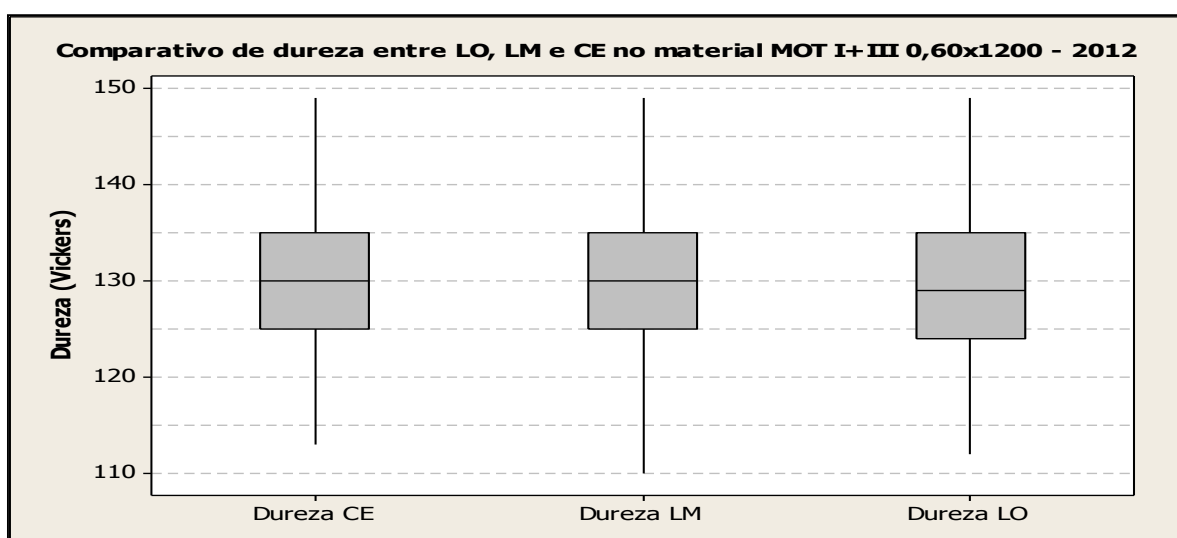
\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



um resultado, definindo a prioridade de acordo com os pontos obtidos. Esta ferramenta mostrou que deveríamos atuar no horário de envio das amostras para análise.

O ensaio de *epstein* é realizado apenas em dias úteis e em horário de 07:30h às 17:15h. Havendo a necessidade de explorar o período útil, ou seja, se fosse enviada uma amostra após 17:00h, esta iniciaria a preparação para análise apenas no dia seguinte ou dois dias após, se a entrega ocorresse na sexta-feira.

Para otimizar a quantidade de ensaios de dureza, percebeu-se que havia uma baixa variação de resultados quando comparados as medições ao longo da largura da bobina. O padrão de ensaio preconizava medição nas duas bordas da bobina (LM – Lado Motor e LO – Lado Operador) e no centro da largura. Uma análise estatística foi realizada a fim de comparar os resultados destas três regiões. Um gráfico de *Box Plot* foi usado, podendo ser visto na figura 11. Este demonstra uma baixa variação de dureza entre as regiões analisadas.



**Figura 11.** Comparativo de dureza entre os lados (LO e LM) e centro da bobina

A partir das soluções propostas (tabela 3), foram priorizadas as ações a serem implementadas (tabela 4). Em seguida foram medidos os riscos de cada ação (tabelas 5), chegando à elaboração de um 5W2H (tabela 6), ficando estabelecido o que seria efetivamente feito, o responsável, em qual período de tempo e quanto custaria cada atividade/ação à empresa.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



**Tabela 3. Soluções propostas**

Alto tempo do Ensaio Epstein	Otimização dos ensaios de Dureza e Tração	CAUSA FUNDAMENTAL	SOLUÇÕES PROPOSTAS
X	X	Horário inadequado para coleta das amostras no LAB da GGPS para transportar à GGDP	Eleger um responsável na GLP para monitorar o material fins elétricos
			Verificar o tempo necessário para o processo de preparação das amostras no laboratório mecânico da GGDP
			Avaliar a disponibilidade do transporte de amostras (se atende outros setores)
			Criar <i>check list</i> para monitoramento dos tempos dos ensaios envolvendo os aços fins elétricos
			Definir um horário limite para coleta das amostra (a serem enviadas à GGDP)
			Comparar ferramentas para preparação das amostras no laboratório LQ/LF-LZ e GGDP
			Treinar equipes da operação do laboratório LQ/LF-LZ para preparação de amostras e tratamento térmico na GGDP
			Avaliar a possibilidade de envio de amostras preparadas à GGDP
			Colocar na regra de programação o lead time do ensaio de Epstein
			Criar indicador de medição do lead time real semanalmente e mensalmente
			Criar indicador de material aguardando ensaio
			Liberar material aguardando ensaio de Epstein antes do final do ensaio (apenas no final do mês)
	X	Ensaio de tração desnecessário	Estudar as normas de garantias, MPA e padrões internos
			Consultar clientes quanto à necessidade de ensaio de tração
			Conhecer qual o tipo de ensaio/processo o material é submetido nos clientes
	X	Boa "capabilidade" de dureza nos aços fins elétricos	Eliminar ensaios de tração para clientes que não solicitem
			Fazer levantamento de dados para análise de dureza LM, CE e LO
			Estudar as normas de garantias, MPA e padrões internos
			Consultar clientes quanto à necessidade de ensaio de dureza
			Conhecer qual o tipo de ensaio/processo o material é submetido nos clientes
			Passar a usar dureza apenas do região do centro (CE) da bobina

**Tabela 4. Soluções priorizadas**

Alto tempo do Ensaio Epstein	Otimização dos ensaios de Dureza e Tração	CAUSA FUNDAMENTAL	SOLUÇÕES PRIORIZADAS
X		Horário inadequado para coleta das amostras no LAB da GGPS para transportar à GGDP	Eleger um responsável na GLP para monitorar o material fins elétricos
			Avaliar a disponibilidade do transporte de amostras (se atende outros setores)
			Criar <i>check list</i> para monitoramento dos tempos dos ensaios envolvendo os aços fins elétricos
			Definir um horário limite para coleta das amostra (a serem enviadas à GGDP)
			Criar indicador de medição do lead time real semanalmente e mensalmente
			Criar indicador de material aguardando ensaio
			Liberar material aguardando ensaio de Epstein antes do final do ensaio (apenas no final do mês)
	X	Ensaio de tração desnecessário	Estudar as normas de garantias, MPA e padrões internos
			Consultar clientes quanto à necessidade de ensaio de tração
			Conhecer qual o tipo de ensaio/processo o material é submetido nos clientes
	X	Boa "capabilidade" de dureza nos aços fins elétricos	Eliminar ensaios de tração para clientes que não solicitem
			Fazer levantamento de dados para análise de dureza LM, CE e LO
			Estudar as normas de garantias, MPA e padrões internos
			Consultar clientes quanto à necessidade de ensaio de dureza
			Conhecer qual o tipo de ensaio/processo o material é submetido nos clientes
			Passar a usar dureza apenas do região do centro (CE) da bobina

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



Tabela 5. Análise de riscos das soluções priorizadas

Alto tempo do Ensaio Epstein	Otimização dos ensaios de Dureza e Tração	SOLUÇÃO PRIORIZADA	Risco Implement.	ANÁLISE DE RISCO		Conting
				Probabil.	Impacto	
X	X	Eleger um responsável na GLP para monitorar o material fins elétricos	Não	-	-	-
		Avaliar a disponibilidade do transporte de amostras (se atende outros setores)	Não	-	-	-
		Criar check list para monitoramento dos tempos dos ensaios envolvendo os aços fins elétricos	Não	-	-	-
		Definir um horário limite para coleta das amostra (a serem enviadas à GGDP)	Não	-	-	-
		Criar indicador de medição do lead time real semanalmente e mensalmente	Não	-	-	-
		Criar indicador de material aguardando ensaio	Não	-	-	-
		Liberar material aguardando ensaio de Epstein antes do final do ensaio (apenas no final do mês)	Material aprovado com valores podendo afetar o cliente	Média	Baixo	Liberar mat. pelo ensaio de dureza
	X	Estudar as normas de garantias, MPA e padrões internos	Não	-	-	-
		Consultar clientes quanto à necessidade de ensaio de tração	Não	-	-	-
		Conhecer qual o tipo de ensaio/processo o material é submetido nos clientes	Não	-	-	-
		Eliminar ensaios de tração para clientes que não solicitem	Reclamação de cliente.	Pequena	Média	Aplicar ação após OK do cliente.
X	X	Fazer levantamento de dados para análise de dureza LM, CE e LO	Não	-	-	-
		Estudar as normas de garantias, MPA e padrões internos	Não	-	-	-
		Consultar clientes quanto à necessidade de ensaio de dureza	Não	-	-	-
		Conhecer qual o tipo de ensaio/processo o material é submetido nos clientes	Não	-	-	-
		Passar a usar dureza apenas do região do centro (CE) da bobina	Não	-	-	-

Tabela 6. Implementação das aç

DETALHAMENTO DO PLANO DE AÇÃO PARA IMPLEMENTAÇÃO EM LARGA ESCALA											
Alto tempo do Ensaio Epstein	Otimização dos ensaios de Dureza e Tração	CAUSA FUNDAMENTAL	SOLUÇÕES PRIORIZADAS	5W 2H							
				What	Who	When	Why	Where	How	How Much	Status
X		Horário inadequado para coleta das amostras no LAB da GGPS para transportar à GGDP	Eleger um responsável na GLP para monitorar o material fins elétricos	Defini Eng responsável pelo ensaio	Carlaire	21/8/2012	Controle e tomada de ações se necessário	GGPS	Pela responsabilidade do produto BFF	Sem custo	100%
			Avaliar a disponibilidade do transporte de amostras (se atende outros setores)	Avaliar de o motorista ca combi atende no mesmo horário outras demandas de serviços	Luiz Marques	27/8/2012	Avaliar se o tempo de transporte está sendo afetado por demandas não relacionadas ao ensaio Epstein	GGPS	Conversar com motorista e superior direto	Sem custo	100%
			Criar check list para monitoramento dos tempos dos ensaios envolvendo os aços fins elétricos	Criar check list específico e implementar temporariamente para coleta de dados	Luiz Marques e Júlio	26/11/2012	Conhecer o tempo de cada processo envolvido no ensaio	Laboratório LQFLZ e laboratórios da GGDP	Disponibilizando check list com todas atividades envolvidas	Sem custo	100%
			Definir um horário limite para coleta das amostra (a serem enviadas à GGDP)	Através do conhecimento dos tempos, definir horário limite para envio (07:30h)	Equipe	1/2/2013	Evitar que as amostras sejam entregues à GGDP antes do horário que não se tenha a habilidade para preparar e testar firmemente as amostras	Laboratório mecânica da GGDP	Entregar até 07:30h sempre que houver necessidade de ensaio	Sem custo	100%
			Criar indicador de medição do lead time real semanalmente e mensalmente	Inserir no improntu o campo de data/hora de aplicação dos resultados	Carlaire e Mariana	1/1/2013	Monitoramento do lead time	GGPS	Pela diferença de tempo entre o apontamento dos valores do ensaio no SAP e a data de produção na LRCC	Sem custo	100%
			Criar indicador de material aguardando ensaio	Indicador de material pendente no laboratório	Kleidon e Luiz Marques	10/9/2012	Monitoramento do volume que não pode faturar devido ensaio	GGPS	Através de relatórios via improntu	Sem custo	100%
			Liberar material aguardando ensaio de Epstein antes do final do ensaio (apenas no final do mês)	Liberar material pendente em ensaio Epstein pelo ensaio de dureza	Kleidon	21/8/2012	Não afetar na virada do mês a meta de faturamento mensal	GGPS/GGGL	Liberando via SAP após análise de dureza	Sem custo	100%
			Estudar as normas de garantias, MPA e padrões internos	Conhecer as garantias do produto BFC	Kleidon e Mariana	21/11/2012	Conhecer o que se deve efetivamente ser ensaiado	Normas MPA e Padrões	Estudo	Sem custo	100%
X	Ensaio de tração desnecessário	Estudar as normas de garantias, MPA e padrões internos	Conhecer as garantias do produto BFC	Kleidon e Mariana	21/11/2012	Conhecer o que se deve efetivamente ser ensaiado	Normas MPA e Padrões	Estudo	Sem custo	100%	
		Consultar clientes quanto à necessidade de ensaio de tração	Informar aos clientes as especificações fornecidas e saber a real necessidade do ensaio	Kleidon	3/1/2013	Conhecer os clientes que demandam tração	Clientes da carteira BFC	Enviar correio	Sem custo	100%	
		Conhecer qual o tipo de ensaio/processo o material é submetido nos clientes	Solicitar aos clientes os ensaios e processos feitos após o recebimento	Kleidon e Mariana	29/1/2013	Auxiliar a decisão de permanência ou não do ensaio	Clientes da carteira BFC	Enviar correio	Sem custo	100%	
		Eliminar ensaios de tração para clientes que não solicitem	Eliminar no SAP os ensaios dos clientes que não solicitam	Kleidon	8/3/2013	Reduzir custos de ensaios	Clientes da carteira BFC	Cancelar ensaios dos clientes que não demandam no SAP	Sem custo	100%	
X	Boa "capabilidade" de dureza nos aços fins elétricos	Fazer levantamento de dados para análise de dureza LM, CE e LO	Conhecer as garantias do produto BFC	Kleidon e Mariana	21/11/2012	Conhecer o que se deve efetivamente ser ensaiado	Normas MPA e Padrões	Estudo	Sem custo	100%	
		Estudar as normas de garantias, MPA e padrões internos	Informar aos clientes as especificações fornecidas e saber a real necessidade do ensaio	Kleidon	29/1/2013	Fazer ensaio de tração apenas aos clientes que solicitam	Clientes da carteira BFC	Enviar correio	Sem custo	100%	
		Conhecer qual o tipo de ensaio/processo o material é submetido nos clientes	Solicitar aos clientes os ensaios e processos feitos após o recebimento	Kleidon e Mariana	29/1/2013	Auxiliar a decisão de permanência ou não do ensaio	Clientes da carteira BFC	Enviar correio	Sem custo	100%	
		Passar a usar dureza apenas do região do centro (CE) da bobina	Implementar Ordem de Serviço para laboratório LQFLZ medir apenas a dureza no centro da tira	Kleidon, Mariana e Luiz	8/3/2013	Reduzir custos de ensaios	Clientes da carteira BFC	Preparar e medir apenas dureza no centro da amostra	Sem custo	100%	

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Durante a fase *Improve* do DMAIC, as soluções para o problema considerado são testadas, em seguida é executado o planejamento para implementação da melhoria do processo em larga escala.

A função da fase *Control* é garantir que o problema permaneça eliminado e que o processo fique sob controle, de modo a manter a melhoria alcançada.

Após a implementação das ações prioritizadas, para combater o descontrole do processo, foi criado um plano de ação para a falta de controle ou OCAP (*Out of Control Action Plan*). Nesta ferramenta são definidas as ações que devem ser adotadas para a eliminação da anomalia detectada. A figura 12 mostra o OCAP feito para reestabelecimento dos resultados.

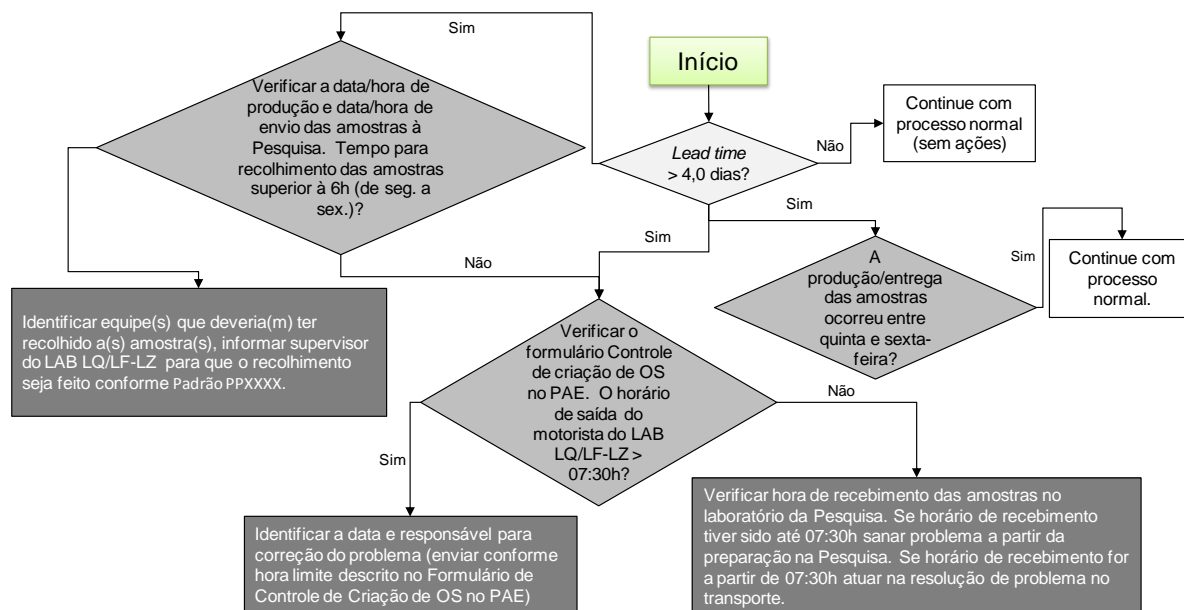


Figura 12. Plano de ação para a falta de controle - OCAP

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido variação desprezível entre as medições de dureza ao longo da largura da bobina para fins elétricos, decidiu-se pela medição desta variável apenas na região do centro da largura da bobina, não havendo mais a necessidade de medir as bordas. A figura 13 representa o Mapa de Fluxo de Valor dos ensaios laboratoriais revisado. Nota-se que quatro processos foram eliminados/excluídos (destacados com um “X” em cor vermelha).

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

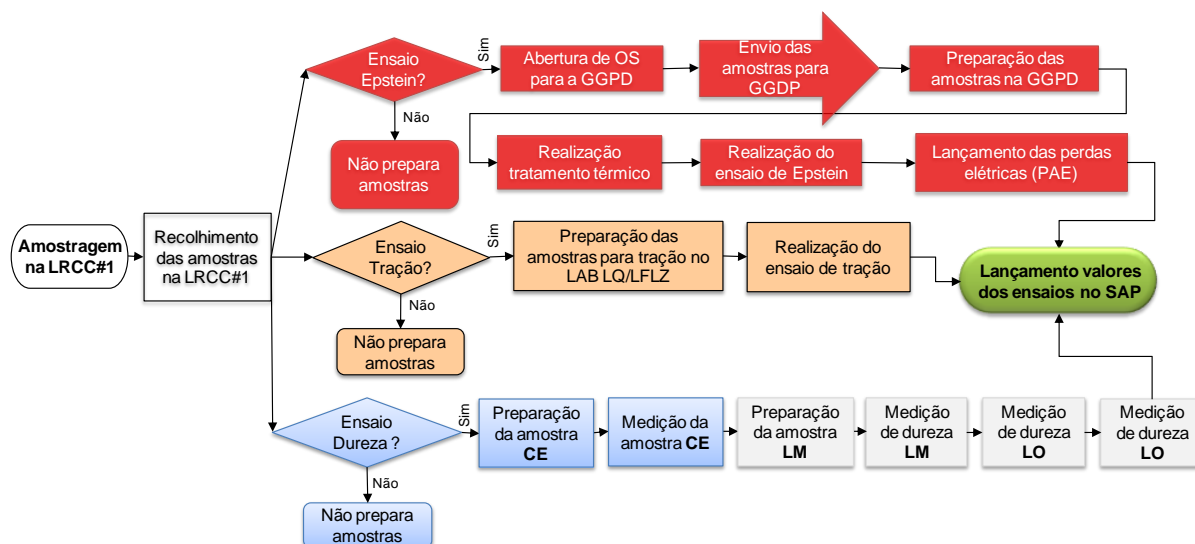


Figura 13. Mapa de Processos dos ensaios dos produtos fins elétricos (após revisão)

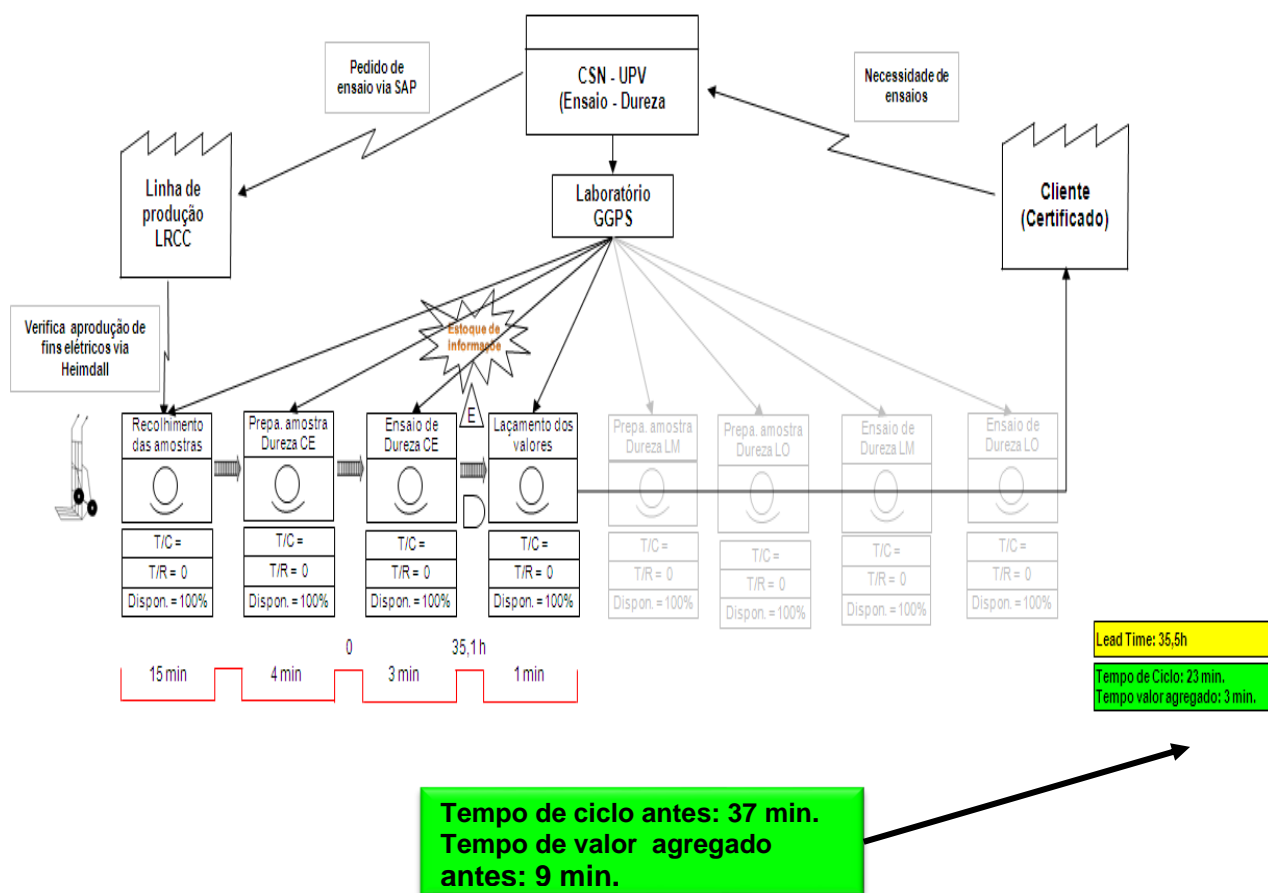


Figura 14. Mapa de Fluxo de Valor do ensaio de dureza (após revisão)

Conforme pode ser observado na figura 14, o ensaio de dureza passou a ser realizado com apenas quatro operações. Houve uma redução de 50% no número de atividades envolvidas nesta análise. O tempo do ciclo para medição da dureza antes era de 37 minutos, com 9 minutos de valor agregado. Após a alteração, o tempo de ciclo passou para 23 minutos, representando uma redução de 38%. O tempo de

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

valor agregado passou a ser de 3 minutos, mostrando uma redução de 67% em relação aos 9 minutos anteriormente.

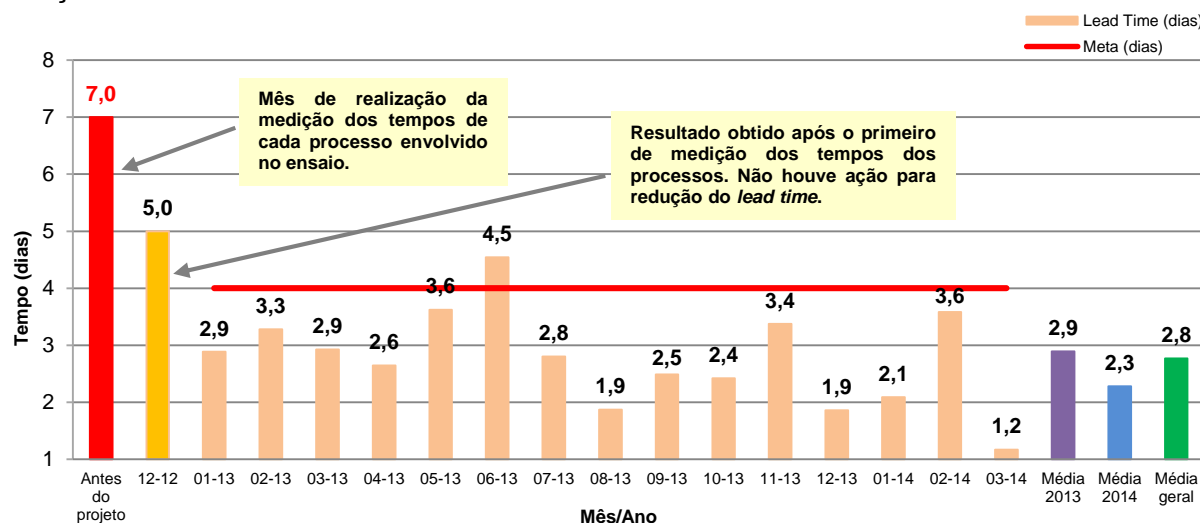


Figura 15. Lead Time do ensaio epstein do produto para fins elétricos

A figura 15 mostra o ganho obtido com a redução do *Lead Time* do ensaio de *epstein*. Antes do projeto, o tempo médio para a realização deste ensaio era 7 dias, com a implementação das ações, este indicador reduziu para 2,8 dias, representando uma redução de 60%. Ao se comparar o desempenho médio de 2014 (2,3 dias) ao valor de Antes do Projeto (7 dias), a redução é de 67%. Os ganhos mensuráveis deste projeto podem ser vistos na tabela 7 a seguir.

Tabela 7. Ganhos tangíveis (mensuráveis) do projeto

Ensaio	Lead time				Quantidade de ensaios			
	Antes	Depois	Redução		Antes	Depois	Redução	
			Tempo	Percentual			Quantidade	Percentual
<b>Epstein</b>	168 h	67,2 h	48 h	60%	88	18	70	80%
<b>Dureza</b>	37 min.	23 min.	14 min.	38%	551	182	369	67%
<b>Tração</b>	-	-	-	-	183	37	146	80%

Além da redução no *Lead Time* mostrado no gráfico (figura 15), é possível perceber outros ganhos mencionados na tabela 7, como a redução na quantidade dos ensaios, sendo 80% a menos nos ensaios de *epstein*, 67% para os ensaios de dureza e 80% para os ensaios de tração.

Outros ganhos obtidos com este trabalho são descritos a seguir:

- Liberação para faturamento no mesmo dia de produção em 80% da produção;
- Menor geração de amostras para ensaio (maior rendimento de massa);
- Menor exposição dos operadores ao risco de acidente (corte com amostras);
- Otimização da mão dos laboratórios usada nos ensaios;
- Menor consumo dos insumos: gás e energia elétrica.

## 4 CONCLUSÃO

O emprego dos conceitos da produção enxuta em ensaios de liberação dos produtos para fins elétricos na siderurgia mostrou a eficácia dos princípios dessa filosofia de

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



produção. A eliminação de desperdícios pode e deve ser um processo contínuo em qualquer empresa.

Com o uso de métodos e ferramentas adequadas, foi possível superar os objetivos e metas estabelecidas. Com a redução de 60% do *Lead Time* do ensaio de *epstein*, superou-se em duas vezes a meta de 30% inicialmente definida, além de diminuir em 38% o *Lead Time* do ensaio de dureza.

Ainda foi possível reduzir em 80% a quantidade de ensaio *epstein*, diminuir 67% dos ensaios de dureza e 80% os ensaios de tração.

Os resultados obtidos permitiram liberar para entrega/faturamento 80% da produção no mesmo dia de produção na linha de Recozimento Contínuo, agilizando a entrega de pros acabados.

A quantidade de ensaio mantida foi suficiente para garantirmos os ensaios acordados com os clientes.

## Agradecimentos

Agradecemos a colaboração com auxílio técnico e execução deste projeto:

- Evaldo Guimarães Teixeira, Técnico de Desenvolvimento, Gerência Geral de Desenvolvimento de Produtos, Companhia Siderúrgica Nacional;
- Ranieri Corrêa Salazar, Engenheiro de Produção, Gerência de Recozimento e Acabamento, Companhia Siderúrgica Nacional;
- Equipes do Laboratório de Qualidade de Produtos Laminados, Gerência Geral de Desenvolvimento de Produtos, Companhia Siderúrgica Nacional;
- Equipes do Laboratório do Centro de Pesquisa, Gerência Geral de Desenvolvimento de Produtos, Companhia Siderúrgica Nacional.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Pande PS, Neuman RP, Cavanagh RR. The Six Sigma Way - How GE, Motorola and Other Top Companies Are Honing Their Performance. New York: McGraw-Hill; 2000.
- 2 Werkema MCC. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. 1ª ed. Werkema Editora; 1995.
- 3 Britz G, Emerling D, Hare L, Hoerl R, Shade J. How to teach others to apply statistical thinking. Quality Progress. 1997;June:67-79.
- 4 Harry MJ, Lawson JR. Six sigma producibility analysis and process characterization. Reading, Massachusetts: Addison -Wesley Publishing Company, 1992. 161p
- 5 Harry M. Basic six sigma concepts. Schaumburg: Motorola University Press; 1992.
- 6 Coleman J, Ross B, Sanders D. The Process Map. New York: Quality Engineering; 1999.
- 7 Corrêa HL, Giansi IGN, Caon M. Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação. 4ª ed. São Paulo: Atlas; 2001.
- 8 Werkema MCC. As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial; 1995.
- 9 Mendes FB. Análise de Medidas de Perdas Magnéticas em Lâminas [Dissertação Mestre em Engenharia]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2004
- 10 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6151: Produtos Laminados Planos de Aço Para Fins Elétricos – verificação das propriedades. Rio de Janeiro; 1996.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.