

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
MBE – ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS

RAFAEL POLACINSKI WOLANIN

**AUMENTAR A CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DOS FORNOS DE RECOZIMENTO
PARA ARAMES UTILIZANDO A METODOLOGIA PDCA**

SÃO LEOPOLDO

2015

RAFAEL POLACINSKI WOLANIN

**AUMENTAR A CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DOS FORNOS DE RECOZIMENTO
PARA ARAMES UTILIZANDO A METODOLOGIA PDCA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo MBE em Engenharia de Produção Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.

Orientador: Prof. Ms. Renato Boer.

SÃO LEOPOLDO

2015

RESUMO

O presente trabalho consiste na aplicação da metodologia PDCA para elevar a capacidade de produção no processo de recozimento de arames de uma empresa siderúrgica de grande porte. O processo produtivo ao ser aplicado a metodologia PDCA compreende as etapas de movimentação, *poweroff* e processamento do material no forno, cada produto possui uma receita para recozimento de acordo com o nível de encruamento do material trefilado, ambos produtos devem atender as especificações, conforme a norma ABNT NBR 5589:2012. Foram verificadas as principais causas que impactavam na capacidade de produção dos fornos de recozimento, após, cada causa foi tratada para eliminar ou minimizar seu efeito no resultado final. As receitas de recozimento (tempo de ciclo) foram revisadas e customizadas para cada família de produto a fim de garantir o tempo mínimo necessário para atendimento as especificações citadas na ABNT NBR 5589:2012, também foram verificadas oportunidades corretivas no equipamento, padronização do processo, movimentação do material, *poweroff*, reprocessamento e treinamento da equipe operacional.

Palavras-chave: PDCA. Recozimento. Arames. Fornos. Capacidade de produção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo PDCA.....	11
Figura 2 - Ciclo PDCA - Melhoria contínua.....	12
Figura 3 - Diagrama de causa e efeito (Ishikawa).....	16
Figura 4 - Exemplo de diagrama de Pareto.....	17
Figura 5 - Exemplo de matriz GUT.....	18
Figura 6 - Exemplo de 5W2H.....	19
Figura 7 - Processo de fabricação do aço em uma siderúrgica semi-integrada.....	20
Figura 8 - Etapa de trefilação, desbobinamento Fio – Máquina até produção Arame Trefilado.....	22
Figura 9 - Influência do encruamento sobre as curvas tensão-deformação em aço de baixo carbono.....	24
Figura 10 - Fluxo de produção do arame recozido.....	25
Figura 11: Arame recozido em estocadores de uma tonelada.....	26
Figura 12 - Amarração de estruturas – sapata.....	27
Figura 13 - Amarração de estruturas – viga de sustentação.....	27
Figura 14 - Ciclo térmico esquemático do processo de recozimento.....	29
Figura 15 - Forno Pyro 4 - carregado.....	30
Figura 16 - Fornos Pyro 4 (esquerda) e Pyro 5 (direita).....	31
Figura 17 - Diagrama de Causa e Efeito – Ishikawa.....	34
Figura 18 - Interrupções (horas/mês) - Fornos Pyro 4 e Pyro 5.....	34
Figura 19 - Calhas de vedação - Fornos de Recozimento.....	36
Figura 20 - Material (estocador) - região de fixação dos termopares.....	40
Figura 21 – Diagrama de causa e efeito – Etapa Análise.....	43
Figura 22 - Termografia Forno a 700°C - Areia comum em 180°C.....	50
Figura 23 - Termografia Forno a 700°C - Areia comum em 92°C.....	51
Figura 24 - Exemplo de ruído Forno de Recozimento.....	52
Figura 25 - Estocadores (lado esquerdo) a recozer e empilhadeira para movimentação do material.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ferramentas da Qualidade.....	14
Tabela 2 - Escala BWG para arames baixo carbono.	23
Tabela 3 - 5W1H - Etapa observação do planejamento.....	38
Tabela 4 - Matriz GUT (gravidade x urgência x tendência).....	44
Tabela 5 - 5W1H - Etapa plano de ação do planejamento.....	45
Tabela 6 – Ações realizadas - etapa execução.....	47
Tabela 7 - Mix de produção - Tempo (h) e Volume (t) – ANTES do projeto.....	59
Tabela 8 - Mix de produção - Tempo (h) e Volume (t) – DEPOIS do projeto.	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Produto não conforme - Célula Recozimento 2014.	37
Gráfico 2 - Tempo (horas) de ciclo do produto A.....	39
Gráfico 3 - Tempo (horas) de ciclo do produto B.....	39
Gráfico 4 – Tempo (horas) de ciclo do produto C.....	40
Gráfico 5 – Tempo de ciclo do produto A.	41
Gráfico 6 - Tempo de ciclo do produto B.....	41
Gráfico 7 - Tempo de ciclo do produto C.....	42
Gráfico 8 - Poweroff - Fornos de recozimento Pyro 4 e Pyro 5.	42
Gráfico 9 - Tempo de ciclo modificado produto A.....	48
Gráfico 10 - Tempo de ciclo modificado produto B.....	49
Gráfico 11 - Tempo de ciclo modificado produto C.	49
Gráfico 12 - Produção horária dos Fornos Pyro 4 e Pyro 5.....	55
Gráfico 13 - Produto não conforme - Célula Recozimento 2014 / 2015.	55
Gráfico 14 – Poweroff dos fornos de recozimento - Célula Recozimento 2014 / 2015.	56

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;

PNC – Produto Não Conforme;

GUT – Gravidade x Urgência x Tendência;

PDCA – PLAN-DO-CHECK-ACTION

LISTA DE SÍMBOLOS

C - Carbono;

H - Hidrogênio;

S - Enxofre;

Fe - Ferro;

O - Oxigênio;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.2.1	Objetivo geral	2
1.2.2	Objetivos específicos	2
1.3	JUSTIFICATIVA	2
1.4	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	3
1.5	METODOLOGIA	3
1.5.1	Método de Pesquisa	3
1.5.2	Método de Trabalho	5
1.5.3	Coleta de dados	6
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1	PDCA	8
2.1.1	Ferramentas da qualidade	13
2.1.1.1	Diagrama de causa e efeito	15
2.1.1.2	Diagrama de Pareto	16
2.1.1.3	Matriz GUT	18
2.1.1.4	5W1H	19
2.2	PROCESSO DE FABRICAÇÃO	20
2.2.1	Conformação mecânica	21
2.2.2	Tratamento térmico de recozimento	25
2.2.2.1	Rampa de aquecimento	28
2.2.2.2	Encharque	28
2.2.2.3	Resfriamento	29
2.2.3	Operação do forno de recozimento	30
2.2.3.1	Receitas	30
2.2.3.2	Funcionamento do forno de recozimento	30
3	ESTUDO DE CASO	33
3.1	PLANEJAMENTO (<i>PLAN</i>)	33
3.1.1	Identificação	33
3.1.2	Observação	37
3.1.3	Análise	43

3.1.4	Plano de Ação	44
3.2	EXECUÇÃO (DO)	46
3.2.1	Otimização das receitas de recozimento	48
3.2.2	Vedação do forno	50
3.2.3	Falhas de ciclo	51
3.2.4	Falta de material	52
3.2.5	Poweroff	54
3.3	VERIFICAÇÃO (CHECK)	54
3.4	AGIR (ACTION)	56
4	RESULTADOS	58
5	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Com o alto crescimento do setor da construção civil e o elevado *mix* de produtos importados com custo extremamente atraente, as empresas locais precisam buscar a evolução de seus processos produtivos para garantir a competitividade e a sua própria sobrevivência. Para isso, verifica-se a necessidade de eliminar as perdas, elevar a capacidade de produção, otimizar o processo de produção dos produtos e garantir a satisfação total do cliente.

Analisando o cenário de uma empresa siderúrgica, foi possível identificar o processo de recozimento de arames, para construção civil, como uma oportunidade para aplicar a metodologia PDCA para elevar a capacidade de produção dos fornos, eliminar perdas por movimentação, *poweroff*, reprocesso e customizar os ciclos de recozimentos dos produtos.

O recozimento é um processo de tratamento térmico que consiste em proporcionar maleabilidade ao aço para facilitar o processo de amarração manual em estruturas de concreto armado na construção civil. Os materiais são produzidos e comercializados seguindo a norma ABNT NBR 5589:2012, ao qual uma das principais especificações são: a faixa dimensional e o limite de resistência.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Atualmente, o processo de recozimento de arames vem apresentando redução no atendimento ao volume de produção planejado, essa redução impacta negativamente no atendimento aos clientes do setor da construção civil, cujo setor apresenta maior crescimento nos últimos três anos, e também no faturamento mensal da empresa.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho estão descritos a seguir.

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral aplicar a metodologia PDCA para incrementar 10% na capacidade de produção nos fornos de recozimento para arames, reduzir o tempo de *poweroff*, reprocessamento e garantir a qualidade e o atendimento as especificações do produto final.

1.2.2 Objetivos específicos

Este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- a) Aplicar a metodologia PDCA no processo de recozimento;
- b) Reduzir o tempo de ciclo de recozimento;
- c) Reduzir o tempo de *poweroff* dos fornos;
- d) Eliminar perdas por reprocessamento.

1.3 JUSTIFICATIVA

A aplicação da metodologia PDCA neste problema apresentado para elevar a capacidade de produção dos fornos de recozimento, apresenta um potencial de ganho anual equivalente a 670 mil reais.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho, limita-se à aplicação da metodologia PDCA para elevar a capacidade de produção no processo de recozimento de arames para construção civil, em fornos elétricos do tipo campânula.

1.5 METODOLOGIA

1.5.1 Método de Pesquisa

A pesquisa é a atividade nuclear da Ciência, ela possibilita uma aproximação e um entendimento da realidade a se investigar, trata-se de um processo permanentemente inacabado e processa-se por meio de aproximações sucessivas da realidade, fornecendo subsídios para uma intervenção no real.

De acordo com Gil (2007), a pesquisa tem um caráter pragmático, sendo um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. Tendo como objetivo fundamental descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos específicos, uma pesquisa pode ser classificada seguindo diversos critérios.

A pesquisa científica é o resultado de um inquérito ou exame minucioso, realizado com o objetivo de resolver um problema, recorrendo a procedimentos científicos, é o ato de analisar e compreender um tema, problema ou questão, partindo sempre de uma realidade específica, que serve de base e orientação a todo projeto de formulação de hipóteses. Sempre abrindo possibilidades de aplicação do conhecimento gerado, a pesquisa tem, na localização da informação, os mecanismos necessários para interagir com a realidade.

Quanto à sua natureza, a pesquisa pode ser uma Pesquisa Básica, objetivando a geração de novos conhecimentos direcionados para o avanço da ciência e sem

aplicação prática prevista. A Pesquisa Aplicada tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos.

Quanto à sua abordagem, a pesquisa pode ser quantitativa, considerando que tudo pode ser quantificado, ou qualitativa, ao qual não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização.

Do ponto de vista de seus objetivos (Gil, 2007), a pesquisa pode ser:

a) Pesquisa Exploratória: visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou construir hipóteses.

b) Pesquisa Descritiva: A pesquisa descritiva exige do investigador uma série de informações sobre o que deseja pesquisar. Esse tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade (TRIVIÑOS, 1987).

c) Pesquisa Explicativa: visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos, ou seja, este tipo de pesquisa explica o porquê das coisas através dos resultados oferecidos. Pesquisas desse tipo podem ser classificadas como experimentais e *ex-postfacto* (GIL, 2007).

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos (Gil, 1994), pode ser:

a) Pesquisa Bibliográfica: elaborada a partir de material já publicado, como livros, artigos, periódicos, Internet;

b) Pesquisa Documental: elaborada a partir de material que não recebeu tratamento analítico;

c) Pesquisa Experimental: quando se determina um objeto de estudo, selecionando as variáveis e definindo as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto;

d) Levantamento: pesquisa que envolve questionamento direto das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer;

e) Estudo de Caso: quando envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento;

f) Pesquisa *Ex-post-facto*: tem por objetivo investigar possíveis relações de causa e efeito entre um determinado fato identificado pelo pesquisador e um fenômeno que ocorre posteriormente. A principal característica deste tipo de pesquisa é o fato de os dados serem coletados após a ocorrência dos eventos.

g) Pesquisa-Ação: quando realizada em estreita associação com uma ação ou com uma resolução de um problema coletivo. Os pesquisadores e participantes estão envolvidos de modo cooperativo;

h) Pesquisa Participante: trata-se de uma pesquisa desenvolvida pela interação entre pesquisadores e membros das situações investigadas.

O presente trabalho pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, por buscar a análise de um problema específico, e com abordagem quantitativa, pois a interpretação dos dados será elaborada a partir da análise de dados numéricos, valores medidos e dados estatísticos. Quanto ao objetivo, caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, devido à busca da maior compreensão do objeto de estudo, sendo adotado o procedimento técnico estudo de caso, buscando a ampliação do conhecimento por meio da análise dos aspectos levantados.

1.5.2 Método de Trabalho

Este trabalho foi desenvolvido em três linhas previamente planejadas:

A primeira etapa deste trabalho foi o aprofundamento nos conhecimentos referente ao ciclo PDCA e suas ferramentas como diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, matriz GUT e Plano de ação, também foi estudado o processo de tratamento térmico de recozimento de arames para aplicar a melhor análise e ação ao processo.

A segunda etapa foi a aplicação da metodologia PDCA no processo a ser melhorado, bem como as devidas regras e aplicação de ferramentas para garantir o objetivo planejado, nesta etapa foi descrito desde a identificação do problema até a verificação final do projeto.

A terceira etapa consiste em avaliar os indicadores de produção horária, produto não conforme e *poweroff*, os resultados obtidos e concluir o estudo de caso.

1.5.3 Coleta de dados

As informações para a realização deste estudo foram coletadas através de sistemas de controle e supervisórios no ambiente de produção.

- Relatórios de produção por produto (sistema supervisório dos fornos de recozimento);
- Relatórios de índice de desclassificação de produtos (sistema ERP - SAP-ECC);
- Relatórios de performance do equipamento (sistema MES – Trefilas);
- Relatórios com os resultados de propriedade mecânica dos produtos (Sistema MES – Trefilas);
- Comportamento térmico dentro do forno (obtido através de instrumentação).
- Demais detalhes foram interpretados através de conversas informais com colaboradores do setor de empresa.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo o capítulo 1 dedicado à introdução.

No capítulo 2 será apresentada a fundamentação teórica referente ao ciclo PDCA e ferramentas utilizadas neste estudo de caso, também será descrito o processo de produção dos arames recozidos bem como características técnicas sobre o processo de recozimento.

O capítulo 3 descreve o estudo de caso realizado seguindo a metodologia PDCA para elevar a produção horária dos fornos de recozimento.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos na aplicação da metodologia PDCA para elevar a capacidade produtiva dos fornos de recozimento de arames.

No capítulo 5 encontram-se as conclusões observadas na produção deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica que segue, tem por objetivo apresentar os principais temas utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Os estudos iniciam com uma explicação sobre PDCA e suas ferramentas e o processo de fabricação do aço até o produto final, arame recozido.

2.1 PDCA

De acordo com Bezerra (2014), o ciclo PDCA é uma das ferramentas de gestão mais utilizadas por empresas no mundo todo, ela visa controlar e melhorar processos, produtos e serviços de forma contínua, tornando os processos mais ágeis, claros e objetivos para atingir resultados cada vez melhores para a organização.

O ciclo PDCA pode ser conhecido como ciclo de Shewhart ou ciclo de Deming, isso porque em 1930 Walter Shewhart (estatístico norte americano, pesquisador da Bell Telephone) apresentou este modelo de ferramenta sobre ótica da administração da qualidade, porém somente a partir da década de 50 que esta ferramenta em ciclo, o PDCA, foi amplamente conhecida no mundo todo após a II Guerra Mundial, através de palestras proferidas por William Edwards Deming (físico norte americano e aluno de Shewhart), no Japão.

Trata-se de uma das sete ferramentas da qualidade e é considerada uma das mais simples de ser aplicada, baseada em quatro fases, o ciclo proporciona o aumento da confiabilidade e a eficiência das atividades da organização.

Segundo Campos (1992), o PDCA é um método de gerenciamento de processos ou de sistemas. É o caminho para se atingirem as metas atribuídas aos produtos dos sistemas empresariais. Portanto é necessário se determinar uma meta para a utilização dessa metodologia. De acordo com Andrade (2003), o ciclo PDCA é projetado para ser usado como um modelo dinâmico em que a conclusão de um ciclo irá fluir no começo do próximo ciclo, e assim sucessivamente, proporcionando a

melhoria contínua no processo, ou produto onde for aplicado. Além disso, Andrade (2003) afirma que, o processo sempre pode ter uma nova análise, o que implica em novo processo de mudança.

Esta metodologia, visa a melhoria contínua das etapas do processo onde é aplicada, ela se encontra vinculada aos fundamentos da Filosofia Kaizen (metodologia que permite baixar os custos e melhorar a produtividade), que também é um dos pilares da administração da qualidade.

Segundo Bezerra (2014) a finalidade do método PDCA, é a aceleração e o aperfeiçoamento (melhoria) dos processos de uma empresa através da identificação das causas e a implementação de soluções para os problemas. Campos (1992) diz que, um problema é um resultado indesejável de um processo.

Conforme Periard (2011), o ciclo PDCA inicia-se pela fase de planejamento, em seguida tudo o que foi planejado deverá ser executado, gerando, posteriormente a necessidade de verificação constante das ações implementadas e comparando com o resultado esperado e definido na fase de planejamento. Se o resultado não for atendido, ou as ações não forem implementadas, cabe ao gestor do projeto agir e implantar as medidas de correção das falhas.

O ciclo PDCA, conforme citado anteriormente, é dividido em quatro fases bem definidas e distintas. Andrade (2003) e Ferreira (2010) descrevem essas fases da seguinte forma:

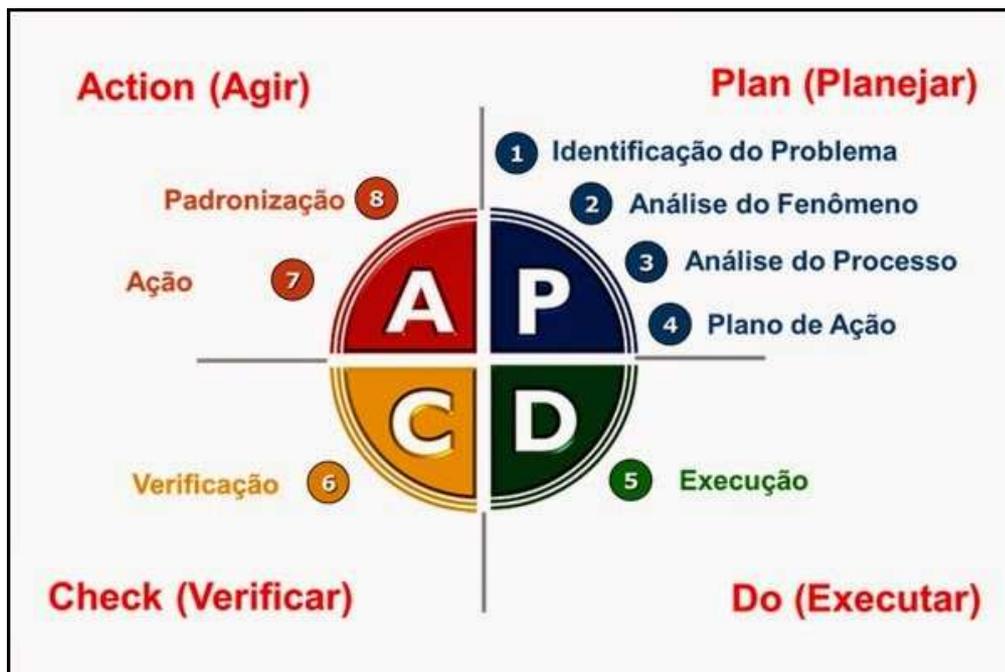
- P – *Plan* - (Planejar): estabelece-se os objetivos e os processos necessários para fornecer resultados de acordo com os requisitos do cliente e políticas da organização. Esta fase abrange: a identificação do problema, o estabelecimento de uma meta, a análise do fenômeno / observação (utilizando diagramas estatísticos), a análise do processo (utilizando diagrama de causa e efeito, levantando dados, fatos, elaboração de fluxo de processo, identificação de itens de controle, análise de resultados, etc.) e a elaboração do plano de ação.

- D – *Do* (Fazer/Executar): implementar os processos, ou seja, execução das ações estabelecidas no plano de ação definidas na fase anterior, sendo realizadas de acordo com o cronograma determinado, tendo todas as ações registradas e supervisionadas.
- C – *Check* (Checar/Verificar): nesta fase deve-se executar a verificação da eficácia das ações realizadas na fase anterior. Utilizando para a mesma forma ou régua para comparação dos resultados (planejados e executados), verificação da continuidade ou não do problema (eficácia das ações realizadas) e confronto dos resultados de especificação do produto e processo após a execução da fase “D”;
- A – *Action* (Agir): esta fase é responsável pela padronização dos procedimentos implantados na fase “Do”, ou seja, sendo o resultado satisfatório devem-se padronizar essas ações, transformando-as em procedimentos padrão. Para realizar essa padronização é feita a elaboração ou alteração do padrão, comunicação, treinamento e acompanhamento da utilização do padrão. A conclusão do projeto também ocorre nessa fase, sendo que poderão ser estipuladas novas metas futuras para que o processo de melhoria contínua possa ser desencadeado.

Cada fase, para ser executada, necessita de uma ou mais ferramentas da qualidade e de um grupo de pessoas inseridas em um projeto de trabalho com um objetivo em comum, atingir a meta. Corrêa (2004) afirma que o fundamental é ter pessoas capacitadas e envolvidas, pois as ferramentas da qualidade apenas apoiam e auxiliam na tomada das decisões.

A Figura 1 ilustra o ciclo PDCA e as etapas contidas em cada uma das quatro fases.

Figura 1 - Ciclo PDCA.

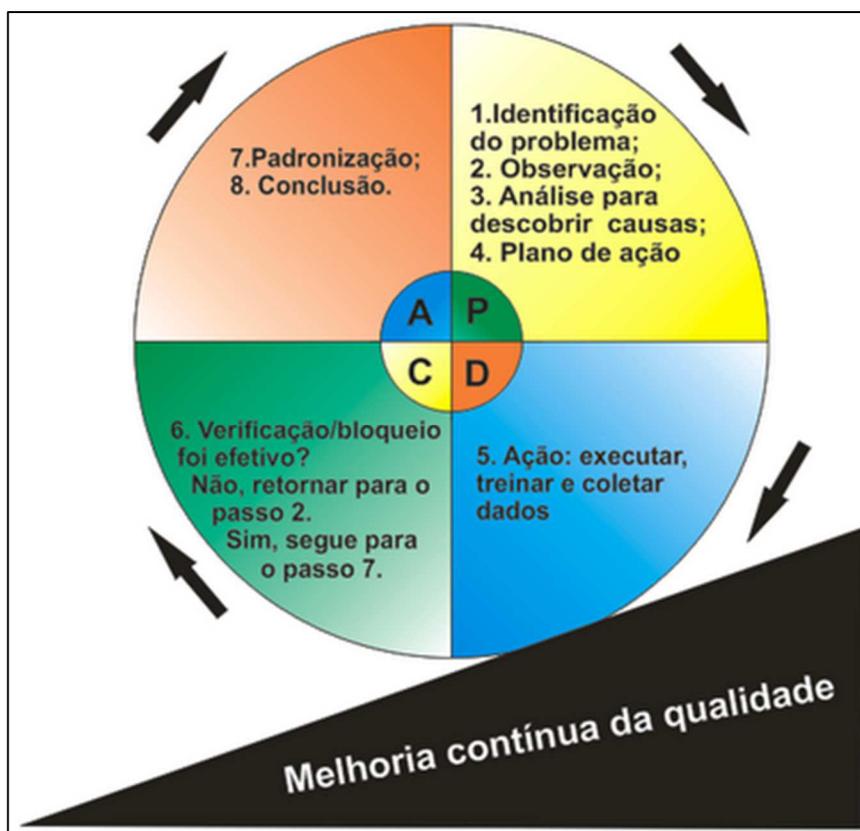


Fonte: Bezerra, 2014.

É importante lembrar que como o ciclo PDCA é verdadeiramente um ciclo, e por isso deve “girar” constantemente. Ele não tem um fim obrigatório definido. Com as ações corretivas ao final do primeiro ciclo é possível e desejável que seja criado um novo planejamento para a melhoria de determinado procedimento, iniciando assim todo o processo do ciclo PDCA novamente. Este novo ciclo, a partir do anterior, é fundamental para o sucesso da utilização desta ferramenta e assim promovendo a melhoria contínua do processo, e ou produto, conforme citado por Campos (1992).

A Figura 2 mostra o ciclo PDCA, e a medida que se roda o ciclo sucessivas vezes, ocorre a melhoria contínua do processo, e ou produto, conforme citado anteriormente.

Figura 2 - Ciclo PDCA - Melhoria contínua.



Fonte: Silva, 2010.

Ao seguir estas fases, através do ciclo PDCA e utilizando ferramentas da qualidade, o sistema de produção atinge um nível de qualidade superior, onde o surgimento de novos problemas serão encarados como oportunidades de melhorias (TUBINO, 2009).

Bezerra (2014) e Sebrae (2014) relatam alguns cuidados na utilização do ciclo PDCA para que o resultado final do projeto apresente resultado conforme planejado.

- Fazer sem planejar;
- Fazer e não checar;
- Não ter pessoal qualificado;
- Não dominar os métodos;
- Não agir corretivamente;
- Parar após uma volta (um ciclo);

- Confiabilidade das informações históricas do processo e produto;
- Definir as metas e não definir os métodos para atingi-las;
- Definir metas e não preparar o pessoal para executá-las.

Werkema (1995), afirma que através do ciclo PDCA, o nível estratégico da empresa poderá garantir a sua sobrevivência e o alcance de suas metas, tomando decisões, baseadas em fatos e dados previamente comprovados como causas raiz dos problemas identificados.

Esta metodologia pode ser aplicada em todas as áreas funcionais da organização, como produção, recursos humanos, marketing, finanças, vendas, entre outras, pois além de promover a melhoria planejada no processo, ela auxilia na integração das etapas do processo, envolvendo gestores e colaboradores em geral, tornando-os também responsáveis pela qualidade de um processo específico.

2.1.1 Ferramentas da qualidade

De acordo com Marshall Junior et al (2006), as ferramentas da qualidade surgiram a partir de 1950, com embasamento em julgamentos e práticas existentes e contribuem para a manutenção e melhoria dos processos. Há que se ressaltar que essas ferramentas da qualidade colaboram para a melhoria dos processos, visando o aperfeiçoamento contínuo.

Segundo Miguel (2006) as ferramentas da qualidade são frequentemente usadas como suporte ao desenvolvimento da qualidade ou ao apoio à decisão na análise de determinado problema.

O ciclo PDCA não especifica quais ferramentas devem ser utilizadas em cada fase do ciclo, as ferramentas devem ser utilizadas considerando alguns fatores, como processo, informação disponível, confiabilidade, velocidade, tempo, etc. Em cada fase pode ser utilizada uma ou mais ferramentas para que se tenha o entendimento correto do problema / solução.

As ferramentas tradicionais da qualidade, de acordo com Miguel (2006) e Marshall Junior et al (2006) são: diagrama de causa-efeito (Ishikawa), fluxograma, histograma, gráfico de Pareto, diagrama de correlação, carta de controle, folha de verificação, diagrama de dispersão, matriz GUT, Brainstorming e 5W1H / 5W2H, conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Ferramentas da Qualidade.

Ferramentas da Qualidade	Finalidade
Diagrama de causa efeito ou Diagrama de Ishikawa.	Utilizado para apresentar a relação existente entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) do processo que, por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado. Deve ser realizado preferencialmente em grupo.
Gráfico de Pareto	Gráfico de barras verticais que dispõe a informação de forma a favorecer a identificação, a medição e a prioridade dos problemas mais constantes de um processo.
Fluxogramas	Proporcionar uma descrição de fácil visualização das sequências das etapas do processo por meio de gráfico de barras.
Carta de Controle	Gráfico que retorna a informação da variabilidade por meio de acompanhamento da medição e o tempo do processo.
Folha de Verificação	Numerar as constantes ocorrências de um processo produtivo, em um determinado período de tempo.
Histogramas	Resumir dados que foram coletados de um processo durante um período de tempo, e apresentar graficamente a sua distribuição de frequências. Auxiliar a responder a questão: "O processo é capaz de atender os requisitos do cliente?"
Diagrama de Dispersão	Determinar se existe uma relação de dependência entre duas variáveis quaisquer, ou seja, se o que acontece com uma variável depende do que acontece com outra.
Matriz de GUT	Utilizado para selecionar variáveis a serem analisadas ou trabalhadas nos projetos de melhoria e priorizar ações ou atividades a serem realizadas.
Brainstorming (tempestade de ideias)	Detalhar as percepções em relação a um determinado assunto, buscando assim diferentes opiniões a partir da criatividade coletiva.
5W1H / 5W2H	Representar e unificar os processos, na organização de planos de ação e na afirmação de métodos adjuntos aos indicadores, sendo assim de cunho gerencial, o número (1) ou (2) significa QUANTO (custo / investimento).

Fonte: Adaptado de MARSHALL Junior et al, 2006.

Para fins deste trabalho, serão utilizadas as ferramentas diagrama de causa-efeito (Ishikawa), diagrama de Pareto, matriz GUT e 5W1H.

2.1.1.1 Diagrama de causa e efeito

Esta ferramenta consiste em uma forma gráfica usada como metodologia de análise para representar fatores de influência (causas) sobre um determinado problema (efeito).

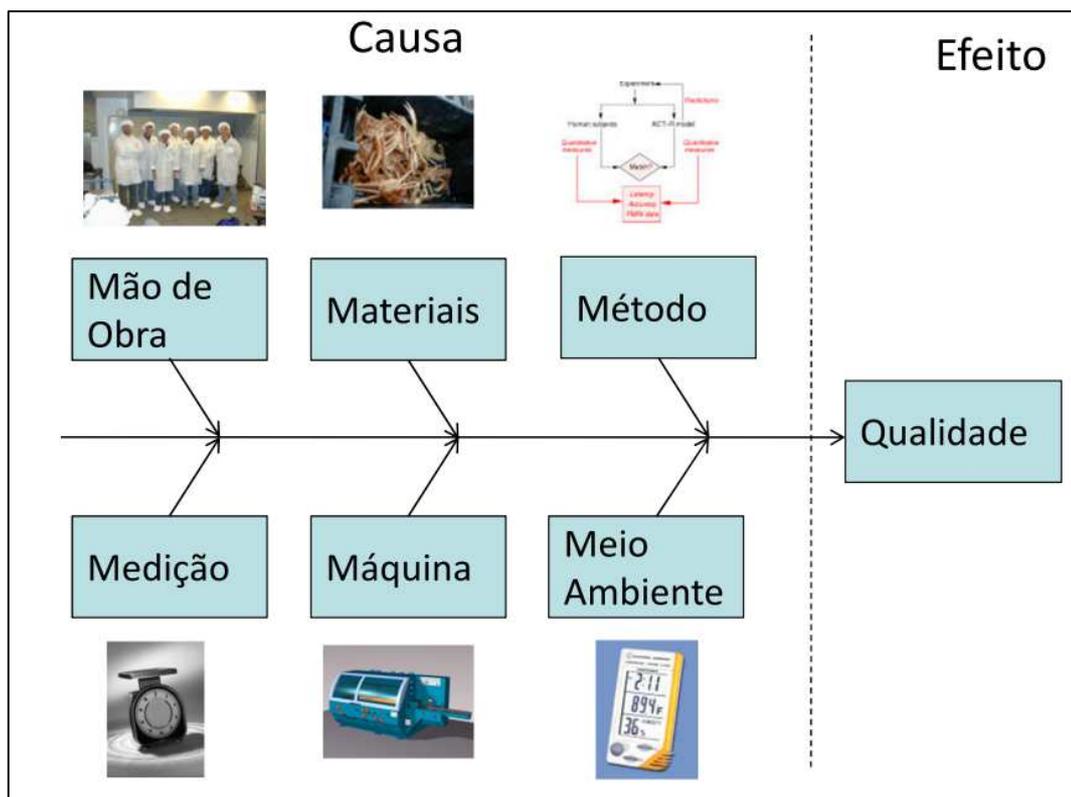
Também é denominada de diagrama de Ishikawa, devido ao seu criador, ou diagrama espinha de peixe, devido à sua forma (MIGUEL, 2006). O diagrama de causa-efeito pode ser elaborado perante os seguintes passos:

- Determinar o problema a ser estudado (identificação do efeito);
- Relatar sobre as possíveis causas e registrá-las no diagrama;
- Construir o diagrama agrupando as causas em “6M” (mão-de-obra, método, matéria prima, medida, meio-ambiente e máquina);
- Analisar o diagrama, a fim de identificar as causas verdadeiras;
- Correção do problema.

Esta ferramenta deve ser utilizada em conjunto com equipes envolvidas no processo a ser analisado, as possíveis causas devem ser levantadas e registradas seguindo o conceito *Brainstorming* (tempestade de ideias), conforme visto na Tabela 1.

A Figura 3 mostra um exemplo gráfico do diagrama de causa e efeito.

Figura 3 - Diagrama de causa e efeito (Ishikawa).



Fonte: Martins, 2013.

2.1.1.2 Diagrama de Pareto

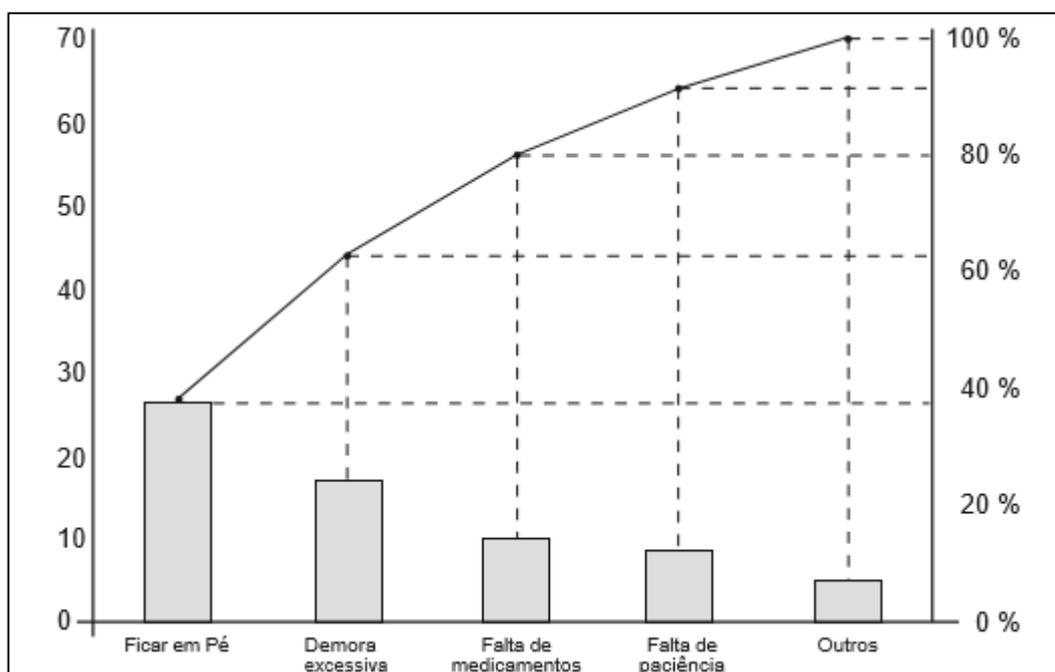
Criado pelo economista, Vilfredo Pareto em 1887, o diagrama de Pareto apresenta-se na forma especial do gráfico de barras verticais, que dispõe os itens analisados desde o mais frequente (barras a esquerda), até o menos frequente (barras a direita). Esse diagrama estabelece prioridades na tomada de decisão, a partir de uma abordagem estatística.

De acordo com Costa (1994), o gráfico de Pareto é usado sempre que for preciso ressaltar a importância relativa entre problemas ou condições, no sentido de escolher ponto de partida para a solução de problemas, avaliar o progresso de um processo e identificar a causa básica de um problema, pois sua aplicação se estende a:

- Identificar, detalhar e analisar problemas (erros, falhas, gastos, retrabalhos, etc.), e suas respectivas causas (operador, equipamento, matéria-prima, etc.);
- Auxiliar a equipe a priorizar suas ações sobre as causas que terão o maior impacto se resolvidas;
- Demonstrar a importância relativa dos problemas num formato visual, simples e rápida interpretação;
- Confirmar os resultados das ações de melhoria;
- Detalhar as causas maiores dos problemas e os itens responsáveis pelos maiores impactos objetivando a eliminação da causa;
- O progresso é medido em um formato altamente visível fornecendo incentivo na busca de mais melhorias.

A Figura 4 mostra um exemplo de diagrama de Pareto, onde “ficar em pé” representa a maior causa do problema analisado e “outros” representa a menor causa.

Figura 4 - Exemplo de diagrama de Pareto.



Fonte: Autor.

2.1.1.3 Matriz GUT

Segundo Costa (1994), a sigla da matriz GUT significa Gravidade, Urgência e Tendência. São parâmetros tomados para se estabelecer prioridades na eliminação de problemas, especialmente se forem vários e relacionados entre si. A técnica de GUT foi desenvolvida com o objetivo de orientar decisões mais complexas, isto é, decisões que envolvem muitas questões. A mistura de problemas gera confusão, logo, é preciso separar cada problema que tenha causa própria.

Para saber qual a prioridade na solução dos problemas detectados, deve-se realizar essas três perguntas:

- Primeira pergunta: Qual a gravidade do desvio? Indagação que exige outras explicações. Que efeitos surgirão a longo prazo, caso o problema não seja corrigido? Qual o impacto do problema sobre coisas, pessoas, resultados?
- Segunda pergunta: Qual a urgência de se eliminar o problema? A resposta está relacionada com o tempo disponível para resolvê-lo.
- Terceira pergunta: Qual a tendência do desvio e seu potencial de crescimento? Será que o problema se tornará progressivamente maior? Será que tenderá a diminuir e desaparecer por si só?

Para criar a matriz de GUT, deve-se realizar uma avaliação da Gravidade, Urgência e Tendência de cada um dos problemas, usando a Tabela GUT. Ao terminar a avaliação de todos os problemas, realiza-se a multiplicação das notas dadas e verifica-se a nota final na coluna Total, os maiores valores apresentados deverão ter sua solução priorizada no projeto.

Figura 5 - Exemplo de matriz GUT.

Item a priorizar	G	U	T	G x U x T
Variável 1	5	5	5	125
Variável 2	5	5	3	75
Variável 3	5	5	1	25
Variável n				

Fonte: Martins, 2013.

2.1.1.4 5W1H

De acordo com ABBAS e POSSAMAI, (2008) o método 5W2H é utilizado para alocação de recursos a fim de elaborar um plano de ação, em geral, com o objetivo de melhorar algum processo, produto e, ou serviço.

É uma ferramenta que identifica as ações e as responsabilidades de quem irá executar, através de um questionamento, capaz de orientar as diversas ações que deverão ser implementadas. O 5W1H deve ser estruturado para permitir uma rápida identificação dos elementos necessários à implantação do projeto.

Os 5W correspondem às seguintes palavras do inglês: *what* (o que será feito); *who* (por quem será feito); *where* (onde será feito); *when* (quando será feito); e *why* (por que será feito), enquanto o 1H corresponde a *how* (como será feito), e 2H *How much* (Quanto custa), conforme Figura 5.

Figura 6 - Exemplo de 5W2H.

Contramedida	Responsável	Prazo	Local	Justificativa	Procedimento	Investimento
O quê? What?	Quem? Who?	Quando? When?	Onde? Where?	Porque? Why?	Como? How?	Quanto? How much?
Reduzir interferência na placa de assinantes	João	Abril/2013	Supervisão	Evitar propagação de radiointerferência	Trocando placa tipo A por placa tipo B	R\$ 100.0
.
.
.

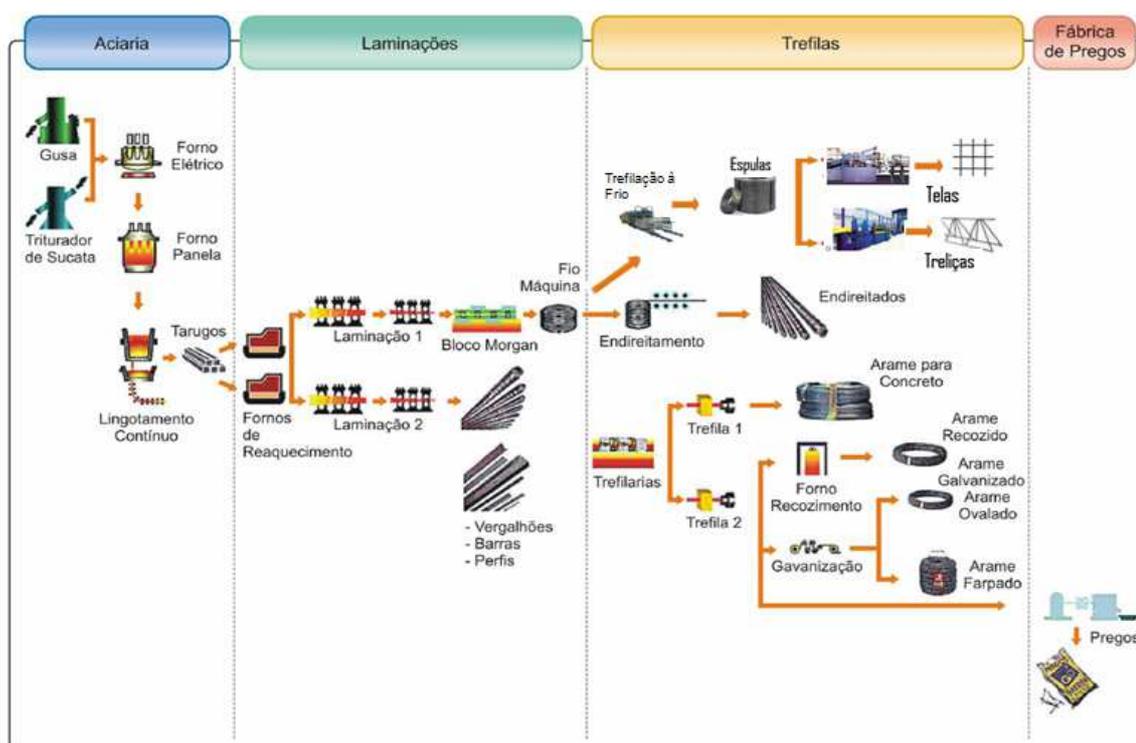
Fonte: Martins, 2013.

2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

De acordo com Scheid (2010), o processo siderúrgico pode ser dividido em três grandes etapas: redução, refino e conformação mecânica. As usinas siderúrgicas são classificadas quanto ao grau de integração, podendo ser: usinas integradas, semi-integradas e não-integradas. As usinas integradas são aquelas que operam com processos de redução, refino e conformação na mesma unidade, partindo da extração do minério de ferro até a produção do aço. As usinas semi-integradas são aquelas em que apenas as etapas de refino e conformação mecânica estão presentes, partindo do ferro gusa, ferro esponja ou sucata para a produção do aço, e por fim, as usinas não-integradas que apresentam apenas uma das etapas do processo siderúrgico, que pode ser redução (produtores independentes de ferro gusa) ou conformação mecânica (relaminadores de aço).

A empresa estudada é uma usina semi-integrada que utiliza a sucata como matéria-prima predominante para a produção do aço. O objeto de estudo neste trabalho é o processo de recozimento de arames, ao qual está ilustrado na Figura 7, na coluna trefilas.

Figura 7 - Processo de fabricação do aço em uma siderúrgica semi-integrada.



Fonte: Empresa.

Conforme a Figura 7, a primeira etapa do processo produtivo de fabricação do arame recozido se dá na aciaria, onde ocorre a fusão da carga sólida de sucata mais ferro gusa no forno elétrico.

Visando conferir as propriedades mecânicas desejadas ao aço, se faz refino de sua composição química no forno panela, momento em que a composição química é ajustada conforme especificação.

Para a produção dos arames recozidos, a empresa utiliza o aço 1006, que é proveniente de sucata e possui baixo teor de carbono. A escolha de utilizar um aço com baixo teor de carbono para produzir os arames recozidos se deve à menor dureza encontrada em aços hipoeutetóides e quanto menor o percentual de carbono no produto, menor a sua resistência mecânica, desde que não sejam incrementados elementos de liga em sua composição química.

De acordo com Colpaert (2008) os aços de baixo teor de carbono são constituídos por grãos de ferrita e possuem dureza relativamente baixa, o que é de extrema importância para aplicação final do produto arame recozido.

Uma vez acertadas temperaturas e composições, o material é encaminhado ao processo de lingotamento contínuo, ao qual é vazado em um distribuidor, que através de seus veios, conferem aos tarugos seção transversal quadrada.

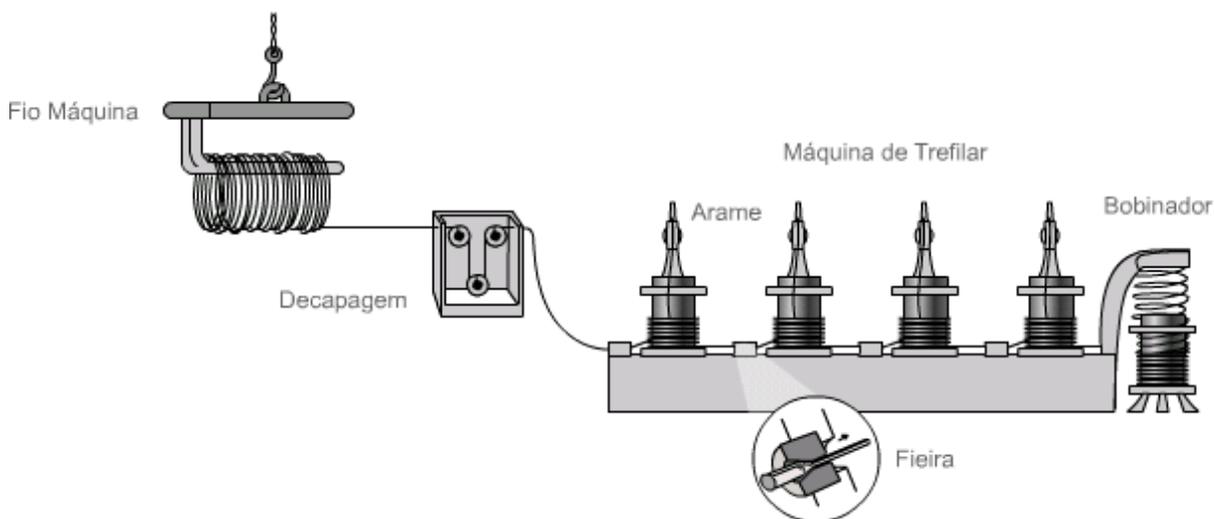
2.2.1 Conformação mecânica

O processo de conformação mecânica a quente, denominado laminação, consiste em reduzir a seção transversal do tarugo, sem remoção de material, mantendo o volume e massa do mesmo, constante através da passagem da peça metálica entre rolos cilíndricos denominados gaiolas, que giram em sentido concordante com a passagem do material nos passes de desbaste, intermediário e acabador.

Um dos produtos da laminação, é o fio máquina, ao qual possui geometria redonda variando entre 5,50 mm a 16,0 mm e é formatado em rolos, é a matéria-prima do processo de trefilação.

O processo de trefilação consiste em tracionar um material através de uma matriz de dimensão conhecida e controlada (BUTTON, 2001), ou seja, a redução de área do fio-máquina ocorre pela passagem do fio por matrizes cônicas conhecidas como feiras, que são orifícios com a geometria redonda. Cada vez que o arame passa por uma feira, sofre um passe de trefilação e tem sua secção reduzida, conforme mostra a Figura 8. Para facilitar a trefilação, o arame passa por uma caixa com sabão em forma de pó, que é constituído basicamente por cálcio e sódio. O sabão serve para lubrificar o arame, facilitando a passagem do mesmo pelas feiras.

Figura 8 - Etapa de trefilação, desbobinamento Fio – Máquina até produção Arame Trefilado.



Fonte: Empresa.

Os produtos trefilados são especificados conforme a escala BWG (*Birmingham Wire Gauge*) e compreendem as escalas do BWG 8 ao BWG 18, e é produzido conforme a norma ABNT NBR 5589:1982 - Arame de aço de baixo teor de carbono – Diâmetros e tolerâncias, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Escala BWG para arames baixo carbono.

PRODUTO	DIÂMETRO (mm)
BWG 8	4,19
BWG 10	3,40
BWG 12	2,76
BWG 14	2,10
BWG 16	1,65
BWG 18	1,24

Fonte: Empresa.

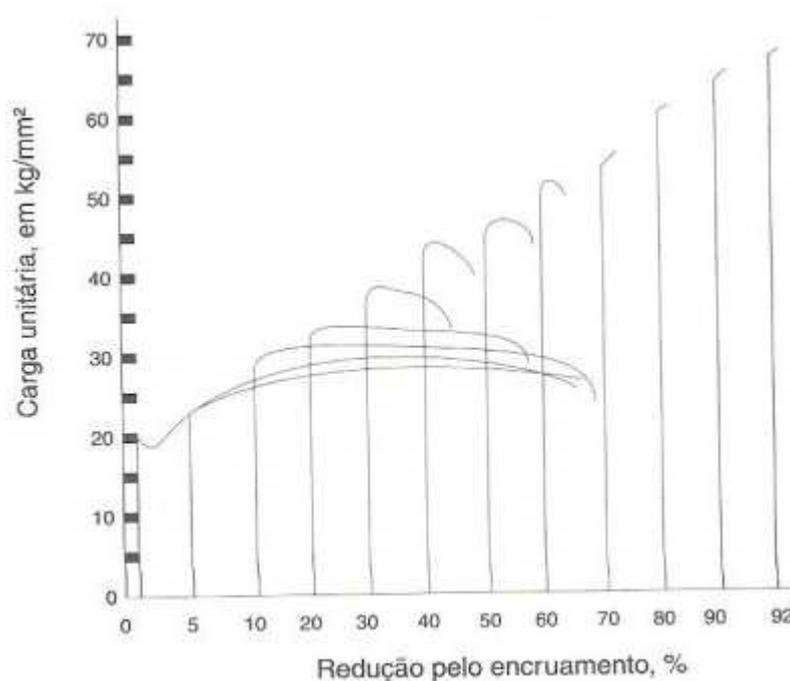
A conformação gerada no processo de trefilação, modifica a microestrutura do aço, pois os grãos ficam encruados, isto é, ocorre o aumento da dureza do material devido à deformação plástica. Colpaert (2008) comenta que

Quando as operações há pouco citadas se dão a temperaturas abaixo da zona crítica e especialmente à temperatura ambiente, chamam-se trabalho à frio. Os grãos do metal, deformados nessas condições, permanecem deformados e diz-se que o material está encruado. Essa deformação quando é superior a 15 ou 20%, deixa no interior do material vestígios típicos, visíveis ao microscópio óptico numa secção polida e atacada, porque os grãos ficam alongados paralelamente ao esforço de tração ou perpendicularmente ao de compressão.

De acordo com Chiaverini (1986), a deformação a frio (processo de trefilação) que resulta no encruamento do aço, provoca a deformação cristalina com os conhecidos efeitos de aumentar as propriedades de resistências mecânica e diminuir as propriedades relacionadas com ductilidade e tenacidade.

Esse efeito de aumento de tensão é proporcional a taxa de deformação produzida, conforme pode ser visto na Figura 9, observa-se que a região elástica aumenta com o trabalho a frio enquanto a região plástica diminui, tornando o material completamente frágil.

Figura 9 - Influência do encruamento sobre as curvas tensão-deformação em aço de baixo carbono.



Fonte: CHIAVERINI, 1986.

Colpaert (2008) cita que

O encruamento altera profundamente quase todas as propriedades do material: aumenta a resistência à tração, o limite de escoamento, a dureza, a fragilidade, a resistência elétrica, etc., e diminui o alongamento, a estrição, a permeabilidade magnética, a resistência à corrosão, a densidade, etc.

Há casos em que os aços são encruados propositalmente para tirar proveito de certas qualidades que possuem nesse estado, principalmente dureza maior, limite de escoamento mais alto e resistência à tração mais elevada. Assim se empregam alguns fios para molas, pregos, fitas para enfardamento, certos eixos de máquinas, certas barras especiais para concreto (que pelo simples fato de estarem encruadas convenientemente permitem elevar a tensão admissível de 1200 para 1700 kg/cm²), e principalmente fios de aço com alto teor de carbono chamados "corda piano" empregados como tirantes, que chegam a resistir à tração de mais de 30.000kg/cm².

A ferrita encruada começa, porém, a recrystalizar-se pouco acima de 500°C. Assim sendo, com um aquecimento até 600°C, o aço extra-doce já readquire praticamente as propriedades como se fosse recozido.

Conforme Eder (2006), as propriedades mecânicas do arame, como resistência à tração e tensão de escoamento, aumentam no processo de trefilação,

devido ao encruamento causado pela redução de área nos sucessivos passes (trabalho a frio). Em contrapartida, o alongamento, maleabilidade e estrição diminuem. Para eliminar o encruamento gerado na trefila os arames devem ser submetidos ao tratamento térmico de recozimento, para que suas propriedades mecânicas sejam modificadas, atendendo às exigências dos clientes.

2.2.2 Tratamento térmico de recozimento

De acordo com Chiaverini (2008), os principais objetivos do recozimento são remover tensões devido a tratamentos mecânicos, diminuir a dureza, aumentar a ductilidade e eliminar o efeito de quaisquer tratamentos térmicos ou mecânicos que o aço tenha sido submetido anteriormente.

A fim de remover os efeitos de encruamento do material trefilado e proporcionar maleabilidade, os arames acondicionados em estocadores são submetidos ao processo de tratamento térmico em fornos de recozimento do tipo campânula, processo denominado na empresa, como recozimento.

A Figura 10 ilustra o fluxo de produção do arame recozido, desde o recebimento do arame trefilado acondicionado em estocador, passando pelo forno de recozimento ao qual é tema deste trabalho e obtenção do produto final pronto para ser enviado ao usuário final.

Figura 10 - Fluxo de produção do arame recozido.



Fonte: Empresa.

Conforme Doyle (1962), o processo de recozimento consiste em aquecer o aço até uma temperatura predeterminada, conhecida como temperatura de pico, mantendo a temperatura constante por um tempo suficiente, conhecido como tempo de encharque, para permitir a penetração uniforme de calor, e resfriar a uma velocidade controlada até temperatura ambiente.

A temperatura de pico e o tempo de encharque variam de acordo com a bitola dos arames, seu grau de encruamento e sua massa dentro do forno. Os arames são alocados em estocadores, que são suportes para o acondicionamento dos mesmos. Em cada estocador é possível acondicionar aproximadamente uma tonelada, conforme Figura 11.

Figura 11: Arame recozido em estocadores de uma tonelada.



Fonte: Autor.

Um dos principais usos do arame recozido é na construção civil, na qual o arame é utilizado para realizar amarrações em armaduras de concreto armado, e demais componentes estruturais, conforme ilustrado nas Figuras 12 e 13. A baixa resistência mecânica do produto e a alta maleabilidade são propriedades necessárias e especificadas na NBR 5589:1982, em função do processo ser realizado de forma manual pelo usuário final na construção civil.

Todos os produtos recozidos independentemente da bitola, apresentam especificação quanto ao limite de resistência a ruptura máximo de 40kgf/mm².

Figura 12 - Amarração de estruturas – sapata.



Fonte: TÉCHNE, 2015.

Figura 13 - Amarração de estruturas – viga de sustentação.



Fonte: CRUZ, 2015.

Conforme citado por Doyle (1962), o processo de recozimento de arames pode ser dividido em três etapas: temperatura de pico, encharque e resfriamento.

2.2.2.1 Rampa de aquecimento

O forno de recozimento tipo campânula é aquecido através de resistências elétricas, partindo de temperatura ambiente até a temperatura de pico, aproximadamente 700 °C, esse processo de elevação da temperatura é chamado de rampa de aquecimento, e ocorre de forma lenta e contínua até que atinja a temperatura objetivada podendo durar entre quatro a oito horas, dependendo da temperatura inicial e da massa metálica existente dentro do forno. A temperatura de pico é identificada como a temperatura máxima do ambiente interno do forno. Nessa etapa, ocorre a injeção de gás nitrogênio no interior do forno e a expulsão do oxigênio, a fim de criar uma atmosfera não oxidante e evitando a reação de oxidação do aço durante o processo de recozimento de arames, pois quando a temperatura do aço fica acima de 400°C, a penetração do oxigênio em sua superfície é maior e inicia uma reação entre o Oxigênio (O) e o Ferro (Fe), formando uma camada de óxido de ferro na superfície do aço. A camada de óxido de ferro pode ser chamada também de “carepa” e é considerada uma característica superficial não aceita pelos clientes.

Para evitar essa formação de carepa, a atmosfera dentro do forno é controlada através da vazão de nitrogênio, controlada por rotâmetros.

2.2.2.2 Encharque

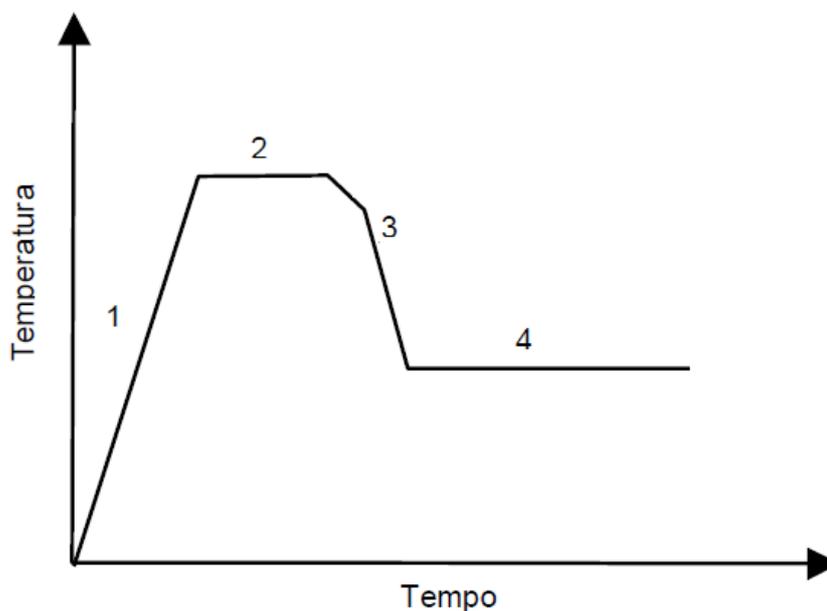
Define-se como manter todo o material na condição de encharcado, no caso do tratamento térmico de recozimento, refere-se ao tempo necessário para manter todo o material metálico na mesma condição de temperatura, ou seja, a temperatura deve ser igual na extremidade ou núcleo do material.

2.2.2.3 Resfriamento

O processo de resfriamento do aço é muito importante para aços com alto teor de carbono e aço microligados, pois existem inúmeros efeitos negativos à estrutura e qualidade final do produto, já para aços com baixo teor de carbono, o resfriamento é um parâmetro que não apresenta relevância quando se trata de resfriamento lento. A condição de resfriamento utilizada pela empresa em estudo é considerada lenta e satisfatória para qualidade final do produto.

A Figura 14 mostra o ciclo térmico do processo de recozimento temperatura *versus* tempo, onde (1) refere-se a rampa de aquecimento, (2) encharque e (3) resfriamento primário até 250°C e por fim (4) resfriamento até a temperatura ambiente.

Figura 14 - Ciclo térmico esquemático do processo de recozimento.



Fonte: Adaptado de Fernandes, 2007.

2.2.3 Operação do forno de recozimento

2.2.3.1 Receitas

As receitas são um conjunto de parâmetros estabelecidos para cada produto citado na Tabela 2, ou seja, para cada produto existe uma especificação quanto a temperatura de pico, tempo de encharque, volume de massa metálica máxima por ciclo de recozimento, temperatura de abertura parcial e total do forno. Essas receitas foram parametrizadas de acordo com a necessidade para cada produto e grau de encruamento, no entanto diversos parâmetros do processo encontram-se defasados, gerando perdas ao processo.

2.2.3.2 Funcionamento do forno de recozimento

A empresa possui dois fornos de recozimento do tipo campânula, chamados de Pyro 4 e Pyro 5. A Figura 15 mostra o forno Pyro 4 com abertura total de 45° e carregado com seis estocadores de aproximadamente uma tonelada cada um, o processo de movimentação de carga e descarga é realizado por uma empilhadeira.

Figura 15 - Forno Pyro 4 - carregado.



Fonte: Autor.

Para iniciar um ciclo de recozimento, os operadores selecionam no *software* supervisor a receita correta de acordo com o produto a ser recozido, conforme abordado no item 2.2.3.1 deste trabalho. Após selecionada a receita, o ciclo de recozimento é iniciado automaticamente com o acionamento das resistências elétricas e injeção de gás nitrogênio no interior do forno.

O monitoramento da temperatura do forno é realizado através de dois termopares tipo “K”, localizados no interior do forno na região superior da campânula. A leitura considerada pelo *software* equivale a média de temperatura dos dois termopares, e é através dessa temperatura que é controlado o ciclo de recozimento dos materiais (rampa de aquecimento, encharque, resfriamento e abertura parcial e total do forno).

A capacidade máxima do forno é de seis estocadores. O aquecimento do forno ocorre através de resistências elétricas que aquecem e realizam a transferência de calor por convecção e radiação para o material metálico. Existem dois circuladores de ar posicionados no topo do forno, ao qual possuem a função de promover a transferência de calor por convecção forçada, pois os circuladores retiram o calor das paredes do forno e projetam o calor para o centro do forno, devido ser a região mais crítica por possuir a menor temperatura no interior do forno, em função da distância para as resistências. A base e carcaça do forno são constituídas de material refratário para evitar a perda de calor.

Para acelerar o processo de resfriamento os fornos possuem doze tubos de resfriamento (trocador de calor) na região superior do forno, que têm a função de realizar a troca de calor entre o interior do forno e o meio, conforme pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 - Fornos Pyro 4 (esquerda) e Pyro 5 (direita).



Fonte: Autor.

O processo de carga e descarga do forno é chamado de *poweroff*, é uma atividade que demanda tempo e cuidados, pois é uma atividade manual e é realizada por dois operadores, um operador de empilhadeira e um operador balizador de carga. O tempo médio atual para a realização da troca dos materiais do forno é de trinta minutos, tempo relativamente elevado e que faz com que a temperatura residual do forno reduza consideravelmente, retardando a rampa de aquecimento do próximo ciclo de recozimento.

3 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, será apresentado a aplicação da metodologia PDCA e as ferramentas utilizadas para a realização da melhoria no processo de recozimento de arames.

3.1 PLANEJAMENTO (*PLAN*)

A fase de planejamento é uma das atividades mais importantes do projeto a se executar, pois é nela que serão observados os problemas, a análise dos resultados atuais e a definição do plano de ação com responsáveis e prazos.

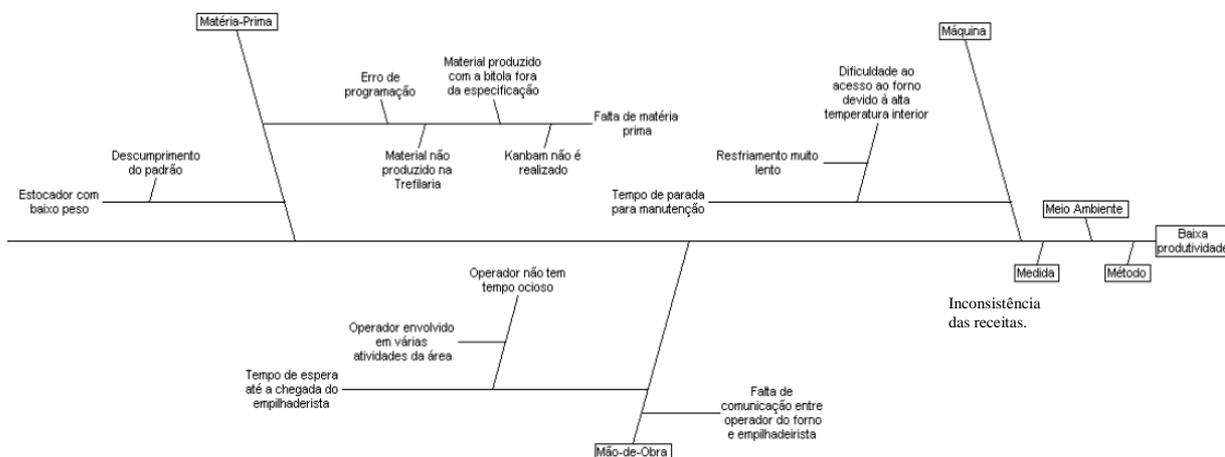
Esse item será dividido em quatro etapas: identificação, observação, análise e plano de ação.

3.1.1 Identificação

Para a identificação dos problemas que impactam no objetivo de aumentar a capacidade de produção do arame recozido foram utilizadas duas ferramentas de qualidade, diagrama de causa e efeito (diagrama de *Ishikawa*) e diagrama de Pareto. Optou-se em utilizar essas ferramentas em conjunto pois o Ishikawa nos mostrará as interrupções associadas a percepção da equipe operacional no chão de fábrica e o diagrama de Pareto nos mostrará as interrupções declaradas no sistema de controle de performance do Forno (sistema MES Trefilas).

Na Figura 17, pode-se verificar as possíveis causas levantadas que impactam no aumento da produção de arames recozidos, essa análise foi realizada com a equipe operacional da fábrica.

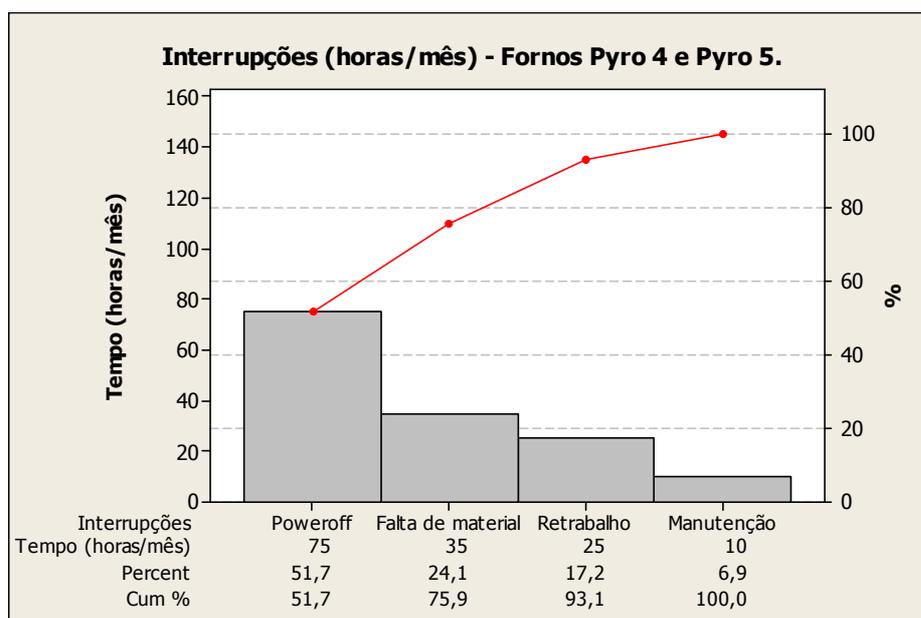
Figura 17 - Diagrama de Causa e Efeito – Ishikawa.



Fonte: Autor.

Na Figura 18, observa-se as principais interrupções registradas no sistema MES Trefilas, os resultados foram observados nos últimos seis meses. Verifica-se que as horas de *poweroff*, falta de material, retrabalho e manutenção, poderiam ser revertidas em horas de produção, pois ambas somam 145 horas de ociosidade nos fornos.

Figura 18 - Interrupções (horas/mês) - Fornos Pyro 4 e Pyro 5.



Fonte: Autor.

- *Poweroff* – tempo utilizado para retirada do material pronto e abastecimento do material a ser recozido, o valor médio para o *poweroff* de cada forno aponta valores entre vinte a sessenta minutos.
- Falta de material – tempo o qual o forno ficou ocioso devido a falta de material ou atraso na produção da etapa anterior.
- Retrabalhos – tempo utilizado para realização de reprocessamento do material recozido devido desclassificação por limite de resistência acima da faixa de especificação.
- Manutenção – tempo necessário para realização de manutenção corretiva.

Dentre os motivos apresentados, as principais interrupções que afetam o aumento da capacidade do forno de recozimento é o *poweroff* do forno, falta de material e retrabalhos (reprocessamento). O tempo de manutenção é dedicado para manutenções preventivas, logo, essas horas são consideradas no planejamento do forno.

Através do diagrama de Ishikawa visto na Figura 17, pode-se observar que existem inúmeras causas que afetam a desempenho do forno:

- *Poweroff*
 - Falta de material: trata-se de um atraso na etapa anterior (trefilação), o qual o forno é abastecido parcialmente e permanece ocioso até o término da trefilação da última bobina;
 - Falta de empilhadeira: empilhadeira ausente para descarga e carregamento do material no forno de recozimento;
 - Comunicação deficiente: Falta de comunicação entre operador do forno e operador de empilhadeira no momento que antecede o *poweroff*;
 - Falta de operador no horário sazonal: forno ocioso até operador do turno chegar e operacionalizar o *poweroff*.

- Falta de material
 - Peso abaixo do especificado: ocorrências frequentes de estocadores com peso abaixo do especificado;
 - Ociosidade do forno: fornos ficam ociosos devido baixa aderência ao atendimento as ordens de produção (programação) na etapa anterior (trefilação);
 - Organização dos materiais a recozer: materiais a recozer ficam distantes dos fornos de recozimento.

- Retrabalho / Reprocessamento
 - Reenformamento de materiais: necessidade de reprocessar os materiais nos fornos devido não atendimento as propriedades mecânicas do produto, pois algumas receitas de recozimento estão subdimensionadas;
 - Falhas de ciclo: Interrupções no ciclo de recozimento devido ocorrência de ruídos na linha de comunicação entre forno de recozimento e CLP;
 - Ineficiência na vedação do forno: observou-se que existe ineficiência na vedação das calhas nos fornos de recozimento (base do forno x base da campânula), conforme Figura 19.

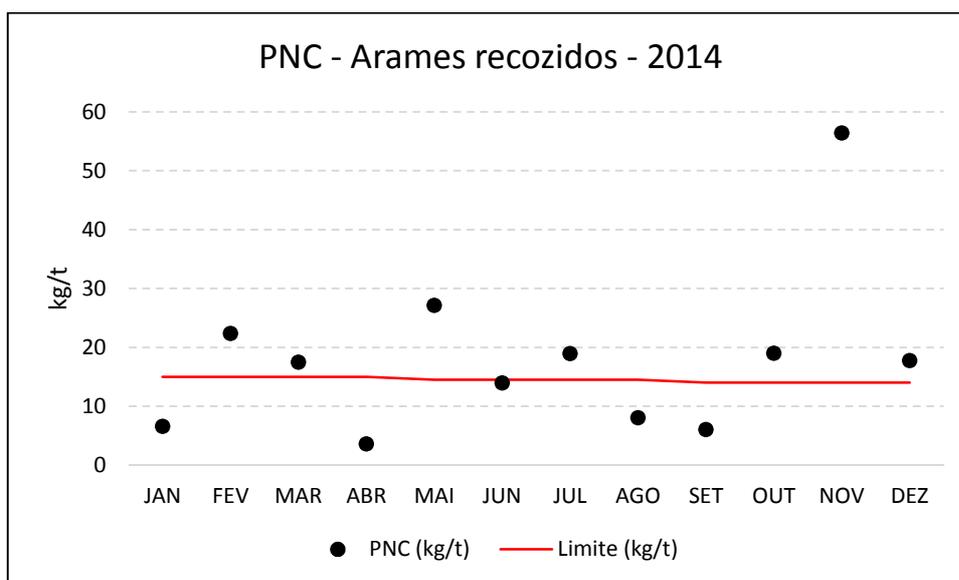
Figura 19 - Calhas de vedação - Fornos de Recozimento.



Fonte: Autor.

O Gráfico 1 mostra o desempenho operacional da célula recozimento, no indicador PNC, Produto não conforme, ao qual está diretamente associado a causa já levantada anteriormente como retrabalho/reprocessamento de material, pois todo o material que não atender as especificações de qualidade (limite de resistência), deverá ser bloqueado e reprocessado novamente nos fornos de recozimento.

Gráfico 1 - Produto não conforme - Célula Recozimento 2014.



Fonte: Autor.

3.1.2 Observação

A etapa de observação consiste em levantar os dados de uma forma aprofundada na parte de receitas de recozimento para cada produto, pois entende-se que o trabalho de identificação das interrupções na Figura 18 já desdobrará em uma série de ações na etapa de plano de ação do ciclo PDCA, também será abordado os tempos de *poweroff* para cada forno de recozimento.

As receitas de recozimento, atualmente, não possuem histórico dos parâmetros de temperatura e tempo definidos, razão pelo qual existe uma necessidade e expectativa da análise detalhadas das receitas.

Nesta etapa foram utilizadas as ferramentas Carta de controle e 5W1H para explorar alguns itens levantados no item 3.1.1 (Figura 17).

A Tabela 3 mostra o plano de ação gerado para a etapa de observação do planejamento.

Tabela 3 - 5W1H - Etapa observação do planejamento.

O que	Quem	Quando	Como	Onde	Porquê
Análise dos tempos de ciclo dos dois fornos para diferentes tipos de materiais.	Wolanin	10/01/15 a 30/01/15	Gerando os relatórios de performance dos fornos de recozimento.	Sistema MES Trefilas	Necessário conhecer de forma detalhada a condição atual.
Analisar temperaturas em distintos pontos dentro do forno por meio de termopares.	Jeferson	10/01/15 a 28/02/15	Serão colocados três termopares em 3 pontos distintos do forno (na superfície da carga) para monitorar a temperatura do material versus temperatura registrada pelo termopar do forno.	No forno Pyro 4	Este estudo visa descobrir qual a mínima temperatura que o material precisa para obter o recozimento pleno.
Comprar Termopares adicionais.	Wolanin	10/01/15 a 30/01/15	GGP	Sistema de compras.	Para termos termopares reservas.
Mensurar tempos de <i>poweroff</i> para os dois fornos de recozimento.	Jeferson	10/01/15 a 30/01/15	Relatórios de performance dos fornos de recozimento.	Sistema MES Trefilas	Para verificar os tempos de <i>poweroff</i> em cada forno.

Fonte: Autor.

Conforme comentado anteriormente, cada produto da Tabela 2 possui uma receita de recozimento variando tempo e temperatura de encharque. Porém observou-se que existem inconsistências entre as receitas de cada forno e em determinadas bitolas.

As receitas compreendem diferenças de tempo de encharque entre 90 minutos a 120 minutos e temperatura de encharque entre 700°C a 750°C.

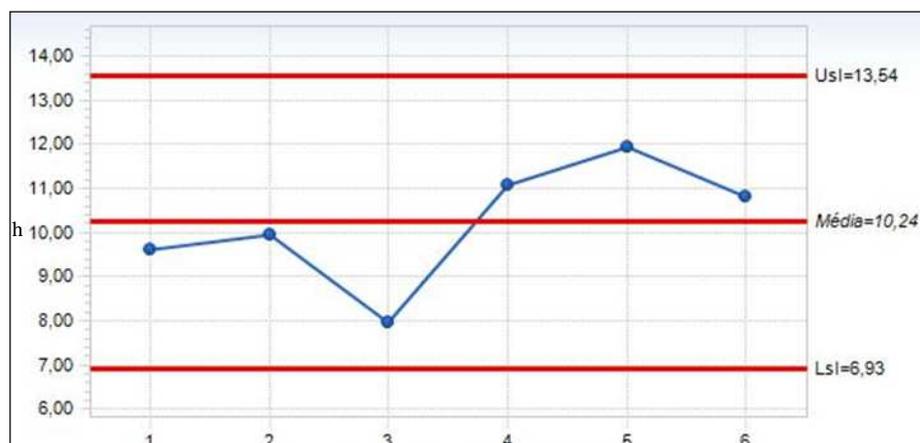
Os ciclos de recozimento para cada forno variam de 10 horas a 14 horas, conforme Gráficos 2, 3 e 4 para os produtos A, B e C. Por questões estratégicas, a performance de cada produto não será descrita de forma clara e sim em forma de letras (A, B e C), e serão citados apenas três produtos dos seis produzidos.

Gráfico 2 - Tempo (horas) de ciclo do produto A.



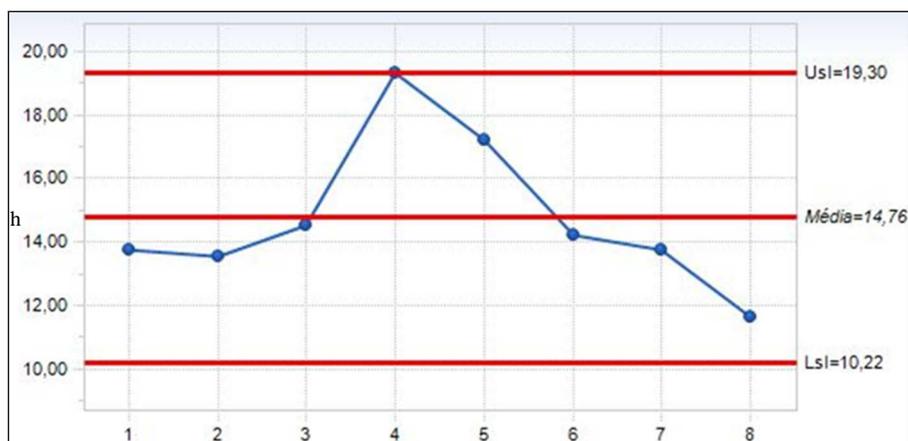
Fonte: Autor

Gráfico 3 - Tempo (horas) de ciclo do produto B.



Fonte: Autor

Gráfico 4 – Tempo (horas) de ciclo do produto C.



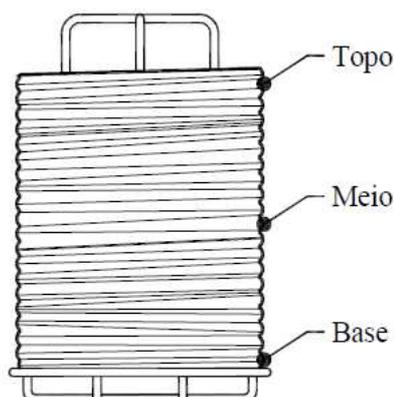
Fonte: Autor

Com base nas informações obtidas para os produtos A, B e C, foi verificado a necessidade de se otimizar as receitas para que se obtenha um ciclo ideal garantindo o atendimento as especificações do produto no menor tempo de ciclo possível.

Os resultados dos Gráficos 2, 3 e 4 compreendem o período de junho a dezembro de 2014.

Seguindo a ação citada na Tabela 3, verificou-se também a variação de temperatura mensurada pelos termopares do forno em relação a temperatura real na superfície do material na região inferior (base) e superior (topo) do material, conforme Figura 20.

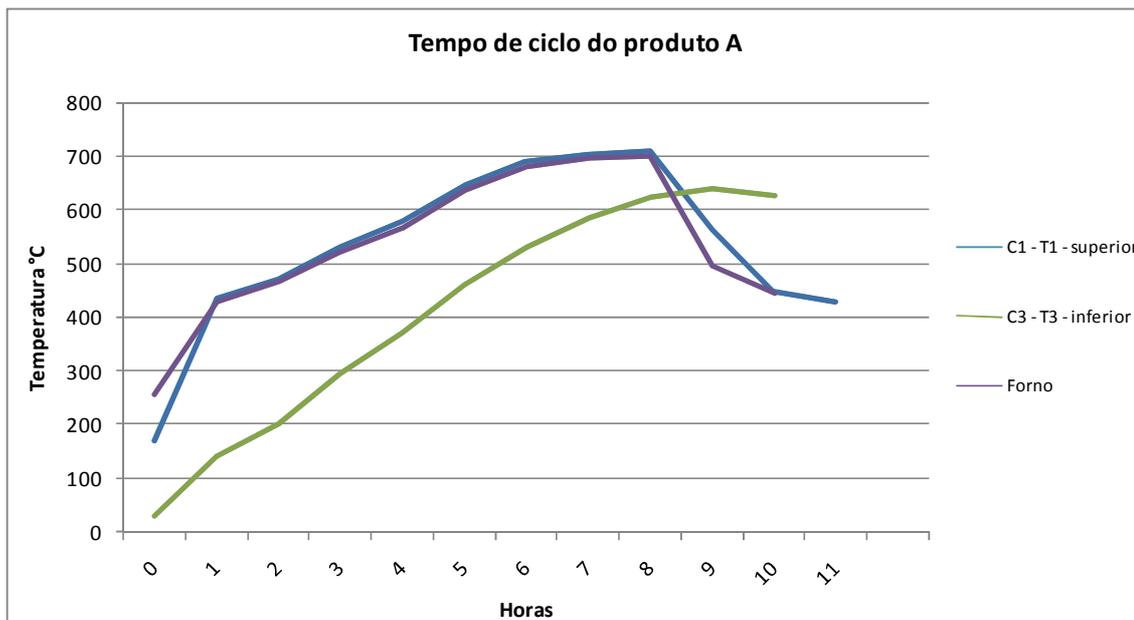
Figura 20 - Material (estocador) - região de fixação dos termopares.



Fonte: Autor

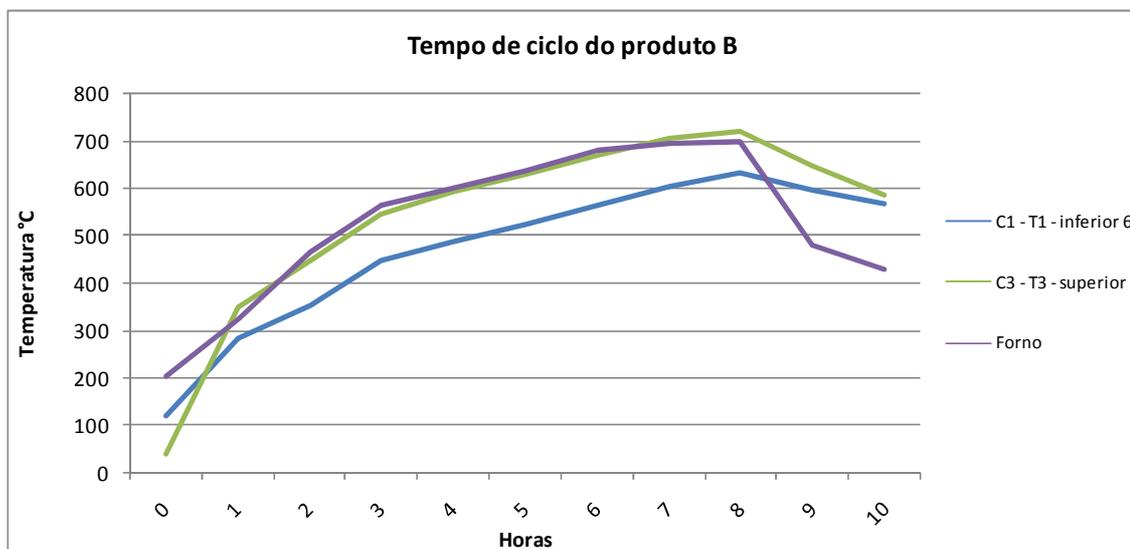
Os Gráficos 5, 6 e 7 indicam as curvas de temperatura dos produtos A, B e C durante o ciclo de recozimento de um carregamento do forno na condição normal, para cada gráfico existem três curvas: curva na região superior do material, curva na região inferior (região crítica) do material e a curva do termopar do forno.

Gráfico 5 – Tempo de ciclo do produto A.



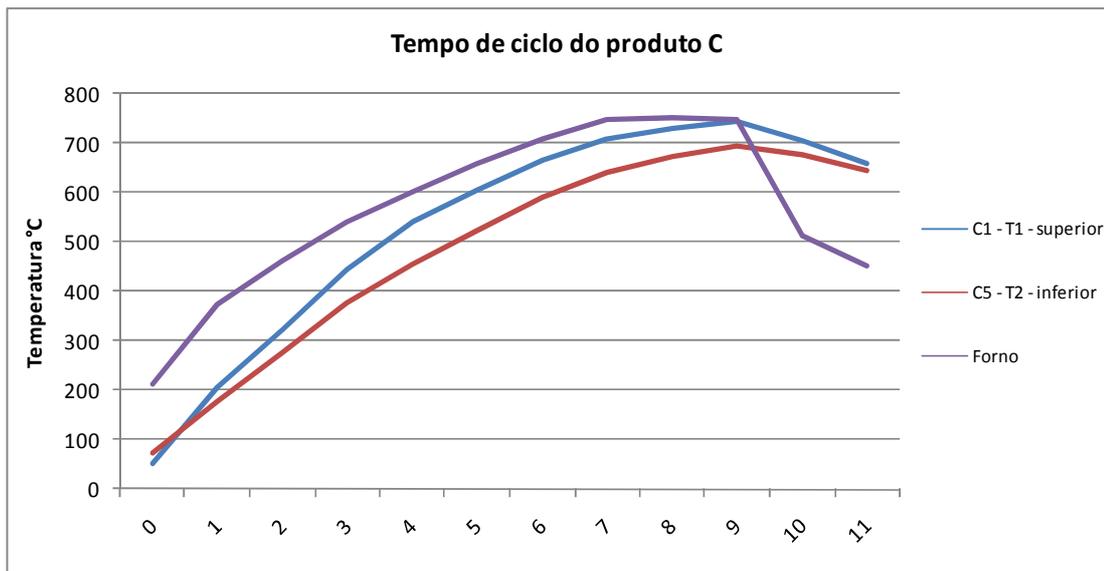
Fonte: Autor

Gráfico 6 - Tempo de ciclo do produto B.



Fonte: Autor

Gráfico 7 - Tempo de ciclo do produto C.

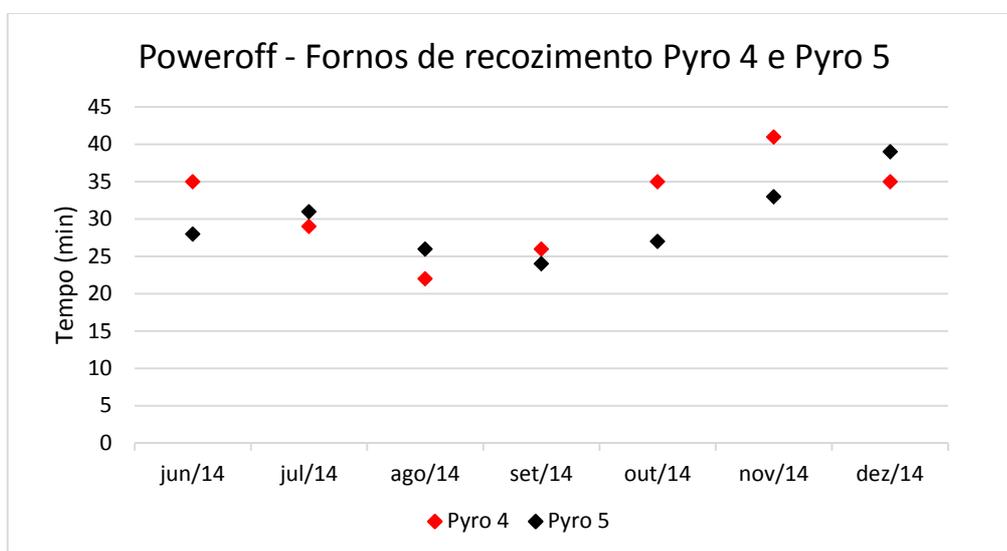


Fonte: Autor

Observa-se que existe diferença de 50°C a 80°C entre a temperatura da região superior (topo) e região crítica (base) do material, mesmo assim, as especificações técnicas do produto vêm sendo atendidas.

O Gráfico 8 mostra os tempos de *poweroff* para os fornos de recozimento Pyro 4 e Pyro 5, essa análise está associada a Figura 18, ao qual a interrupção *poweroff* representa 75 horas de forno parado por mês.

Gráfico 8 - Poweroff - Fornos de recozimento Pyro 4 e Pyro 5.



Fonte: Autor

Observa-se que os tempos de *poweroff* para ambos os fornos possuem um comportamento similar a cada mês, a média mensal de *poweroff* obtida foi de ± 30 minutos por ciclo de carga e descarga do forno.

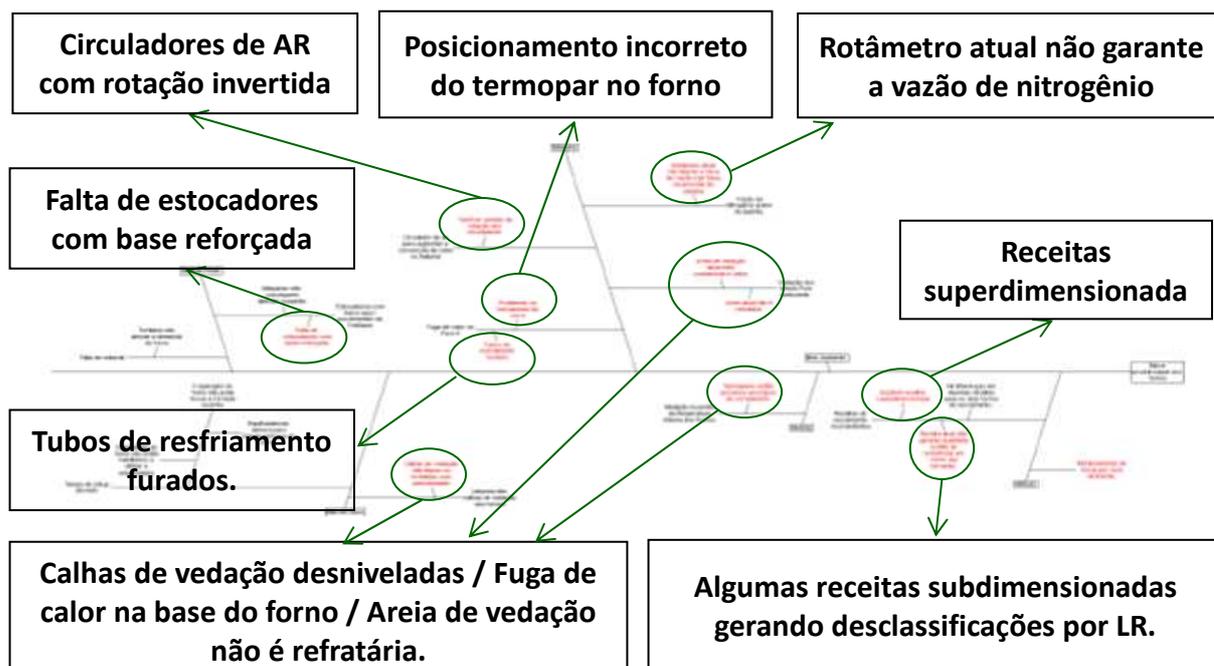
Os valores de *poweroff* mostrados no Gráfico 8 compreendem o período de junho a dezembro de 2014.

3.1.3 Análise

Nesta etapa, foram utilizadas duas ferramentas de qualidade para orientar a análise do processo na obtenção de elevar a capacidade de produção dos fornos de recozimento, sendo o diagrama de Ishikawa, realizado com a equipe operacional, mantenedores e liderança da fábrica e a ferramenta matriz GUT, realizado com a equipe mantenedora e liderança da fábrica.

A Figura 21 mostra o diagrama de Ishikawa realizado na terceira etapa do planejamento, foram destacadas as causas fundamentais para melhor visualização do diagrama.

Figura 21 – Diagrama de causa e efeito – Etapa Análise.



A Tabela 4 mostra a matriz GUT, associada a cada causa fundamental destacada na Figura 21, essa matriz será importante na etapa do plano de ação, pois o resultado da pontuação indicará a prioridade e relevância da ação associada a cada causa fundamental.

Tabela 4 - Matriz GUT (gravidade x urgência x tendência).

CAUSA	Gravidade			Urgência			Tendência			TOTAL
	A	M	B	A	M	B	A	M	B	
Existem receitas superdimensionadas	5			5			5			125
Circuladores de Ar com rotação invertida	5			5				3		75
Calhas de vedação desniveladas	5			5				3		75
Falta de estocadores com base reforçada		3		5				3		45
Posicionamento incorreto do termopar no forno	5	3		5				3		75
Fuga de calor na base do forno	5				3		3			45
Existem receitas subdimensionadas	5				3			3		45
Areia de vedação não é refratária		3			3			3		27
Tubos de resfriamento furados	5				3				1	15
Rotâmetro atual não garante a vazão de nitrogênio			1		3				1	3
Areia de vedação está velha			1			1			1	1
Monitoramento de horas por ciclo deficiente			1			1			1	1
LEGENDA: A=ALTO / M=MÉDIO / B=BAIXO										

Fonte: Autor

3.1.4 Plano de Ação

Após a identificação, observação e análise da condição atual do processo, chega o momento de se confeccionar o plano de ação utilizando a ferramenta 5W1H para que as oportunidades levantadas, sejam realizadas e concluídas conforme planejamento e definição de prioridades observados na Tabela 4.

A Tabela 5 mostra o plano de ação gerado nessa 4ª etapa do planejamento do ciclo PDCA.

Tabela 5 - 5W1H - Etapa plano de ação do planejamento.

O que	Quem	Quando	Como	Onde	Porquê
Corrigir e otimizar as receitas de recozimentos para todos os produtos fabricados nos fornos.	Wolanin	01/03/15 a 30/03/15	Analisando todas as receitas (BWG 8 ao 18) através de gráficos de acompanhamento real do ciclo com auxílio de termopares individuais fixados nos pontos críticos da carga, a fim de analisar cada ciclo e ajustar o tempo de permanência na temperatura de encharque e a temperatura de pico.	Fornos Pyro 4 e 5	Para adequar as receitas e reduzir Tempo (horas) por ciclo de recozimento.
Dimensionar número de estocadores (base reforçada) para a cadeia do recozimento.	Jeferson	01/03/15 a 30/03/15	Realizando o levantamento do número de estocadores necessários para garantir a cadeia (trefilação / amarração) do recozimento.	Célula operacional	Para evitar paradas do forno, devido à falta de estocadores.
Corrigir sentido de rotação dos circuladores dos fornos.	Daniel	10/03/15 a 20/03/15	Realizando acionamento manual do circulador de ar.	Fornos Pyro 4 e 5	Melhorar circulação de ar quente dentro do forno (convecção Forçada).
Buscar no mercado novos fornecedores de areia refratária.	Wolanin	10/03/15 a 20/03/15	Desenvolvendo novo fornecedor para aplicação da areia como material isolante térmico.	Fornos Pyro 4 e 5	Melhorar a vedação dos fornos e impedir a contaminação com Ar.
Realizar troca da areia atual pela areia refratária.	Jeferson	10/04/15 a 15/04/15	Removendo a areia antiga das calhas de vedação e repondo com areia refratária.	Fornos Pyro 4 e 5	Melhorar a vedação dos fornos e impedir a contaminação com Ar.
Alterar posição dos termopares no forno.	Daniel	25/03/15 a 10/04/15	Realizando o ajuste da posição do termopar (aproximar 10 cm da carga e afastar 10cm dos tubos de resfriamento).	Fornos Pyro 4 e 5	Para aproximar as temperaturas (real forno vs temperatura material).

O que	Quem	Quando	Como	Onde	Porquê
Limpeza periódica das calhas de vedação	Wolanin	25/03/15 a 05/04/15	Procedimentar a verificação periódica das calhas de vedação dos fornos.	Fornos Pyro 4 e 5	Para evitar a degradação da areia refratária.
Comprar e instalar rotâmetros para controle da vazão de nitrogênio.	Daniel	20/03/15 a 15/04/15	Realizando a substituição dos rotâmetros atuais.	Fornos Pyro 4 e 5	Para garantir o controle de vazão de Nitrogênio e reduzindo consumo de Nitrogênio.
Realizar reparo corretivo nos tubos de resfriamento dos fornos.	Daniel	20/03/15 a 15/04/15	Realizando manutenção corretiva, soldando uma chapa no tubo.	Fornos Pyro 4 e 5	Evitar perda de nitrogênio, eficiência térmica e contaminação da atmosfera do forno com o Ar.
Corrigir ruído eletrônico na comunicação entre forno e CLP.	Daniel	20/03/15 a 15/04/15	Instalar um filtro de linha para absorver ruídos na comunicação.	Fornos Pyro 4 e 5	Para evitar interrupção no ciclo do forno.
Tratar as falhas referente a falta de material observadas no item 3.1.1.	Wolanin	10/02/15 a 20/03/15	Verificar as causas levantadas e agir para eliminar ou reduzir.	Fornos Pyro 4 e 5	Representam 24% de interrupção do total das interrupções do forno.
Tratar as falhas referente a <i>poweroff</i> observadas no item 3.1.1.	Wolanin	20/03/15 a 05/04/15	Verificar as causas levantadas e agir para eliminar ou reduzir.	Fornos Pyro 4 e 5	Representam 51% de interrupção do total das interrupções do forno.

Fonte: Autor.

3.2 EXECUÇÃO (DO)

As ações descritas na Tabela 5 foram realizadas conforme planejamento, a Tabela 6 mostra a realização de cada ação.

Tabela 6 – Ações realizadas - etapa execução.

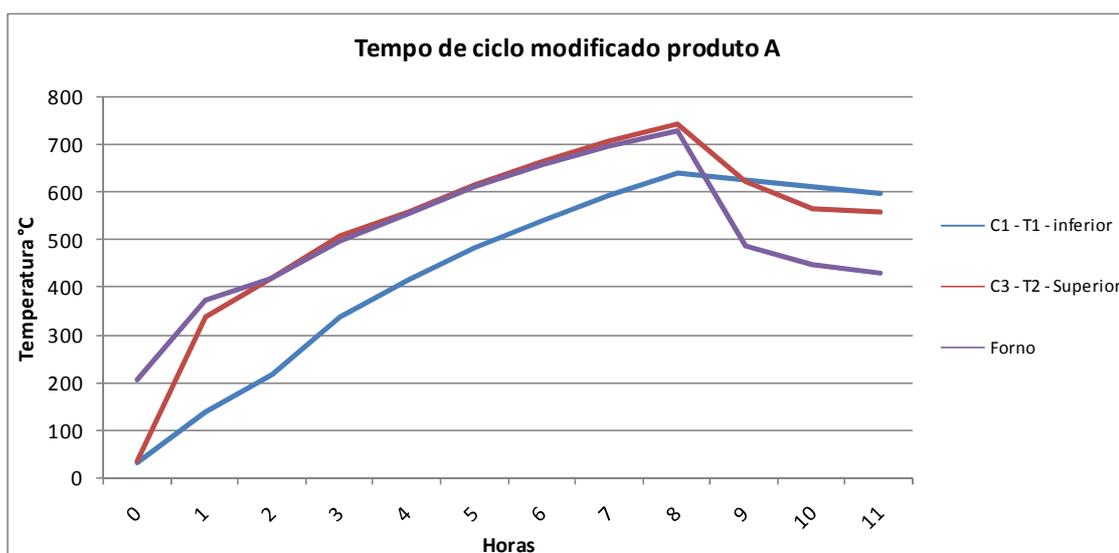
O que	Quem	Realizado
Corrigir e otimizar as receitas de recozimentos para todos os produtos fabricados nos fornos.	Wolanin	- Foram verificadas todas as receitas para os produtos fabricados no forno. - Havia parâmetros diferentes para o mesmo produto entre os dois fornos. - Realizou – se o acompanhamento com termopares individuais fixados na carga; - Realizou-se alguns testes a fim de reduzir o tempo de ciclo do forno: → Reduziu-se o tempo de encharque de alguns produtos (BWG 8, 10, 12, e 14); → Elevou-se a temperatura e tempo de encharque para o produto BWG 18 50kg. Ver detalhes no item 3.2.1.
Dimensionar número de estocadores (base reforçada) para a cadeia do recozimento.	Jeferson	- Foram comprados 76 estocadores para atender a demanda do recozido.
Corrigir sentido de rotação dos circuladores dos fornos.	Daniel	- Realizado o ajuste no sentido de rotação dos circuladores.
Buscar no mercado novos fornecedores de areia refratária.	Wolanin	- Fora adicionado nas calhas do Pyro 4 um novo tipo de areia "Carbotap EBT-A" – areia refratária a fim de elevar a eficiência de isolamento na base do forno. Ver detalhes no item 3.2.2.
Realizar troca da areia atual pela areia refratária.	Jeferson	- Areia específica - areia refratária. Ver detalhes no item 3.2.2.
Alterar posição dos termopares no forno.	Daniel	- Os termopares foram rebaixados em 10cm para medir a temperatura real do forno.
Limpeza periódica das calhas de vedação	Wolanin	- Criado diários de bordo que controlam a frequência das limpezas das calhas vedantes. Ver detalhes no item 3.2.2.
Comprar e instalar rotâmetros para controle da vazão de nitrogênio.	Daniel	- Rotômetros instalados nos dois fornos Pyro 4 e Pyro 5.
Realizar reparo corretivo nos tubos de resfriamento dos fornos.	Daniel	- Realizado o conserto dos furos dos tubos de resfriamento, chapas foram soldadas.
Corrigir ruído eletrônico na comunicação entre forno e CLP.	Daniel	- Instalado um filtro de linha para absorver ruídos na comunicação entre o forno e o CLP. Ver detalhes no item 3.2.3.
Tratar as falhas referente a falta de material observadas no item 3.1.1.	Wolanin	- Foi atuado em três causas: peso abaixo do especificado, ociosidade do forno e organização dos materiais a recozer. Ver detalhes no item 3.2.4.
Tratar as falhas referente a <i>poweroff</i> observadas no item 3.1.1.	Wolanin	- Foi atuado em três causas: falta de empilhadeira, falta de comunicação entre operadores e falta de operador no horário sazonal. Ver detalhes no item 3.2.5.

3.2.1 Otimização das receitas de recozimento

Este tópico abordará os testes realizados para otimizar as receitas de recozimento nos produtos A, B e C, de maneira que as propriedades mecânicas do material sejam atendidas em um menor tempo de ciclo.

Para o produto A, foi realizado um teste elevando a temperatura de recozimento e redução do tempo de encharque, o resultado obtido foi similar ao já praticado, conforme Gráfico 9.

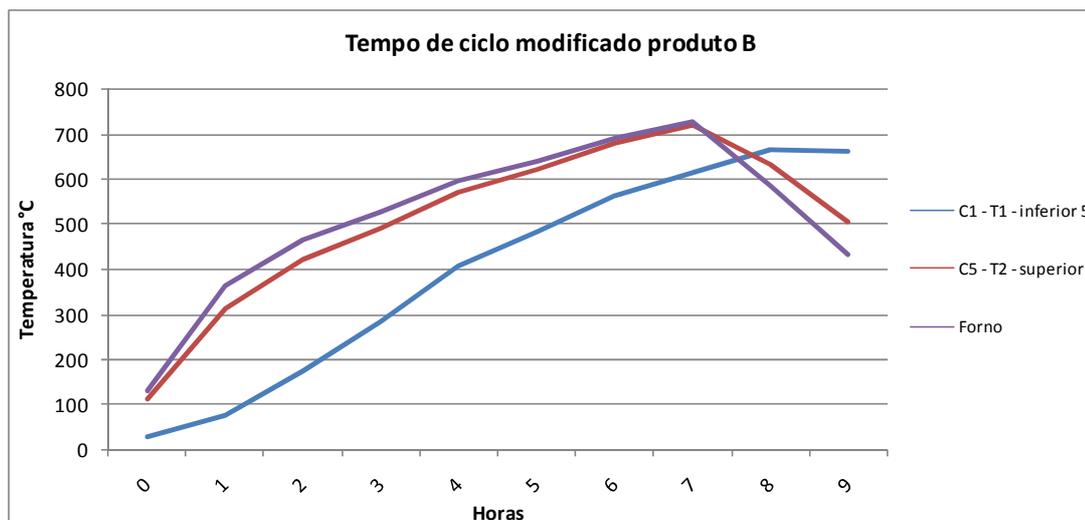
Gráfico 9 - Tempo de ciclo modificado produto A.



Fonte: Autor.

Para o produto B, foi realizado um teste elevando a temperatura de recozimento e redução do tempo de encharque, o resultado obtido foi o ganho de 1 hora, conforme Gráfico 10.

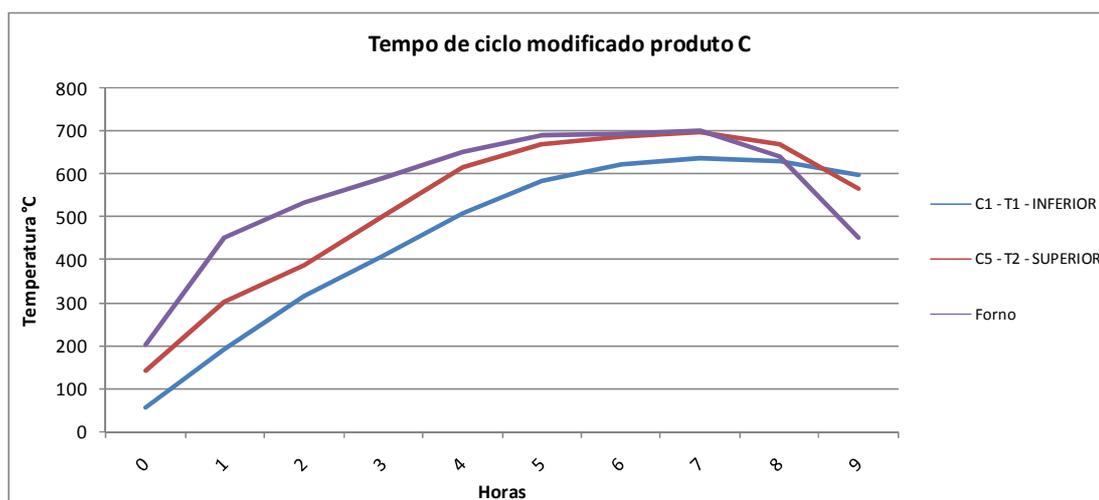
Gráfico 10 - Tempo de ciclo modificado produto B.



Fonte: Autor.

Para o produto C, foi realizado um teste reduzindo a temperatura de recozimento e reduzindo o tempo de encharque, o resultado obtido foi o ganho de 2 horas, conforme Gráfico 11.

Gráfico 11 - Tempo de ciclo modificado produto C.



Fonte: Autor.

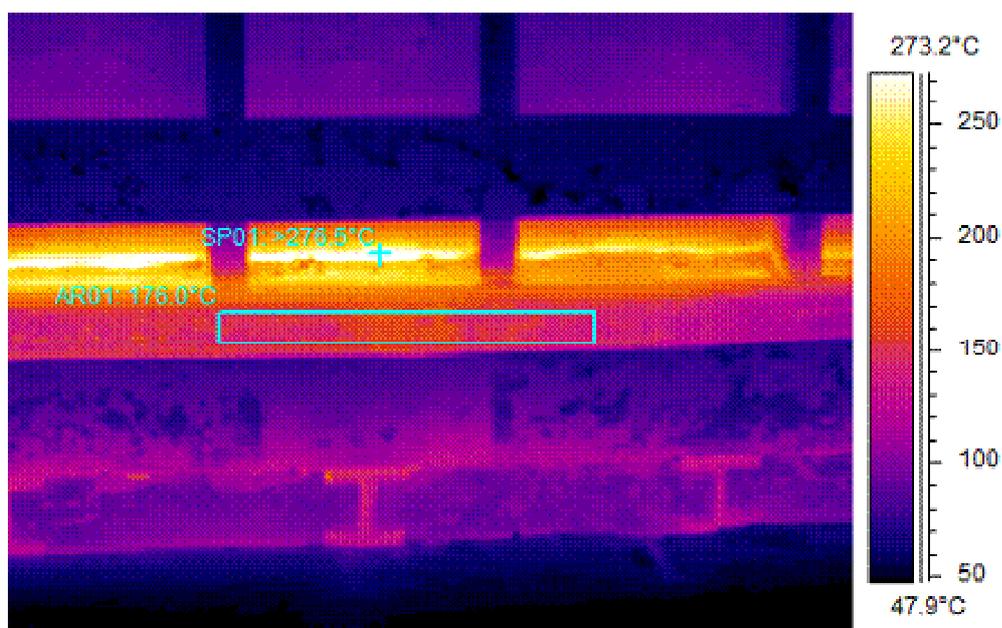
3.2.2 Vedação do forno

Conforme observado na Figura 19, os fornos de recozimento possuem calhas na base do forno que servem para promover a vedação total do forno, as calhas são preenchidas com areia para não haver choque mecânico entre a base e a estrutura da campânula. A areia utilizada atualmente era do tipo areia comum (construção civil), logo, constatou-se que existia perda de calor para o meio, entre a base do forno e base da campânula, então, definiu-se no planejamento a alteração desta areia comum por areia refratária.

Também foi criada uma rotina de inspeção e limpeza das calhas de vedação para promover a manutenção dessa condição que influencia na capacidade térmica do forno de recozimento.

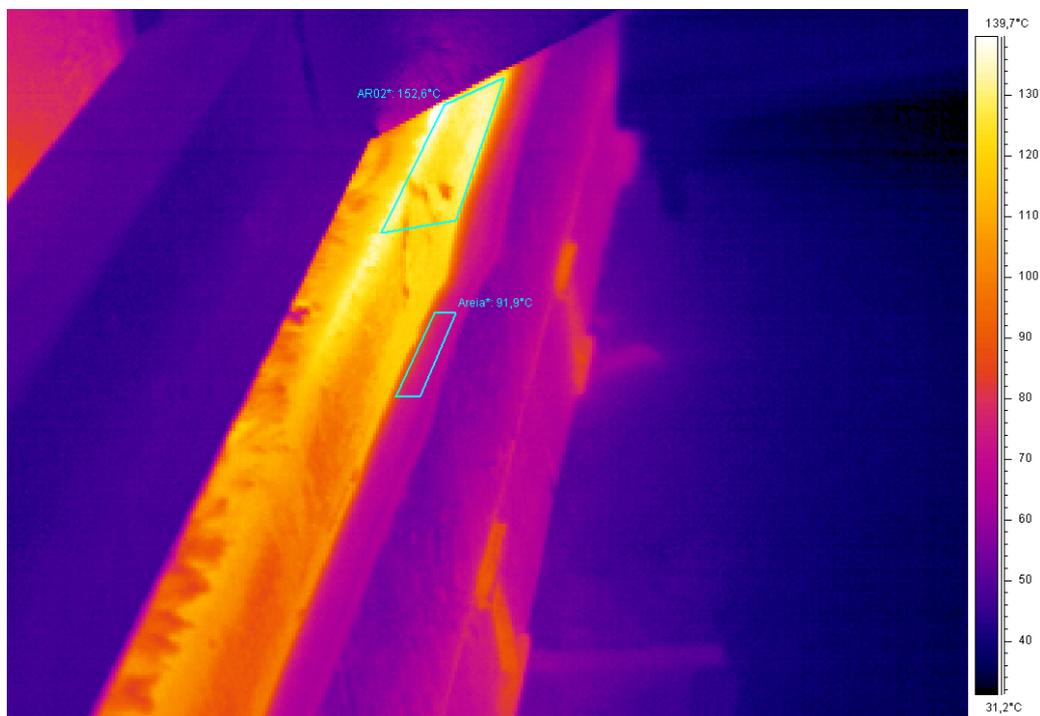
As Figuras 22 e 23 mostram a diferença térmica entre os dois tipos de areia utilizadas na região das calhas de vedação do forno.

Figura 22 - Termografia Forno a 700°C - Areia comum em 180°C.



Fonte: Autor.

Figura 23 - Termografia Forno a 700°C - Areia comum em 92°C.



Fonte: Autor.

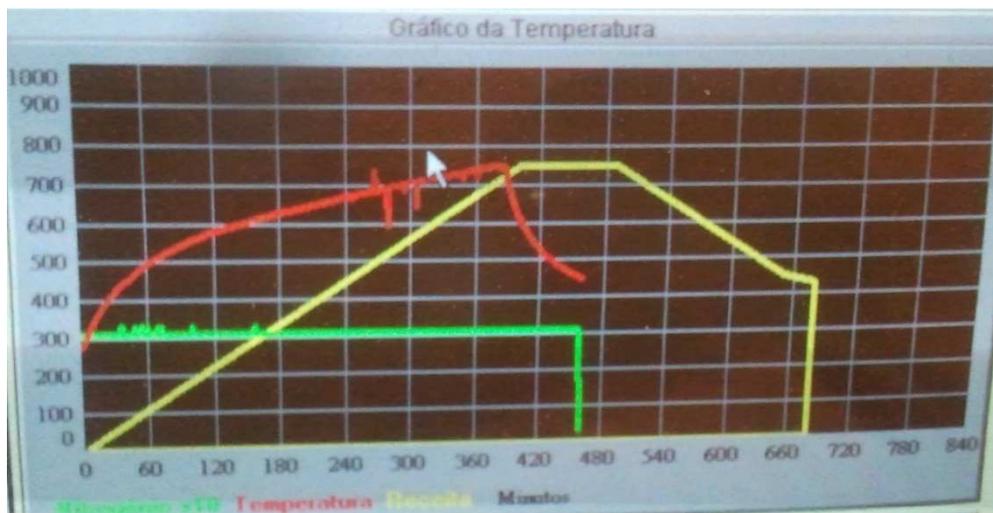
3.2.3 Falhas de ciclo

Conforme citado no item 3.1.1, onde um dos problemas de interrupção do forno era o retrabalho, foi evidenciado que uma das causas deste retrabalho estava relacionado ao encerramento prematuro do ciclo de recozimento devido ao start do timer do tempo de encharque disparar antes da temperatura real do forno.

Esse disparo falso ocorria devido a presença de ruído nas linhas de comunicação dos termopares do forno com o CLP (Controlador Lógico Programável), logo, dependendo do sinal recebido (ruído), o sistema reconhecia que o forno havia atingido sua temperatura máxima de encharque e iniciava o timer para tempo de encharque sendo que a temperatura poderia estar abaixo da temperatura especificada.

A Figura 24 ilustra um exemplo de ruído registrado durante o ciclo de recozimento de um material qualquer, a linha em vermelho representa a temperatura real do forno, devido a ocorrência dos ruídos (oscilação) o timer foi ativado duas horas antes de alcançar a temperatura real de 725 °C, logo, o ciclo de recozimento não aderiu a curva de recozimento planejada para o material.

Figura 24 - Exemplo de ruído Forno de Recozimento.



Fonte: Autor.

Para resolver essa falha, fora adicionado um dispositivo eletrônico para filtrar o ruído no sinal na rede de comunicação.

3.2.4 Falta de material

Conforme citado no item 3.1.1, onde um dos problemas de interrupção do forno era a falta de material, e que representava 24% do total de horas de interrupção do forno, foram realizadas algumas ações com base no diagrama de Ishikawa da Figura 17.

- Peso abaixo do especificado: foi revisado a especificação do material a recozer para que esse apresente um valor padrão em quilograma por

peça. Valores abaixo do especificado devem ser tratados conforme sistema de gestão de falhas da área.

- Ociosidade do forno: a cadeia de produção do arame recozido foi revisada junto a equipe de programação a fim de corrigir os tempos de produção do arame trefilado e passar os novos valores de ciclo de recozimento para cada produto. Essa alteração visa disponibilizar o material a recozer seis horas antes do forno abrir para novo ciclo de recozimento.
- Organização dos materiais a recozer: alguns aspectos de layout foram avaliados e alterados, no entanto, essa ação está focada no comprometimento da operação quanto a organização do estoque de materiais a recozer, a fim de obter melhor eficiência na descarga e carregamento do forno, conforme pode se observar na Figura 25, o material (lado esquerdo) a recozer está devidamente organizado aguardando o forno abrir para ser carregado.

Figura 25 - Estocadores (lado esquerdo) a recozer e empilhadeira para movimentação do material.



Fonte: Autor.

3.2.5 Poweroff

Conforme citado no item 3.1.1, onde um dos problemas de interrupção do forno era o *poweroff*, e que representava 51% do total de horas de interrupção do forno, foram realizadas algumas ações com base no diagrama de Ishikawa da Figura 17.

- Falta de empilhadeira: foi definido uma empilhadeira cativa somente para movimentar o material (remoção e abastecimento), conforme já observado na Figura 17.
- Falta de comunicação entre operadores: foi disponibilizado um ramal móvel para o operador do forno comunicar-se imediatamente com o operador da empilhadeira.
- Falta de operador no horário sazonal: caso o forno necessite de intervenção no horário sazonal, uma pessoa de outro setor da área será responsável por descarregar e carregar os produtos no forno (operação padronizada).

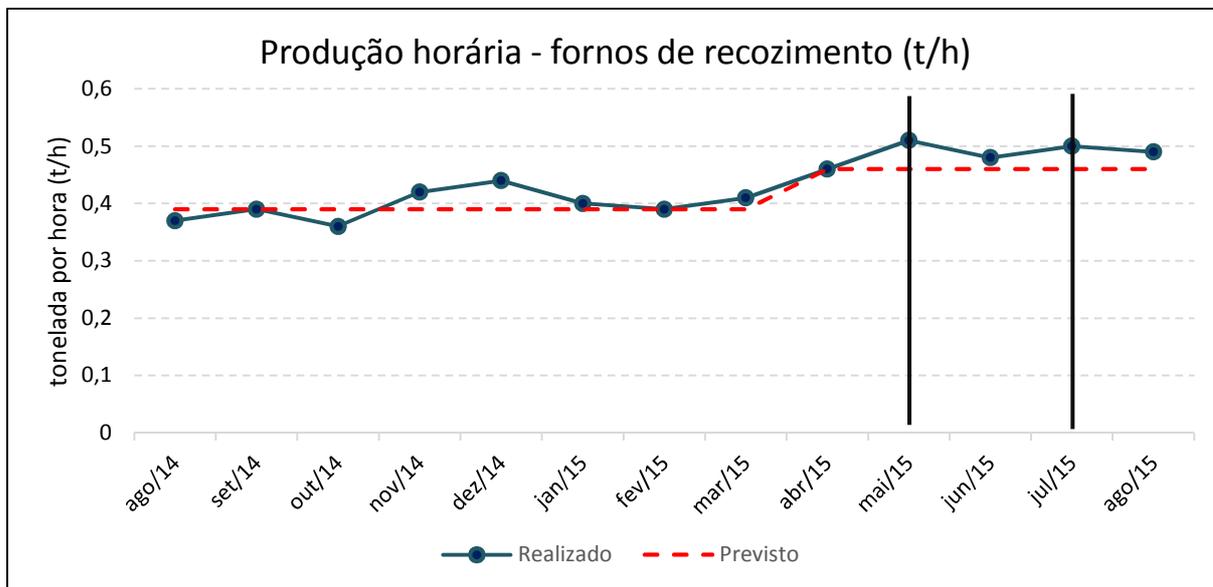
3.3 VERIFICAÇÃO (CHECK)

A verificação do projeto foi realizada considerando três indicadores, produção horária dos fornos de recozimento, ou seja, tonelada produzida por hora, PNC (Produto não conforme) mensal, esse indicador nos traz a leitura da situação do reprocesso do material e *poweroff* que se refere ao tempo médio mensal de carga e descarga do forno.

O período de verificação compreendeu os meses maio, junho e julho, pois a última ação foi concluída em 15 de abril deste ano.

O Gráfico 12 mostra a evolução da produção horária dos fornos de recozimento após a conclusão da fase 3.2 (Execução).

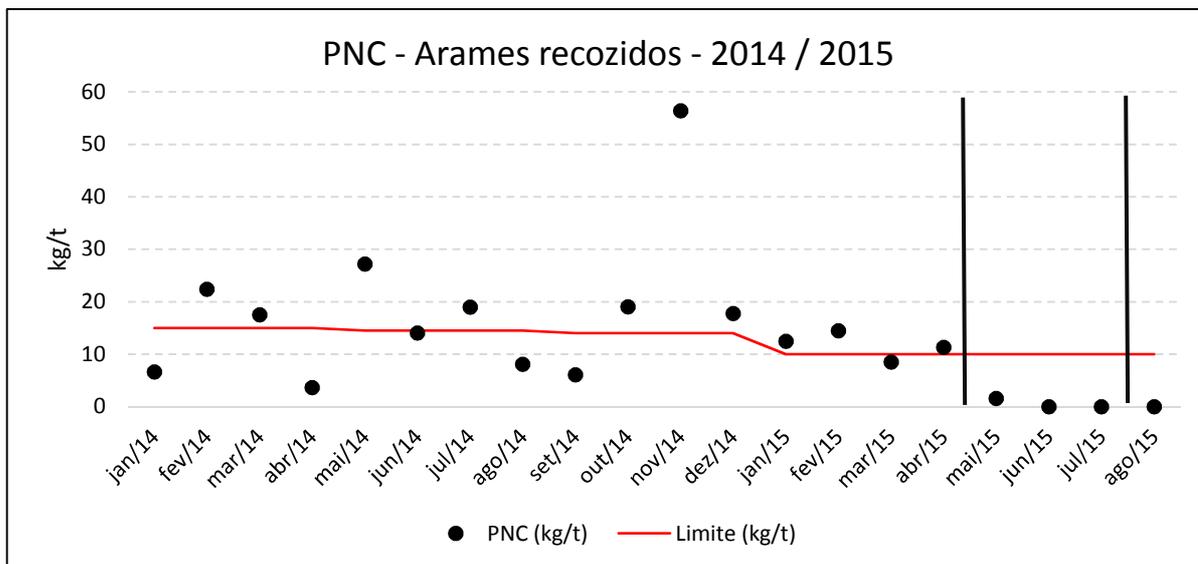
Gráfico 12 - Produção horária dos Fornos Pyro 4 e Pyro 5.



Fonte: Autor.

O Gráfico 13 mostra a redução do PNC referente aos fornos de recozimento após conclusão da fase 3.2 (Execução).

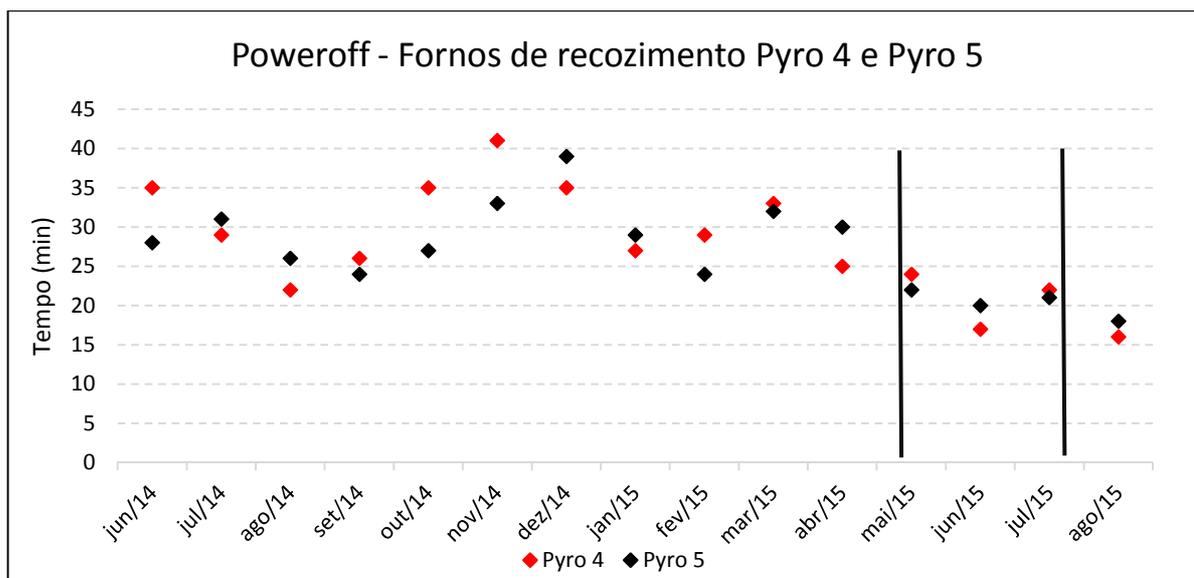
Gráfico 13 - Produto não conforme - Célula Recozimento 2014 / 2015.



Fonte: Autor.

O Gráfico 14 mostra a evolução do tempo de *poweroff* em minutos após conclusão da fase 3.2 (Execução), observa-se uma queda já nos meses anteriores ao período de verificação.

Gráfico 14 – Poweroff dos fornos de recozimento - Célula Recozimento 2014 / 2015.



Fonte: Autor.

3.4 AGIR (ACTION)

Esta fase consiste em replanejar alguma análise ou ação caso os resultados esperados não tenham sido atendidos. No item 3.3 deste trabalho, verificou-se que os três indicadores apresentaram evolução positiva que contribuiriam com o resultado de produção horária dos fornos de recozimento.

Devido não haver necessidade de replanejar ou ajustar qualquer cenário, utilizou-se essa fase para padronizar todos os parâmetros que foram alterados nos fornos de recozimento, como:

- Receitas de recozimento, temperatura e tempo de encharque;
- Ciclo de limpeza das calhas de vedação;

- Altura dos termopares dentro do forno;
- Permanência da empilhadeira cativa ao processo de recozimento;
- Condições ideais de trabalho para garantir o melhor tempo de *poweroff*;
- Quantidade de estocadores com base reforçada foi definida em procedimento;
- Condições ideais de trabalho para evitar a falta de material e ociosidade dos fornos de recozimento;
- Lista técnica e roteiros de produção foram ajustados junto a equipe de programação em função dos novos valores de produção horária.

No total, foram revisados dezenove padrões de rotina para adequar cada tópico acima citado.

4 RESULTADOS

A seguir serão mostrados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia PDCA no processo de tratamento térmico de arames, conforme observado no Capítulo 3 deste trabalho.

Otimização das receitas de recozimento:

- A otimização das receitas foi realizada nos produtos A, B e C e devido ao resultado obtido, essas alterações foram ampliadas aos demais produtos recozidos.
- O resultado obtido na otimização das receitas representou aproximadamente 12% na capacidade de produção total aumentada.

Poweroff

- Conforme observado no Gráfico 14, o tempo de *poweroff* médio em cada forno de recozimento apresentava valores entre 25 a 45 minutos. Com a realização das ações propostas, estes valores foram reduzidos para aproximadamente 20 minutos por ciclo de carregamento.
- Este valor de *poweroff* foi atualizado na lista técnica de todos os produtos para que o setor de programação de produção contemplasse esses valores na cadeia produtiva.

Falta de material

- Através do sistema de gestão de produção interno, verificou-se que os registros de peso de estocadores abaixo do especificado foram reduzidos consideravelmente a ponto de não impactar na capacidade de produção.
- O comprometimento da equipe operacional quanto a organização de materiais, representa uma parcela considerável no resultado deste

trabalho, o qual pode ser visualizado também no Gráfico 4 pois retrata a evolução no tempo de *powerff* do forno.

- Devido a revisão do volume de produção horária dos fornos, não fora evidenciado ociosidade dos fornos por falta de material.

Retrabalho / Reprocessamento

- Através do sistema de gestão de produção interno, verificou-se que não havia registros de reprocessamento de material devido não atendimento as especificações dos produtos recozidos, isso, após o período da implantação das ações.
- As falhas de ciclo de recozimento devido ao ruído (picos de flutuação de tensão) no sinal entre termopar e CLP, não ocorreram após a implantação do filtro de linha, conforme planejado.

A evolução total do trabalho, a qual reúne as ações realizadas no *poweroff*, retrabalho, falta de material e otimização de receitas de recozimento pode ser verificado nas Tabelas 7 e 8, antes e após o ciclo PDCA, respectivamente. Ambas representam o *mix* de produção dos fornos de recozimento levando em consideração o tempo de ciclo de cada família (A, B e C) e volume (t) de cada ciclo.

Tabela 7 - Mix de produção - Tempo (h) e Volume (t) – ANTES do projeto.

PRODUTO	Quantidade por ciclo (t)	Fornos	Dias no mês	Horas disponíveis no mês	Tempo de ciclo previsto com poweroff	Número de fornadas previstas	Volume mensal (t)	horas de forno
PRODUTO C	6	2	31	1464	12	3	18	36
PRODUTO C	6				12	7	42	84
PRODUTO C	6				12	12	72	144
PRODUTO C	6				12	3	18	36
PRODUTO C	6				12	10	60	120
PRODUTO C	6				12	10	60	120
PRODUTO B	5,4				12	5	27	60
PRODUTO B	5,4				12	10	54	120
PRODUTO A	4,5				12	34	153	408
PRODUTO A	4,62				12	22	101,64	264
PRODUTO C	6				12	6	36	72
TOTAL					122	641,64	1464	

Fonte: Autor.

Tabela 8 - Mix de produção - Tempo (h) e Volume (t) – DEPOIS do projeto.

PRODUTO	Quantidade por ciclo (t)	Fornos	Dias no mês	Horas disponíveis no mês	Tempo de ciclo previsto com poweroff	Número de fornadas previstas	Volume mensal (t)	horas de forno
PRODUTO C	6	2	31	1464	10	3	18	30
PRODUTO C	6				10	7	42	70
PRODUTO C	6				10	12	72	120
PRODUTO C	6				10	3	18	30
PRODUTO C	6				10	10	60	100
PRODUTO C	6				10	10	60	100
PRODUTO B	5,4				11	5	27	55
PRODUTO B	5,4				11	10	54	110
PRODUTO A	4,5				11,5	34	153	391
PRODUTO A	4,62				11,5	22	101,64	253
PRODUTO C	6				10	6	36	60
TOTAL								122

Fonte: Autor.

Com base na Tabela 8, onde o valor de horas disponíveis no mês refere-se a 1464 horas e o valor retornado de ocupação com o *mix* de produtos refere-se a 1319 horas, existem 145 horas livres, acrescentando 25 horas (retrabalho) e 35 horas (falta de material) que eram perdas mensais e convertendo essas horas em volume (t), obtêm-se um incremento de 103 toneladas mês.

O incremento mensal de 103t no processo de recozimento representa um ganho mensal de 16%, atendendo o objetivo inicial do projeto em elevar a capacidade de produção em 10%.

Além do aumento da capacidade de produção horária, obteve-se ganhos em:

- Qualidade do produto, devido redução do indicador PNC;
- Maior aderência ao atendimento as ordens de produção (atendimento ao cliente);
- Redução de perdas de processo (energia, gás nitrogênio, etc.);
- Conhecimento técnico referente ao processo de tratamento térmico de recozimento em fornos tipo campânula.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a aplicação do método PDCA para elevar a capacidade de produção de dois fornos de recozimento em uma siderúrgica de grande porte, o método foi aplicado seguindo as fases de planejamento, execução, verificação e de agir. Nas primeiras fases foram utilizadas ferramentas da qualidade como diagrama de Ishikawa e diagrama de Pareto para auxiliar nas análises do processo, a definição da priorização das ações foi auxiliada pela matriz GUT, e por fim, a definição do plano de ação de melhoria do processo.

Com a utilização do diagrama de Ishikawa pode-se conhecer as diversas e principais causas que afetavam na capacidade de produção dos fornos, no cenário macro da célula produtiva e também ao aplicar o diagrama especificamente nos fornos de recozimento.

A utilização do gráfico de Pareto mostrou claramente o problema de maior relevância e também o quanto este impactava em horas no final de cada mês, compreende-se de forma clara a representação dos problemas através desse diagrama ao invés de uma tabela.

Importante ressaltar que a ferramenta matriz GUT, embora pouco comentada ou utilizada de uma forma geral em projetos, se mostrou de forma eficaz e eficiente pois seguindo a metodologia, verifica-se que todas os problemas levantados e considerados importantes quanto ao impacto negativo do processo, nem sempre apresentam a mesma relevância de importância para solucioná-las, desta forma, a ferramenta auxiliar o gestor do projeto no direcionamento do recurso certo na intensidade adequada para solucioná-la.

Com a aplicação do método PDCA cada fase se apresenta de forma clara, objetiva e assertiva, as análises realizadas com a equipe operacional retornam com respostas e condições reais, que não se consegue extrair somente de sistemas, ou relatórios de produção.

Pode se observar que em relação ao resultado total do projeto, 10% refere-se a otimização das receitas de recozimento dos produtos, o restante foi distribuído entre ações realizadas no poweroff, falta de material, e retrabalho dos produtos.

Com a disponibilidade de 145 horas por mês, obtida pela otimização das receitas de recozimento, e acrescentando as horas, antes vistas como perdas no processo, de retrabalho 25 horas e falta de material 35 horas, obtêm-se um incremento mensal total de 205 horas disponíveis para novos ciclos de recozimento, no qual convertendo em produção (t) resulta em aproximadamente 103 toneladas mês.

O aumento da capacidade de produção representa um ganho financeiro considerável, o qual potencializa o índice de competitividade no mercado, associado ao ganho qualitativo devido ao melhor atendimento a clientes, devido evolução nas entregas desse produto para o segmento da construção civil.

Este aumento de capacidade de produção faz com que a empresa consiga suprir a demanda do mercado, podendo também prospectar novos clientes.

Com esse projeto foi possível mostrar que é possível elevar a capacidade de produção e a qualidade dos produtos, mesmo sem a necessidade de grandes investimentos.

Conclui-se que para aumentar a capacidade de produção do forno foi necessário seguir corretamente cada fase do ciclo PDCA, avaliar todo o cenário de produção, bem como: organização, equipe, matéria prima, receitas de recozimento, ruídos, poweroff, padronização, programação, movimentação, etc., pois cada dimensão apresenta um detalhe que se ajustado adequadamente impacta diretamente no resultado do projeto.

Em particular, o uso da metodologia apresentada pelo PDCA se mostrou eficaz, pois de forma intuitiva norteava as tomadas de ações, ou seja, e geração de conhecimento técnico e entendimento a cada reunião ou ação realizada.

REFERÊNCIAS

ABBAS, K.; POSSAMAI, O. **Proposta de uma sistemática de alocação de recursos em ativos intangíveis para a maximização da percepção da qualidade em serviços**. *Gestão & Produção*, v. 15, n. 3, p. 507-522, 2008.

ANDRADE, F.F.D. **O método de melhorias PDCA**. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil. Escola Politécnica. São Paulo, 2003.

BEZERRA, FILIPE. **Ciclo PDCA – Conceito e aplicação**, 2014. Disponível em <<http://www.portal-administracao.com/2014/08/ciclo-pdca-conceito-e-aplicacao.html>> Acessado em: 25 Ago. 2015.

BUTTON, S. T. **Trefilação: Programa de Educação Continuada**. São Paulo: ABM, 2001.

CAMPOS, V.F. **TQC: Controle da Qualidade Total no Estilo Japonês**. 2ª ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CHIAVERINI, VICENTE. **Tecnologia Mecânica**. 2ª Edição. Volume II. São Paulo. Editora McGraw-Hill Ltda, 1986.

COLPAERT, HUBERTUS. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. editora Edgard Blücher Ltda, 4ª edição, 2008.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA Carlos A. **Administração de Produção e Operações**, São Paulo, Atlas, 2004.

COSTA, Marcelo Amancio da. **EAD – Ferramentas da Qualidade**, São Paulo, 1994.

CRUZ, JOAQUIM. **Fixação de ferragens**, 2010. Disponível em <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/104/artigo-299324-1.aspx>> Acessado em: 07 Set. 2015.

FERNANDES, ROGÉRIO CARLOS OLIVEIRA. **Efeito da Temperatura de Encharque no Recozimento Contínuo e da Deformação na Laminação de**

Encruamento sobre as Propriedades Mecânicas de um Aço Microligado Laminado a Frio. UFMG Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, 2007.

FERREIRA, L. M. L. SANTOS, M. W. SILVA, M. G. MOREIRA, B. B. **Utilização do MASP, através do ciclo PDCA, para o tratamento do problema de altas taxas de mortalidade de aves no setor avícola,** Anais. XXX ENEGEP, 2010.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. Métodos e técnicas de pesquisa social 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994. 4ª edição. São Paulo: Atlas, 2007.

MARSHALL, JUNIOR, Isnard et al. **Gestão da Qualidade.** Rio de Janeiro. FGV, 2006.

MARTINS, Jonatas Campos, **Administração Industrial.** São Leopoldo. UNISINOS. 2013.

MIGUEL, P.A.C. **Qualidade: enfoques e ferramentas.** 1ª edição. São Paulo: Artliber, 2006.

PERIARD, GUSTAVO. **O Ciclo PDCA e a melhoria contínua,** 2011. Disponível em <<http://www.sobreadministracao.com/o-ciclo-pdca-deming-e-a-melhoria-continua/>> Acessado em: 25 Ago. 2015.

SCHEID, ADRIANO. **Curso Básico de Siderurgia.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p.3, 2010.

SEBRAE. **Programa MLT – Formação de multiplicadores para atuação no local de trabalho.** 2014. Disponível em < [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/49B285DDC24D11EF83257625007892D4/\\$File/NT00041F72.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/49B285DDC24D11EF83257625007892D4/$File/NT00041F72.pdf)> Acessado em: 04 Set. 2015.

SILVA, BRÁULIO WILKER. **Melhoria contínua e o ciclo PDCA,** 2010. Disponível em < <http://www.bwsconsultoria.com/2010/01/melhoria-continua-e-pdca.html>> Acessado em: 10 Set. 2015.

TÉCHNE, EDUCAÇÃO. **Preparo de armadura convencional,** 2010. Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/154/preparo-de-armadura-convencional->

montagem-antes-do-lancamento-do-concreto-285792-1.aspx> Acessado em: 07 Set. 2015.

TRIVIÑOS, A. N. S. **A pesquisa qualitativa em educação**. Introdução à pesquisa em ciências sociais. São Paulo: Atlas, 1987.

TUBINO, DALVINO FERRARI. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. 2ª edição. São Paulo, Atlas, 2009.

WERKEMA, Cristina. Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas. Campus, Editora Campus. 1ª edição. 2012.