

FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS

ALMIR ELIAS GUERRA

ASPERSÃO TÉRMICA APLICADA EM COMPONENTES METÁLICOS

BELO HORIZONTE

DEZEMBRO - 2010

ALMIR ELIAS GUERRA

ASPERSÃO TÉRMICA APLICADA EM COMPONENTES METÁLICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Engenharia do Produto

Orientador: Prof. Ms. Paulo Henrique Campos Prado Tavares

**BELO HORIZONTE
DEZEMBRO - 2010**



FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS

Instituto Educacional "Cândida de Souza"

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado *ASPERSÃO TÉRMICA APLICADA EM COMPONENTES METÁLICOS*, de autoria do aluno **Almir Elias Guerra**, aprovado pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Ms. Paulo Henrique Campos Prado Tavares
Orientador

Prof. Ms. Fabiano José dos Santos
Membro da Banca Examinadora

Prof. Ms. Paulo Marcelo Villani
Membro da Banca Examinadora

Belo Horizonte, 07 de dezembro de 2010

DEDICATÓRIA

Fonte de todo esforço realizado ao longo desta caminhada, este trabalho é dedicado aos meus Pais Antonio e Maura, pelo amor incondicional, me mantendo seguro de qual seja o obstáculo encontrado, permanecer firme na luta, pois o sucesso sempre prevalece adiante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus como Pai presente a todo instante nessa caminhada, me proporcionando sabedoria para enfrentar os momentos difíceis neste período de novo aprendizado;

A toda minha família, imensa gratidão pelo exemplo de vida, me tornando um homem seguro de todas as minhas ações, sempre confiante de que os sonhos bons devem sempre prosperar;

Aos amigos Paulo Roberto Carvalhaes, Saulo Assueres e Geraldo Magela Silva, agradecimento especial por participarem ativamente no desenvolvimento do tema, discussões e acompanhamento constante das etapas do experimento prático aplicado;

Ao meu orientador e amigo Prof. Ms. Paulo Henrique C. P. Tavares, pela sua dedicação, competência e apoio prestado para realização deste trabalho;

A FEAMIG e seus colaboradores, em especial ao Prof. Ms. Joéffisson Saldanha dos Santos pela disposição, grande conhecimento e importante acompanhamento para a concretização deste trabalho. Também a funcionária Fabiana Moreira, a orientadora pedagógica Adriana Castro e a bibliotecária Márcia Portes, por estarem presentes ao longo dessa pesquisa proporcionando constante incentivo;

Aos colegas da Instituição de ensino pelos anos de convívio, sempre aptos a compartilhar o seu conhecimento, o seu carisma. Em especial, agradeço imensamente ao amigo Edson dos Santos, por acrescentar o seu conhecimento neste estudo por meio as suas constantes análises críticas;

As empresas que muito contribuíram para a qualidade deste trabalho, empresas estas fornecedoras dos materiais, tratamento térmico e também usinagem dos corpos de prova. Em especial, agradeço a Rijeza Metalurgia e seus colaboradores que muito contribuíram para que esta pesquisa pudesse ter sido concluída conforme cronograma previsto.

*“Obstáculos são aquelas coisas assustadoras que você vê quando desvia os seus
olhos da sua meta.”*

Henry Ford

RESUMO

Este trabalho analisou a viabilidade técnica da aplicação do processo chamado aspersione térmica em componentes metálicos da indústria de refratários. Com o objetivo de aumentar a durabilidade dos componentes metálicos, a aspersione térmica é defendida pelo autor como a solução para o desgaste abrasivo, atual problema enfrentado na indústria de refratários. O Planejamento de Experimentos (Design of Experiments, DOE) foi adotado como ferramenta estatística usada para o planejamento dos experimentos desta pesquisa, portanto, variáveis, níveis e métodos foram definidos como uma forma de avaliar qual é a melhor solução viável para a empresa de estudo no desenvolvimento deste novo processo. Os experimentos foram realizados em componentes metálicos usando o aço ferramenta D6 e o aço carbono SAE 1045, com sua geometria cilíndrica e chata, aspersione térmica com espessura de 0,2mm e 0,4mm, bem como tratamento térmico com dureza diferenciada (menor e maior dureza), a fim de verificar a influência destes fatores na variável resposta (durabilidade do componente metálico em relação ao número de formatos produzidos). Neste cenário, considerando como variáveis principais o aço D6 e o aço SAE 1045, o melhor resultado foi observado no aço D6 (tanto na forma cilíndrica quanto chata), com camada de aspersione térmica igual a 0,2mm. Através dos principais fatores variáveis relacionados aos processos de fabricação dos componentes metálicos e também da aspersione térmica, houve 34% de redução na produção da empresa de estudo, observado os resultados comparados através de dados de sua produção anterior com o atual processo.

Palavras-chave: Aspersione térmica. DOE. Planejamento de experimentos.

ABSTRACT

This work analyzed the viability technique of the application of the process called thermal aspersion in metallic components the industry of refractory. Aiming at bigger durability of the metallic components, the thermal aspersion is defended by the author as the solution for the abrasive consuming, current problem faced in the industry of refractory. The Planning of Experiments (Design of Experiments, DOE), is adopted as tool statistics that justify the results found in the research, therefore, 0 variable, levels and methods had been defined as a form to evaluate which is the best viable solution for the company of study in the development of this new process. The practical experiments had been carried through in metallic components using the steel D6 tool and the steel carbon SAE 1045, with its cylindrical geometry and boat, thermal aspersion with thickness of 0,2mm and 0,4mm, as well as thermal treatment with differentiated hardness (lesser and bigger hardness), in order to verify the influence of these factors in the changeable reply (durability of the metallic component in relation to the number of produced formats). In this scene, considering as changeable main the D6 steel and the steel SAE 1045, optimum one resulted was observed in the D6 steel (in such a way in the cylindrical form how much boat), with layer of equal thermal aspersion 0,2mm. Through the main variable factors relating to manufacturing processes of metal components and also of thermal spraying, there was a 34% reduction in the production of the company studied, the observed results were compared using data from previous production with the current process.

Key-words: Thermal aspersion. DOE. Planning of experiments.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Principais critérios ao analisar um novo investimento.....	13
FIGURA 2: Tipos de processo.....	18
FIGURA 3: Critérios adotados na engenharia do produto.....	20
FIGURA 4: Modelo de Planejamento de Experimentos - DOE.....	21
FIGURA 5: Fases do tratamento térmico	25
FIGURA 6: Etapas da aspensão térmica	26
FIGURA 7: Principais soluções da aspensão térmica.....	27
FIGURA 8: Montagem da caixa na prensa – corpos de prova chatos.....	31
FIGURA 9: Montagem da caixa na prensa – corpos de prova cilíndricos	32
FIGURA 10: Corpos de prova – peças cilíndricas menos complexas	32
FIGURA 11: Corpos de prova – peças cilíndricas mais complexas	33
FIGURA 12: Corpos de prova – peças chatas menos complexas.....	33
FIGURA 13: Corpos de prova – peças chatas mais complexas.....	34
FIGURA 14: Equipamento processo aspensão térmica.....	36
FIGURA 15: Modelo de Prensa usada na pesquisa.....	36
FIGURA 16: O experimento do processo de produção – empresa de estudo	39
QUADRO 1: Análise dos resultados coletados - DOE	40
TABELA 1: Análise do custo do processo sem aspensão	43
TABELA 2: Análise do custo do processo com aspensão	43

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AISI – American Iron and Steel Institute.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

DOE – Design of Experiments.

HV – Vickers Hardness.

HVOF – High Velocity Oxygen Fuel.

PSI – Pound force per Square Inch.

SAE – Society of Automotive Engineers.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Contexto do problema.....	14
1.2 Problema de pesquisa.....	15
1.3 Pressupostos.....	15
1.4 Objetivos.....	16
1.4.1 Objetivo geral.....	16
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
1.5 Justificativa.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 Processo de produção.....	18
2.2 Um pouco da engenharia do produto.....	19
2.3 O planejamento de experimentos.....	20
2.4 Aços estudados.....	23
2.4.1 Aço Carbono SAE 1045.....	23
2.4.2 Aço para ferramentas – D6.....	24
2.5 Características do tratamento térmico.....	24
2.6 Características da aspensão térmica.....	25
2.6.1 Principais áreas de aplicação da aspensão térmica.....	27
3 METODOLOGIA.....	28
3.1 Níveis de pesquisa.....	28
3.2 Forma de abordagem.....	28
3.3 Procedimento técnico.....	29
3.4 Forma de coleta de dados.....	30
3.5 Universo da pesquisa.....	34
3.6 Tipos de amostra.....	35
3.7 Principais limitações da pesquisa.....	35
3.8 Equipamentos usados.....	35
3.9 A organização em estudo.....	37
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	38
5 CONCLUSÃO.....	45
5.1 Proposta para trabalhos futuros.....	45
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

No atual cenário econômico, as empresas buscam alternativas que possam maximizar seus resultados, torná-las competitivas e com forte presença no setor de atuação. Visando este constante desenvolvimento, faz-se necessária a constante adoção de projetos de melhorias dos processos de produção como formas de se destacarem mais no mercado. Este destaque pode ser feito por meio de análises bem estruturadas do investimento inicial, observando quais as melhores práticas a serem adotadas diante da busca de soluções em prol de sua sustentabilidade econômica.



FIGURA 1: Principais critérios ao analisar um novo investimento
Fonte: O autor, 2010.

A busca de soluções que sejam viáveis para a Organização, implica em mudança imediata nos processos de produção em exercício. Dessa forma, tais mudanças deverão trazer bons resultados para o investidor, desde que adotadas análises eficientes sobre o que se pretende investir, adotando um bom planejamento de todas as atividades inseridas nas etapas do investimento desejado. Neste caso, é de extrema importância o amplo conhecimento do investidor em relação ao processo de produção do investimento. O melhoramento de um processo de produção direcionado ao equipamento é de grande valia para todo e qualquer investidor, e tudo aquilo que possa ser direcionado ao ganho nas etapas de produção. Deve ser tratado de maneira eficiente e seguro, garantindo a sustentabilidade do negócio.

Nessa pesquisa, busca-se relacionar as principais vantagens com o aumento do tempo de vida útil de componentes metálicos inseridos no processo de fabricação de produtos refratários, por meio da aplicação de aspensão térmica¹ como condição essencial capaz de gerar impactos relevantes na qualidade dos serviços realizados pela Organização.

Os componentes metálicos inseridos nessa pesquisa são conjuntos de peças com geometrias diversificadas, tendo como principal finalidade atender a montagem / fabricação de um produto prensado conforme necessidade do cliente. Estes componentes são fabricados em aço devido os esforços mecânicos exigidos ao longo de sua aplicação no sistema de prensagem². Neste cenário, o desgaste por abrasão nos componentes metálicos é considerado um dos grandes problemas enfrentados pela indústria refratarista, causando paradas constantes em máquinas e equipamentos para manutenção, bem como influenciando negativamente os resultados da Organização.

1.1 Contexto do problema

Devido ao desgaste natural dos componentes metálicos inseridos no processo de produção de refratários, é necessária a recuperação ou a substituição dos mesmos por peças novas, a fim de se manter a qualidade das peças da produção de acordo com o desejado pela Empresa. Ambos os processos possuem custos elevados com a aquisição e o estoque de peças novas, atrasos na produção devido ao não cumprimento de prazos de entrega do fornecedor que nem sempre consegue atender a demanda real da produção. Com base nestes fatos, é necessário criar meios que possam maximizar os resultados esperados pela Organização.

¹ Aspensão térmica, também conhecida como metalização, é um tipo de revestimento de pulverização térmica que envolve o uso de um maçarico para aquecer um material em pó ou em forma de fio, a um estado fundido ou semi-fundido, bem como a utilização de um gás para a propulsão do material ao substrato alvo, criando uma superfície completamente nova.

² Sistema de prensagem é uma operação de conformação baseada na compactação de uma massa qualquer contida no interior de uma matriz fixa através da aplicação de pressão sobre uma área definida.

O constante desenvolvimento da indústria refratarista, assim como o de muitas outras Organizações diante do atual modelo econômico mundial, força a criação de novos processos que possam ampliar e definir novos caminhos para a solução das paradas de máquinas e equipamentos para manutenção. Na empresa em estudo, este tem sido um dos problemas enfrentados diariamente e que merece atenção especial. Neste sentido, a abordagem de um novo processo que possa estar compatível com o desenvolvimento da Empresa, enriquece todo processo de produção, e amplia as oportunidades de conquistas de novos mercados.

1.2 Problema de pesquisa

Na indústria refratarista, manter uma linha de produção de produto prensado em constante funcionamento faz com que o tempo de paradas de produção para troca de peças com desgaste seja freqüente, influenciando diretamente na disponibilidade dos equipamentos, e nos custos da produção. Portanto, o tema proposto tem como problema de pesquisa: É tecnicamente viável aumentar a vida útil em componentes metálicos usados na indústria refratarista por meio da aplicação da aspensão térmica?

1.3 Pressupostos

O beneficiamento da superfície de componentes metálicos por meio do processo de aspensão térmica tem como pressupostos:

- a) Prolongar o tempo de vida útil das peças metálicas inseridas no processo de produção, aumentando a resistência ao desgaste abrasivo do componente metálico, principal desgaste ocorrido na indústria refratarista;
- b) Melhorar a relação custo-benefício e o prazo de entrega do produto final ao cliente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Verificar se os componentes metálicos, inseridos na etapa de prensagem de produtos da indústria refratarista, tendem a aumentar o seu tempo de vida útil após aplicação do processo de aspersão térmica.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Fazer levantamento das variáveis a serem aplicadas no programa DOE (Design of Experiments);
- b) Realização de experimentos por meio da definição de variáveis e níveis fatoriais;
- c) Acompanhamento da aplicação dos testes dos corpos de provas na produção;
- d) Analisar os principais fatores variáveis³ do processo de produção da empresa de estudo e do processo de aspersão térmica.

1.5 Justificativa

Trabalhos pesquisados para realização deste estudo indicam que componentes metálicos com aplicação de aspersão térmica possuem alto desempenho na atuação das manutenções em empresas que sofrem com o desgaste abrasivo de suas peças. Dessa forma, a diminuição do tempo de paradas para manutenção, e a capacidade de ampliar o campo de atuação da empresa são alguns dos fatores que definem este processo como a solução para o constante crescimento da Empresa.

³ Fatores variáveis variam de acordo com o volume produzido, por exemplo: a matéria-prima e mão-de-obra utilizada, etc.

Com a aplicação do processo de aspersão térmica em componentes metálicos na indústria refratarista, é esperada a melhoria na eficiência do processo de produção com altos índices de atendimento, redução do tempo de parada de manutenção das máquinas e equipamentos, justificando assim a relevância dessa pesquisa.

Essa pesquisa é relevante para a Engenharia de Produção, uma vez que seus princípios estão ligados diretamente a Engenharia do Produto, através da inovação do processo produtivo com nova técnica adotada, podendo ajudar a se destacar perante a concorrência. Já do ponto de vista da responsabilidade social e ambiental, há grande relevância no aspecto da baixa rotatividade de peças novas, uma vez que aumentando-se o tempo de vida útil dos componentes metálicos existentes, será significativa a redução / eliminação da compra de novos componentes para reposição por desgaste.

No contexto dessa pesquisa, o Planejamento de Experimentos (Design of Experiments, DOE), é usado como ferramenta para o desenvolvimento de um novo processo, bem como demonstrar estatisticamente à Organização a análise da melhoria no processo de prensagem de produtos por meio dos resultados obtidos ao longo do planejamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Processo de produção

Segundo Campos (2004), “processo é um conjunto de causas que provoca um ou mais efeitos”. Este mesmo autor ainda cita que um processo é gerenciado por meio de seus itens de controle que medem a qualidade, custo, entrega, moral e segurança dos seus efeitos.

Em relação aos tipos de processo, para o autor Slack (2002) estes devem ser considerados como: Processos de projetos, Processos de jobbing, processos de lotes ou bateladas, processos de produção em massa e processos contínuos.



FIGURA 2: Tipos de processo
Fonte: Adaptado pelo autor, 2010.

O processo de produção da empresa na qual está inserido o objeto em estudo dessa pesquisa é o processo de produção em massa, pelo qual é grande a diversidade de produtos inseridos no processo diário de fabricação dos produtos. Sendo assim, o item de verificação deste processo foi direcionado as prensas, com base na qualidade do produto / serviço por meio do gerenciamento preventivo da produção diária.

Segundo Shingo (2005), “para melhoramento das operações da produção deve-se ter atuação nas operações de *setup* (preparação antes e depois) e operações principais (executar o trabalho necessário)”. O autor ainda cita processamento, inspeção, transporte e espera (espera do processo e do lote), como elementos que também devem ser relacionados à melhoria do processo.

2.2 Um pouco da engenharia do produto

A tomada de decisão de uma empresa que visa avaliar qual alternativa econômica adotar para melhor alcançar seus objetivos, está associada a critérios propostos na Engenharia do Produto.

Segundo Oliveira Netto (2006), engenharia do produto tem como foco a qualidade, manufaturação, satisfação do cliente, pesquisa de mercado e produtos com grandes diferenciais, que não se baseiam apenas em custos, mas em valores agregados, design, baixa ou nenhuma agressividade ao meio ambiente, interatividade com o usuário, facilidade de compreensão relacionada ao produto e muitos outros fatores.

Com base nos critérios propostos pela Engenharia do Produto são estudadas as técnicas que levam a melhores práticas para as tomadas de decisão, isso por que existem diferentes formas de analisar um determinado problema encontrado, levando-se em consideração o planejamento estratégico como cultura influenciadora na tomada de decisão. A FIGURA 3 abaixo representa os principais critérios adotados neste estudo, de acordo com a engenharia do produto.



FIGURA 3: Critérios adotados na engenharia do produto
 Fonte: O autor, 2010.

Num primeiro momento são considerados os aspectos econômicos do investimento. Pergunta-se se o investimento é rentável. Aplicando corretamente os critérios econômicos sabem-se quais os investimentos que rendem mais, ou seja, como aplicar o dinheiro de maneira a obter o maior retorno. (CASAROTTO FILHO, 2000, p. 104)

Importante destacar que a adoção de critérios para análise estando bem definida, é possível identificar antecipadamente os possíveis erros na aquisição de determinado investimento, bem como se assegurar da melhor prática a ser adotada no momento. Ao realizar um investimento no atual cenário econômico, uma grande preocupação de todas as Organizações é o quanto se beneficiar com o investimento, estando assim ainda mais preocupadas com a adoção de práticas seguras e confiáveis.

2.3 O planejamento de experimentos

Para melhor justificar o objetivo principal dessa pesquisa, o Planejamento de Experimentos (Design of Experiments, DOE) é usado como ferramenta essencial para a demonstração de resultados em relação à abordagem do tema proposto.

Abaixo modelo de funcionamento do Planejamento de Experimentos:

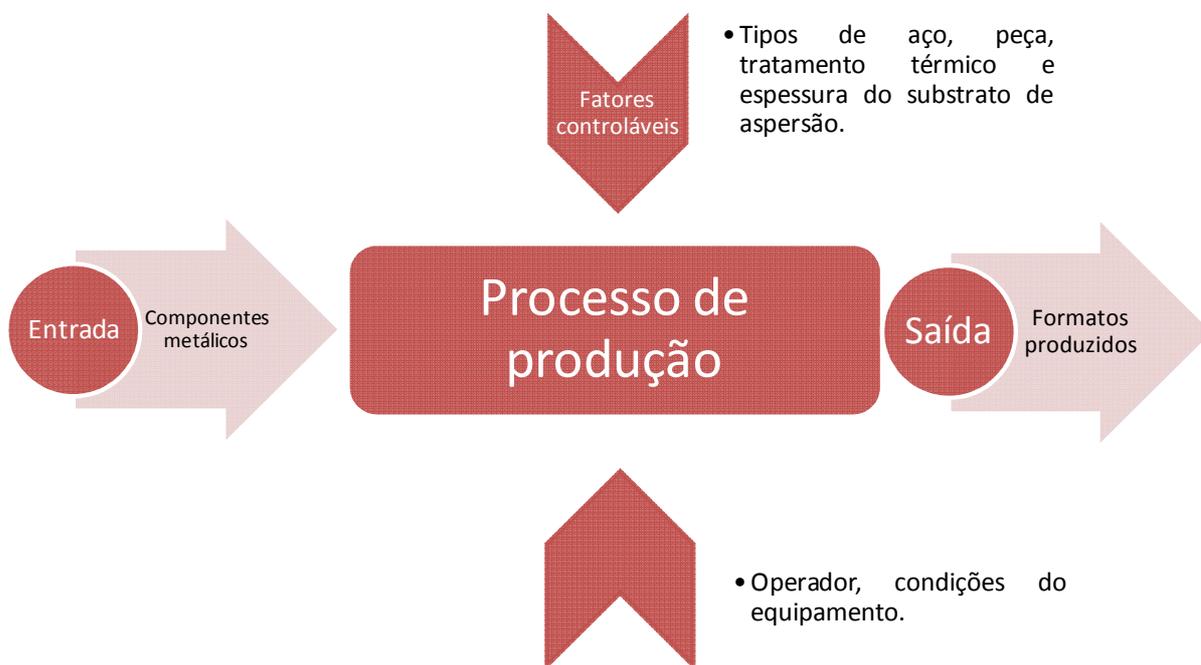


FIGURA 4: Modelo de Planejamento de Experimentos - DOE
Fonte: O autor, 2010.

Na indústria, o Planejamento de Experimentos proporciona soluções dentro na análise estatística, facilitando a aplicação, análises, manutenções e gerenciamento de dados. O planejamento dos testes e experimentos é uma das principais características do DOE. Planejamentos fatoriais e suas variantes são usados nessas situações, visando à melhoria do processo, utilizando diversas variáveis dentro da indústria a serem definidas pelo próprio pesquisador. São diversos os fatores que precisam ser estudados para que possa ter a qualidade assegurada do produto / serviço na indústria. Tais fatores estão diretamente ligados ao processo, pessoas, máquinas e equipamentos. Neste aspecto, a estatística adotada no DOE pode, e deve estar presente nas análises a serem realizadas, de forma a garantir os resultados de forma precisa e segura, sejam eles positivos ou não.

Segundo Barros Neto (2003), “o que leva um pesquisador a fazer experimentos é o desejo de encontrar a solução de determinados problemas.” Neste contexto, a empresa que pretende investir deve estar com seus objetivos bem definidos ao analisar um planejamento de experimentos.

Um planejamento de experimentos bem estruturado traz excelentes resultados econômico para a empresa, assim como se houver falhas na análise e estruturação do projeto poderá acarretar em prejuízos futuros irreversíveis. Na condição de investir em um bem que maximize os resultados da empresa, é de extrema importância conhecer os métodos básicos do planejamento de experimentos como forma de ampliar os conhecimentos do estudo desejado.

O planejamento de experimentos é comum na indústria, tendo como base a continuidade em estudos voltados ao desenvolvimento de novos processos. Neste sentido, o planejamento de experimentos é adotado como ferramenta que irá avaliar a eficiência do experimento prático aplicado, através da justificativa adequada qual seja o resultado encontrado.

Segundo Coleman & Montgomery (1993), para o desenvolvimento de um Planejamento de Experimentos na Indústria, devem ser consideradas as seguintes etapas:

- a) Caracterização do problema;
- b) Escolha dos fatores de influência e níveis;
- c) Seleção das variáveis de resposta;
- d) Determinação de um modelo de planejamento de experimento;
- e) Condução do experimento;
- f) Análise dos dados;
- g) Conclusões e recomendações.

Para Barros Neto (2003), “a essência de um bom planejamento consiste em projetar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que se procura.”

É com base na busca de ferramentas que justifiquem o experimento como uma técnica capaz de ampliar o ciclo de vida dos produtos, que o Planejamento de Experimentos (Design of Experiments, DOE) é de fundamental importância para conhecimento do pesquisador, a fim de demonstrar o melhor resultado nas práticas a serem realizadas ao longo do trabalho pesquisado e realização dos experimentos.

Construir modelos empíricos não basta. Precisamos também avaliar se eles são realmente adequados ao sistema que estamos querendo descrever. Só então tem cabimento procurar extrair conclusões desses modelos. Um modelo mal ajustado faz parte da ficção científica, não da ciência. (BARROS NETO, 2003, p. 7)

Este mesmo autor ainda cita que desejando se obter dados experimentais confiáveis, é preciso executar um procedimento bem definido, com detalhes operacionais que dependem da finalidade do experimento. Neste aspecto, a aplicação de um experimento com bom planejamento promove ao pesquisador e especialistas diferentes aplicações do objeto estudado, desenvolvendo dentro deste cenário o emprego de soluções em conjunto, capazes de impulsionar ainda mais a eficiência nos resultados futuros.

2.4 Aços estudados

A seguir são definidos alguns conceitos sobre os tipos de aço usados no estudo.

Aço é uma liga de natureza relativamente complexa e sua definição não é simples, visto que, a rigor, os aços comerciais não são ligas binárias: de fato, apesar dos seus principais elementos de liga serem o ferro e o carbono, eles contêm sempre outros elementos secundários, presentes devido aos processos de fabricação. (CHIAVERINI, 1977, pág. 18)

São muitos os tipos de aço existentes. Para se ter um bom entendimento quanto a esta seleção, associações técnicas especializadas classificam os aços com base em sua composição química: SAE, AISI (americana), ABNT (brasileira), entre outras normas.

2.4.1 Aço Carbono SAE 1045

Aço de baixa temperabilidade e tenacidade, que atinge média resistência mecânica após tratamento. Utilização na fabricação de peças de grande porte que necessitam de boa resistência mecânica e soldabilidade. (Aços Especiais de Alta Liga e

Construção Mecânica - Tabela Villares Metals).

Na empresa em estudo, este tipo de aço é mais comumente utilizado em atividades que têm suas funcionalidades pouco envolvidas com a resistência mecânica.

2.4.2 Aço para ferramentas – D6

Aço Ferramenta D6 é um aço de alta estabilidade dimensional e excelente resistência ao desgaste abrasivo. Aplicações típicas em ferramentas para trabalho a frio em geral. (Aços Especiais de Alta Liga e Construção Mecânica - Tabela Villares Metals).

Por se tratar de um aço nobre, o D6 é bastante utilizado em processos que exigem uma resistência mecânica maior, ou seja, em equipamentos / processos que não podem ter falhas (quebras, desgastes, etc.).

2.5 Características do tratamento térmico

Para Chiaverini (1977), tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de esfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhes características determinados.

O ato de aquecer e resfriar um aço modifica suas propriedades, daí chamado tratamento térmico. O tratamento térmico possui três fases, basicamente:

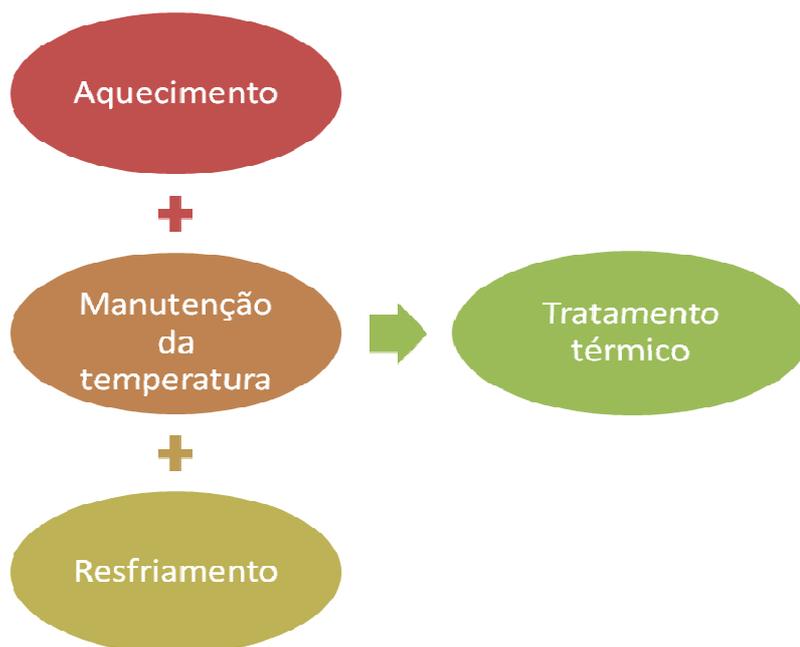


FIGURA 5: Fases do tratamento térmico
Fonte: O autor, 2010.

Para a definição de qual tipo de tratamento térmico aplicar em um material na forma de produto acabado, é preciso compreender a real necessidade da aplicação em função das propriedades desejadas.

O tratamento térmico é aplicado em ambos os materiais (D6 e SAE 1045), necessidade essa em virtude de suas propriedades químicas não estarem em conformidade com o esforço mecânico exigido no processo. A têmpera é o tipo de tratamento adequado a atender as exigências pelas quais as peças fabricadas em aço D6 e SAE 1045 estarão expostas no processo de produção, sendo um processo indicado para endurecimento de peças usinadas, a fim de proporcionar melhor desempenho operacional. A dureza dos aços estudados é de 23 HRC e 62 HRC, respectivamente.

2.6 Características da aspensão térmica

A aspensão térmica é a técnica utilizada no processo de aquecimentos de liga metálica em forma de pó ou arame, e lançamento destas partículas pulverizadas a

uma elevada velocidade em uma superfície devidamente preparada, conforme FIGURA 6:

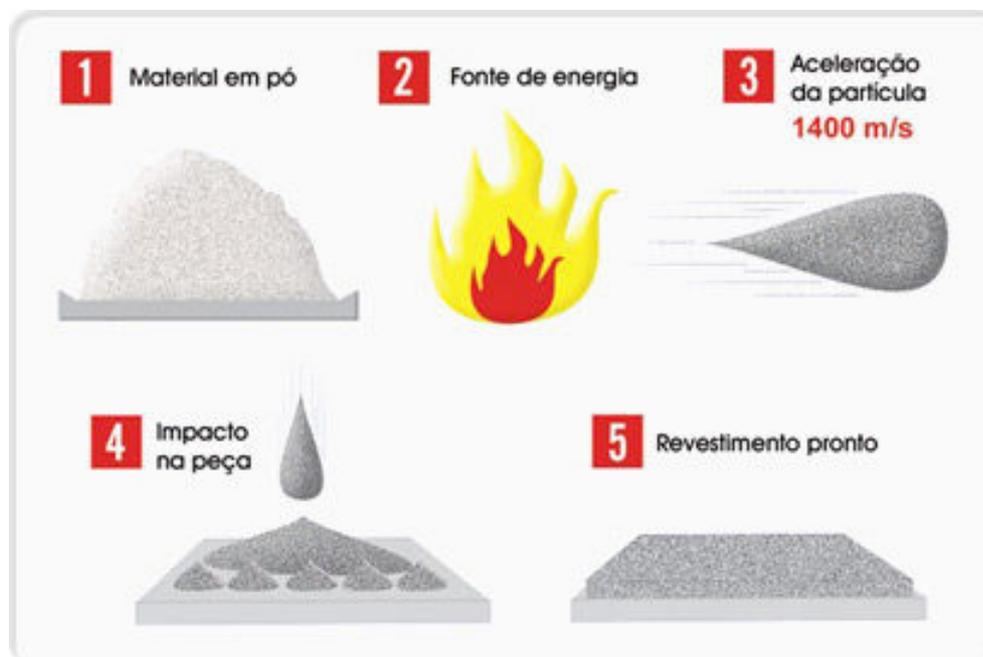


FIGURA 6: Etapas da aspersão térmica
Fonte: Rijeza Metalurgia, 2008.

De acordo com estudos realizados ao longo desta pesquisa, a aspersão térmica tem sido bem-sucedida até mesmo nas aplicações mais exigentes, ou seja, perfis de peças mais complexas. A aplicação de aspersão térmica em componentes metálicos garante a eficiência das peças diante do desgaste natural exigido ao longo do processo no qual estão inseridas, aumentando o tempo de vida útil das mesmas. Outro fator importante é a capacidade de atender a peças de grande porte, assim como sua complexidade geométrica, de acordo com a necessidade do cliente.

O processo de aspersão térmica utilizado neste estudo (carboneto de tungstênio), de acordo com a empresa Rijeza (2010), possui as seguintes características:

- a) Micro dureza de 1200 a 1350 HV;
- b) Porosidade < 1%;
- c) Resistência a corrosão < 100 horas de Salt Spay;
- d) Adesão > 10.000 PSI;

- e) Temperatura máxima de trabalho 450° C;
- f) Camada máxima de 0,5mm.

2.6.1 Principais áreas de aplicação da aspersão térmica

As principais áreas de aplicação da aspersão térmica são: siderúrgica; mineração; aeroespacial; energia; automotiva; biomédica; de papel e celulose; petróleo e gás; petroquímica e alimentos. A aspersão térmica tem como principais soluções de aplicação em:

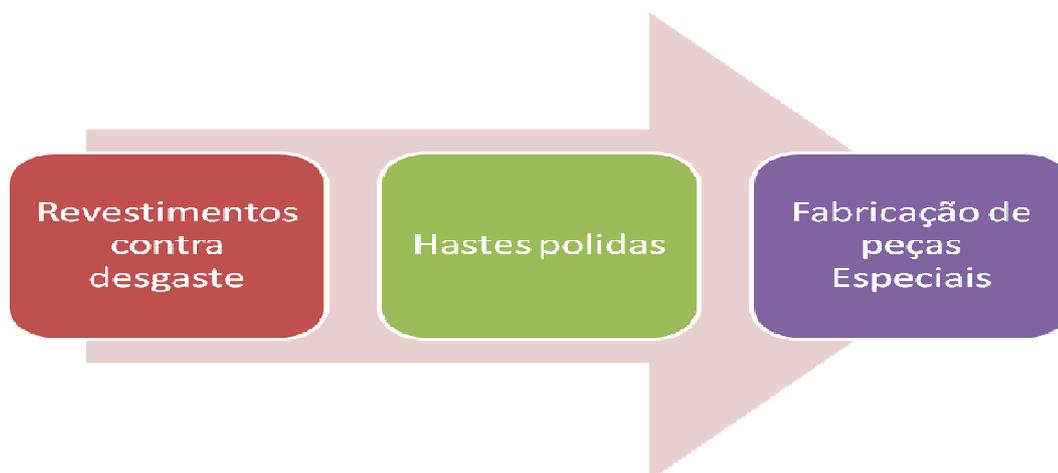


FIGURA 7: Principais soluções da aspersão térmica
Fonte: Rijeza Metalurgia, adaptado pelo autor, 2010.

3 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa num planejamento deve ser entendida como o conjunto detalhado e seqüencial de métodos e técnicas científicas a serem executados ao longo da pesquisa, de tal modo que se consiga atingir os objetivos inicialmente propostos e, ao mesmo tempo, atender aos critérios de menor custo, maior rapidez, maior eficácia e mais confiabilidade de informação. (BARRETO; HONORATO, 1998).

O envolvimento do pesquisador na pesquisa é tão importante quanto o seu pleno conhecimento das etapas de desenvolvimento do trabalho. Para Gil (2006), a pesquisa pode ser Pura ou Aplicada. Este estudo tem sua natureza classificada como Pesquisa Aplicada, uma vez que seus resultados contribuem para o esclarecimento em análises e aplicações futuras.

3.1 Níveis de pesquisa

Segundo Gil (2006), quanto aos objetivos da pesquisa, ela pode ser classificada como exploratória, descritiva ou explicativa.

Neste estudo a pesquisa é classificada como exploratória, que estuda a familiaridade com o problema, visando torná-lo explícito através da construção de hipóteses que podem ser usadas para estudos posteriores.

3.2 Forma de abordagem

Para Appolinário (2004), a forma de abordagem do problema pode ser caracterizada como Pesquisa Quantitativa e Pesquisa Qualitativa. Se tratando do uso de técnicas estatísticas para demonstração de resultados, este trabalho tem sua forma de abordagem classificada como pesquisa quantitativa. Com referência neste mesmo autor, o pesquisador ainda gera informações e opiniões com base neste tipo de

pesquisa, visando traduzir os números em forma de abordagem de um problema desejado, atribuindo significados ao que existe e deve ser reconhecido através do método científico.

3.3 Procedimento técnico

“A formulação do problema, a construção de hipóteses e a identificação das relações entre variáveis constituem passos do estabelecimento do marco teórico ou sistema conceitual da pesquisa” (GIL, 2006, pg. 64).

Quanto ao tipo de procedimento técnico, segundo Gil (2006), este estudo é classificado como estudo de caso, pois consiste em definir um objeto em estudo e as variáveis capazes de influenciar nas formas de controle e observação dos resultados deste objeto em uma única empresa. É o tipo de pesquisa em que uma situação é estudada profundamente a fim de se ter melhor compreensão para outros estudos futuros.

Uma vez definidas as variáveis capazes de influenciar no desenvolvimento do trabalho proposto, o estudo de caso dará uma base sólida a discussão dos resultados, pois representa bem o objeto em estudo utilizado como estratégia de pesquisa.

De modo geral, o experimento representa o melhor exemplo de pesquisa científica. Essencialmente, o delineamento experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. (GIL, 2006, pg. 66)

O levantamento das variáveis aplicadas no DOE foi feito de acordo com os materiais inseridos no processo atual da produção dos produtos prensados da empresa em estudo. Nessa condição, foram adotadas as variáveis da seguinte forma:

- a) Tipo de material: Aço carbono SAE 1045 e Aço ferramenta D6;
- b) Tipo de peça (corpo de prova): peça cilíndrica e peça chata;

- c) Dureza do substrato: peça com tratamento térmico com limite mínimo e limite máximo (23 HRC e 62 HRC, respectivamente);
- d) Espessura do revestimento de aspensão térmica: filme com limite mínimo e máximo de espessura (0,2 mm e 0,4 mm, respectivamente).

3.4 Forma de coleta de dados

Segundo Appolinário (2006), existem infinitas formas de coletar dados de pesquisa. Neste estudo, a coleta de dados se baseia no Planejamento de Experimentos (Design of Experiments, DOE). Os experimentos práticos foram realizados em componentes metálicos que têm a forma cilíndrica e chata, bem como tratamento térmico com dureza diferenciada (menor e maior dureza), a fim de verificar a influência destes fatores na variável resposta (durabilidade do componente metálico em relação ao número de formatos produzidos). Dessa forma, este objeto em estudo obteve como variáveis principais o aço D6 *versus* o aço SAE 1045.

O experimento fatorial realizado foi definido através da ferramenta DOE, com base nas variáveis / níveis fatoriais escolhidos para a realização dos experimentos práticos. Os corpos de prova foram disponibilizados seguindo a metodologia proposta pelo DOE, ou seja, para essa pesquisa, doze peças construídas. Como cada peça deve ser feita em triplicata, foram trinta e seis experimentos do planejamento fatorial realizados, obedecendo à seguinte ordem:

- a) Material SAE 1045: 12 peças cilíndricas + 12 peças chatas;
- b) Material D6: 06 peças cilíndricas + 06 peças chatas.

Através do uso destes dois tipos de aço, foi avaliado o número de formatos (variável resposta) que cada um deles é capaz de produzir. Para se ter uma melhor idéia de onde os corpos de prova cilíndricos e chatos deste estudo serão aplicados, abaixo figuras representativas:

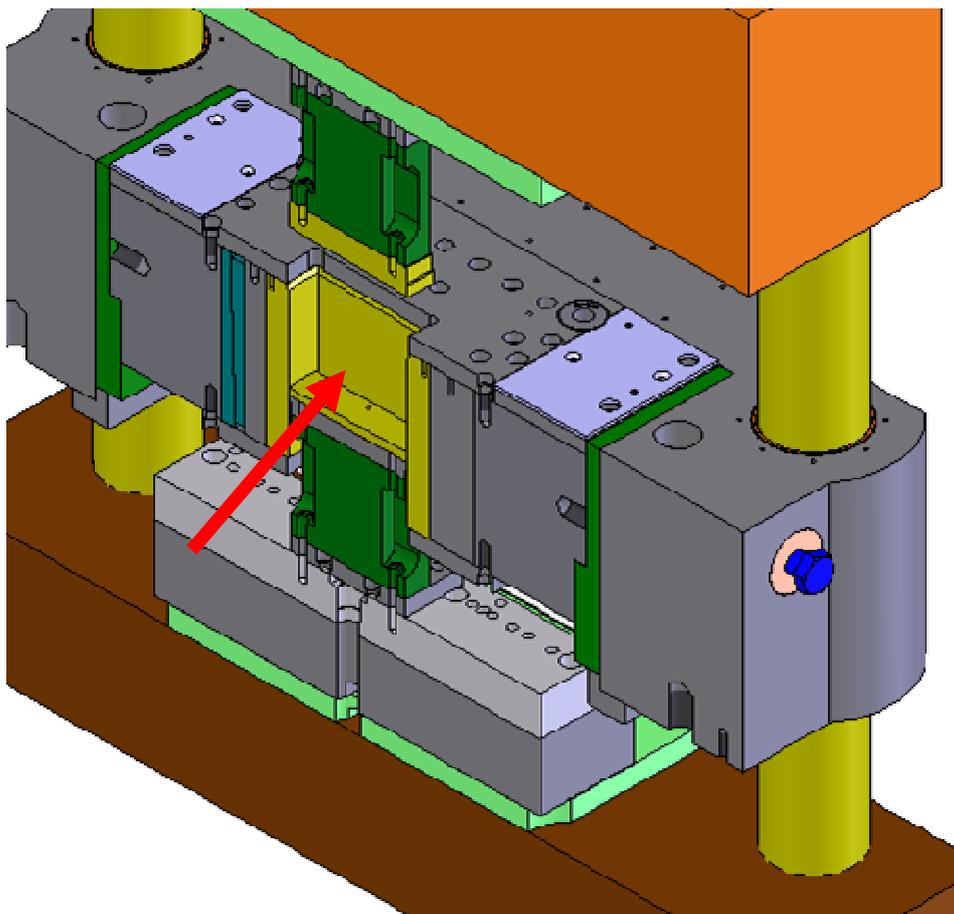


FIGURA 8: Montagem da caixa na prensa – corpos de prova chatos
Fonte: O autor, 2010.

Vista em corte de um conjunto de componentes metálicos montados em uma prensa, a fim de se produzir o formato de peça desejado pelo cliente. Nesta montagem, são diversos os tipos de componentes metálicos inseridos, mas, é dada ênfase aos corpos de prova com geometria chata deste estudo, demonstrados na cor amarela, ao centro da FIGURA 9 orientados pela seta.

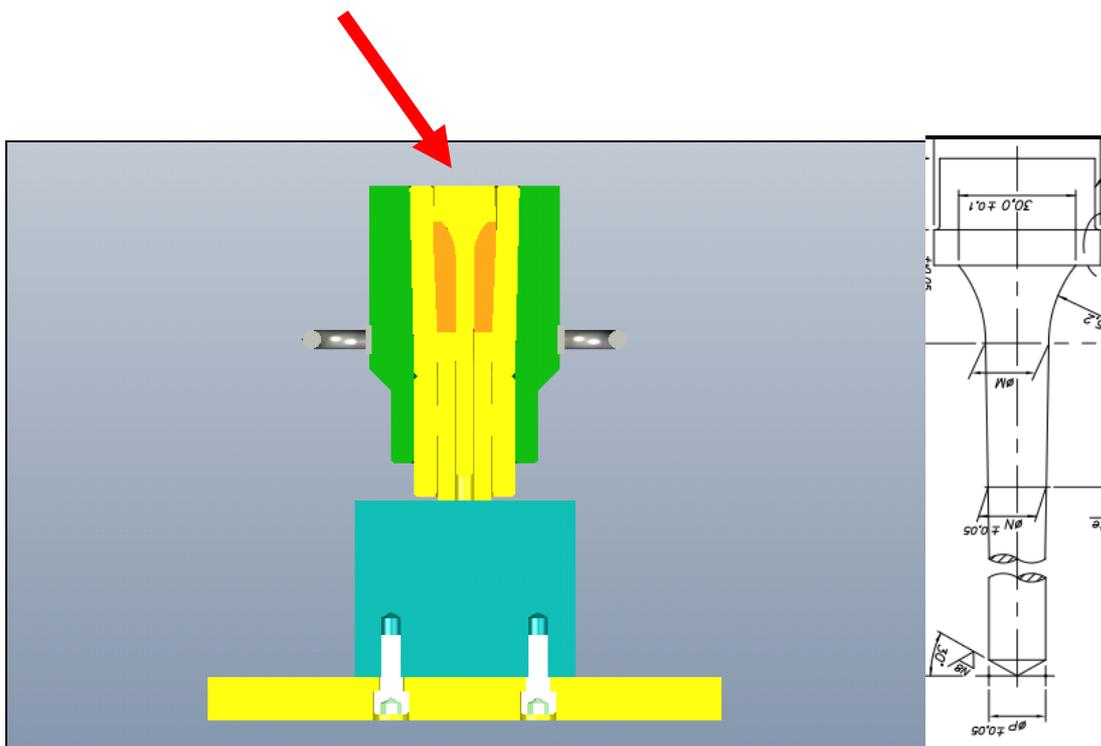


FIGURA 9: Montagem da caixa na prensa – corpos de prova cilíndricos
 Fonte: O autor, 2010.

Nesta montagem (vista em corte), é dada ênfase aos corpos de prova com geometria cilíndrica, demonstrado na cor amarela, conforme orientação da seta indicativa, e também figura lateral.

As FIGURAS 10 e 11 representam a geometria dos corpos de prova cilíndricos utilizados nesta pesquisa:



FIGURA 10: Corpos de prova – peças cilíndricas menos complexas
 Fonte: Fotografado pelo autor, 2010.



FIGURA 11: Corpos de prova – peças cilíndricas mais complexas
Fonte: Fotografado pelo autor, 2010.

Os corpos de prova de peças cilíndricas usados nessa pesquisa possuem geometrias diversificadas em relação a diametro dos raios e comprimento.

As FIGURAS 12 e 13 representam a geometria dos corpos de prova chatos utilizados nesta pesquisa:



FIGURA 12: Corpos de prova – peças chatas menos complexas
Fonte: Fotografado pelo autor, 2010.

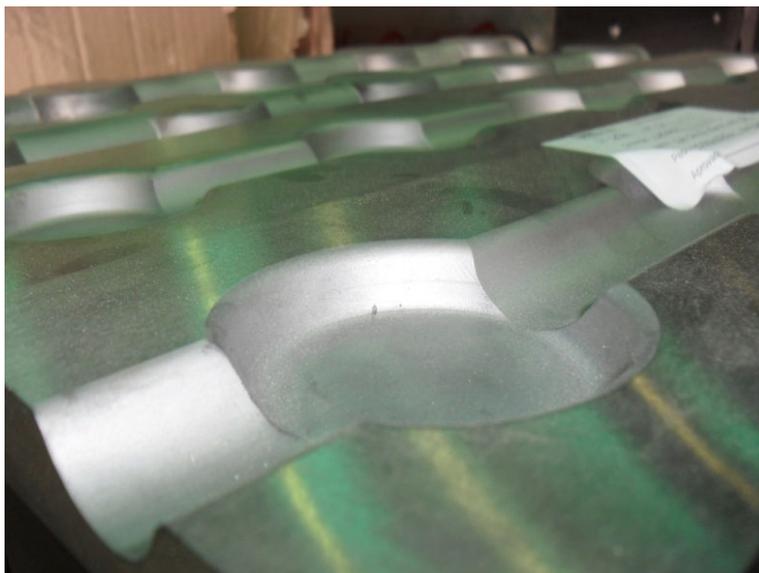


FIGURA 13: Corpos de prova – peças chatas mais complexas
Fonte: Fotografado pelo autor, 2010.

Os corpos de prova das peças chatas usadas nessa pesquisa possuem geometria tanto simples como mais complexas, por meio de peças com raios diversificados, assim como peças com baixo ou alto relevo.

Com base em resultados da produção anterior, foi avaliada a quantidade de formatos capazes de ser produzidos com apenas um componente metálico.

Na coleta de dados, foram envolvidos operadores de prensas, programador de produção e supervisão de fábrica, como forma de melhor observar os resultados. A coleta de dados é realizada diariamente, de acordo com o programa de produção definido pelo setor de Planejamento e Controle de Produção, obedecendo à seqüência de produção planejada conforme a necessidade de cada cliente, já previsto no cronograma.

3.5 Universo da pesquisa

A presente pesquisa é direcionada especificamente a empresa do ramo de mineração, especificamente na produção de produtos refratários.

Através dos resultados a serem encontrados ao longo desta pesquisa, poderá ser observada também a possibilidade de ser aplicado este estudo em empresas de outros ramos, porém, não é abordada neste estudo esta possibilidade.

3.6 Tipos de amostra

Uma amostra pode ser classificada em probabilística (casual), quando a escolha dos elementos da amostra é aleatória, ou não probabilística (não casual), quando a escolha dos elementos não é feita aleatoriamente. Esse estudo está classificado, segundo LAKATOS e MARCONI (2006), como amostra probabilística, uma vez que é necessário conhecer todos os elementos da população estudada e definir um número para cada elemento, para que eles sejam selecionados através do uso de uma tabela de fatores aleatórios.

3.7 Principais limitações da pesquisa

Dentre as principais limitações da pesquisa, destacam-se:

- a) Pesquisa aplicada apenas em Empresa do ramo de mineração / produção de produtos refratários no estado de Minas Gerais;
- b) Número reduzido de níveis / fatores no planejamento de experimento dirigido devido à escassez de tempo.

3.8 Equipamentos usados

Para a realização dessa pesquisa foram usados equipamentos do processo de aspersão térmica conforme FIGURA 14:



FIGURA 14: Equipamento processo aspersão térmica

Fonte: <http://www.fercabe.com.br/Metaliza%C3%A7%C3%A3o.htm>. Acesso em: 05/10/2010

O processo de aplicação de revestimentos por aspersão térmica contém basicamente os seguintes equipamentos: Arco elétrico, Chama Oxiacetilénica, Arco Eléctrico e processo por chama hipersônica (HVOF).

Para melhor representar os equipamentos usados para testes dos corpos de prova, a FIGURA 15 relaciona um destes equipamentos similares:



FIGURA 15: Modelo de Prensa usada na pesquisa

Fonte: Fotografado pelo autor, 2010.

A seguir, modelos de prensas usadas:

- a) Prensa Gutmann – Equipamento de fricção modelo PF 450 / 1100;
- b) Prensa Gutmann – Equipamento de fricção modelo PF 600 / 1700;
- c) Prensa FUKAY – Equipamento de fricção modelo 10VCFOP-1E-C – 1000 T;
- d) Prensa Hidráulica – Equipamento hidráulico com capacidade de 1250 T.

3.9 A organização em estudo

A organização em estudo é uma empresa privada de grande porte situada na região metropolitana de Belo Horizonte – Minas Gerais, de capital misto dedicada à mineração, produção e comercialização de materiais refratários. Seus produtos fabricados são utilizados principalmente pelas empresas fabricantes de aço, cimento e vidro.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quanto à realização dos experimentos práticos aplicados na produção, foram realizados acompanhamentos de forma ampla de todo o processo. Nesta fase inicial, foi realizada a triagem do fornecimento do material adequado para a realização dos experimentos, monitoramento dos serviços de usinagem, tratamento térmico e processo produtivo pelos quais os corpos de provas estiveram inseridos, visando maior confiabilidade dos resultados obtidos com o planejamento de experimentos.

Em relação ao levantamento das variáveis aplicadas no programa DOE e da realização de experimentos através da definição de variáveis e níveis fatoriais, os resultados a seguir são justificados com base no planejamento de experimentos, considerando:

- a) Aço Carbono SAE 1045 versus Aço Ferramenta D6;
- b) Peça cilíndrica versus peça chata;
- c) Dureza 23 HRC versus dureza 62 HRC do material base (tratamento térmico);
- d) Espessura 0,2 mm versus espessura 0,4 mm do revestimento de aspensão térmica.

A FIGURA 16 representa o exemplo de aplicações de planejamento experimental com vários fatores.

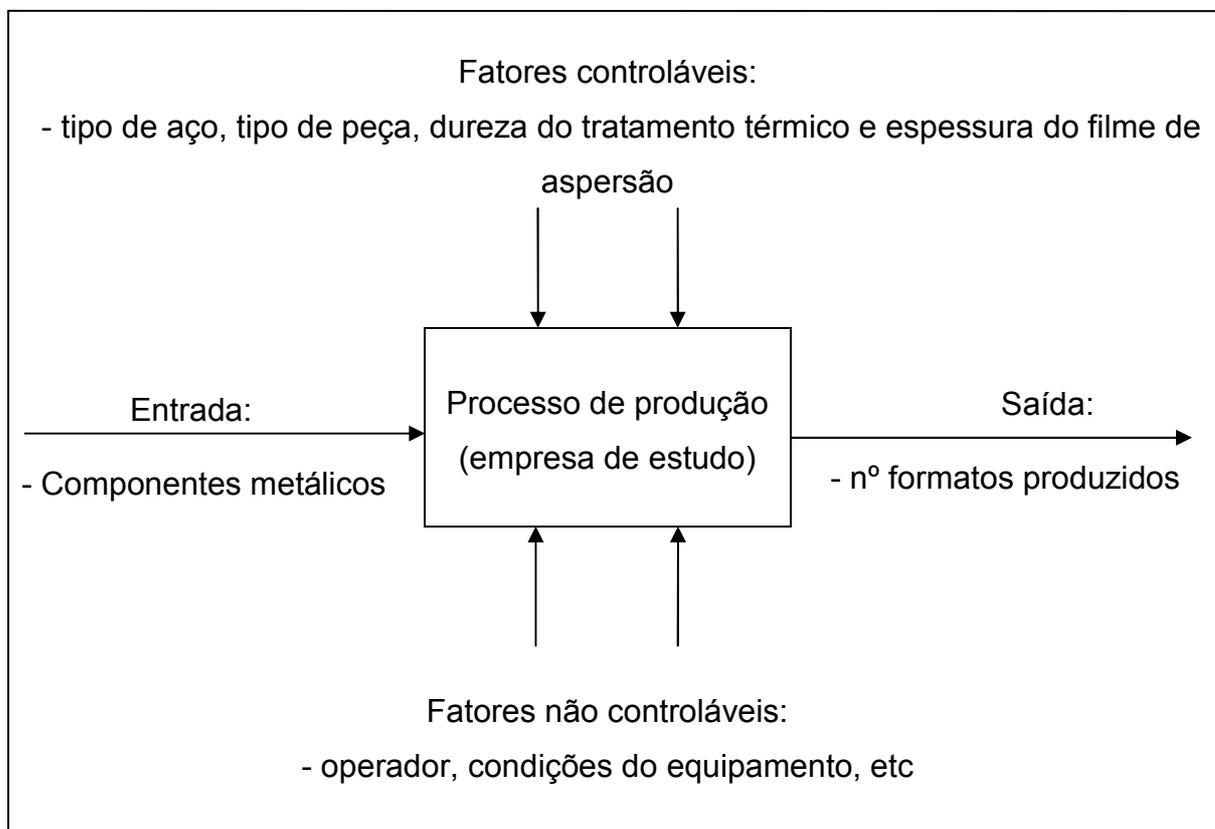


FIGURA 16: O experimento do processo de produção – empresa de estudo
Fonte: O autor, 2010.

O QUADRO 1 a seguir apresenta os resultados encontrados através do planejamento de experimentos realizado na Organização em estudo.

QUADRO 1: Análise dos resultados coletados - DOE

Seq	Tipo de aços avaliados	Tipo Peça	Dureza tratamento térmico (HRC)	Espessura filme aspensão térmica (mm)	Resultado
01	Carbono SAE 1045	Chata	62	0,2	N.A.
02	Carbono SAE 1045	Chata	23	0,4	N.A.
03	Carbono SAE 1045	Chata	62	0,4	N.A.
04	Carbono SAE 1045	Chata	23	0,2	N.A.
05	Carbono SAE 1045	Cilíndrica	62	0,2	N.A.
06	Carbono SAE 1045	Cilíndrica	23	0,4	N.A.
07	Carbono SAE 1045	Cilíndrica	62	0,4	N.A.
08	Carbono SAE 1045	Cilíndrica	23	0,2	N.A.
09	Ferramenta D6	Chata	62	0,2	OK
10	Ferramenta D6	Chata	23	0,4	N.A.
11	Ferramenta D6	Chata	62	0,4	N.A.
12	Ferramenta D6	Chata	23	0,2	OK
13	Ferramenta D6	Cilíndrica	62	0,2	OK
14	Ferramenta D6	Cilíndrica	23	0,4	N.A.
15	Ferramenta D6	Cilíndrica	62	0,4	N.A.
16	Ferramenta D6	Cilíndrica	23	0,2	OK

Fonte: O autor, 2010.

Legenda:

N.A: Não aplicável no processo em estudo

Tornou-se inviável utilizar a análise de variância com os resultados obtidos para o aço carbono SAE 1045, no qual, tanto para o material base cilíndrico quanto chato, foram encontrados o mesmo resultado. Tal fato este justificado pelo desgaste abrasivo existente, que é comum no processo ao qual foi aplicado o planejamento de experimentos para este tipo de aço. Inicialmente, era esperado resultado satisfatório em relação ao aço carbono 1045, pois, dessa forma, teria uma redução ainda maior nos custos de produção, considerando o preço deste tipo de aço mais barato que o Ferramenta D6.

Para aplicação no processo da aspensão, o uso do material base aço carbono SAE 1045 com menor dureza não é indicado, pois o revestimento da aspensão penetrou no componente metálico, devido sua baixa resistência mecânica.

Se tratando das análises do material base aço carbono SAE 1045 com alta dureza, também não houve resultado satisfatório, pois, o aço SAE 1045 ainda sim, demonstrou através de seu comportamento durante o processo de prensagem dos componentes metálicos, ser um aço muito fraco em elementos de liga, mesmo após o tratamento térmico. Esta dureza se desenvolve apenas em uma espessura de aproximadamente 10 mm da superfície e diminui quando se aproxima do núcleo do material. Com peças de diâmetros menores que 20 mm pode não haver muito problema, entretanto, para espessuras maiores, seria viável procurar alternativas em aços mais ligados.

Em relação à espessura do revestimento de aspensão térmica, para este tipo de material base, não foi possível observar qual o melhor resultado, uma vez que o comportamento do material base influenciou na coleta dos dados, tornando inviável a continuidade da análise e não uso do material base aço carbono SAE 1045 para o processo deste estudo.

Assim como no material base aço carbono SAE 1045, para o material base aço ferramenta D6, tanto o material base cilíndrico quanto chato tiveram o mesmo resultado observado, com o mesmo argumento relacionado ao desgaste abrasivo que é o mesmo em qualquer que seja o perfil da peça.

Os corpos de provas fabricados em D6 apresentaram melhor desempenho, uma vez que o esforço mecânico exigido na atividade é constante e com alta exigência de resistência do material. Neste aspecto, fica evidente o melhor desempenho do aço D6 em relação ao outro aço comum utilizado nesta pesquisa. Usando o material D6, observou-se ao longo do experimento enorme potencial de aplicação das peças no processo, potencial este que está compensando muitos outros aspectos (inclusive de não usar outro tipo de material), ou seja, o D6 por ser um aço nobre de alta resistência, somado a durabilidade da aspensão térmica, gerou um resultado bastante satisfatório.

Os resultados de produção de rotina da empresa em relação ao aço D6 foram de 500 formatos por componente metálico em média por mês, enquanto após aplicação do processo de aspensão térmica, essa quantidade passou para 2500 formatos.

Tanto para as peças cilíndricas, quanto as peças chatas, assim como tratamento térmico na menor e maior dureza (23 HRC e 62 HRC, respectivamente), não houve variação da quantidade de ciclos (a limitação houve apenas devido a problemas no equipamento da empresa em estudo), obtendo assim o mesmo resultado. Motivo este justificado pela dureza padrão do revestimento da aspersão, bem como da composição do aço D6.

A espessura do filme da aspersão térmica, com 0,2 mm é a que obteve o melhor resultado, tornando inviável a espessura maior. Devido a camada de aspersão padrão ser 0,2 mm (camada uniforme no processo de aspersão), o uso de outra camada com 0,4 mm acabou por influenciar na resistência do material aplicado, ou seja, a aplicação de uma camada sobre a outra não deu uma boa resistência quando se fala em penetração (manter firme) sobre a outra camada, tornando inviável o uso para o processo da empresa em estudo, que após aplicação no processo, houve pequenos deslocamentos, impedindo assim a continuidade do planejamento de experimentos.

Em relação ao tratamento térmico, por se tratar de um aço de alta tenacidade, não houve qualquer interferência no resultado, ou seja, tratamento com menor e maior dureza tivemos resultado igual para a quantidade de ciclos.

Outro fator de grande relevância observado é a qualidade do acabamento do produto final. Por se tratar de material composto de carbeto de tungstênio em sua composição, as peças com aplicação da aspersão térmica se destacaram também em relação a qualidade superior, comparados aos componentes usados no processo atual, pois não permitiu ranhuras na estrutura do produto acabado.

As ocorrências de quebras em alguns corpos de provas ocorreram ao longo dessa pesquisa, devido ao fato do operador não ter ajustado corretamente o conjunto de componentes dentro da fôrma, ora pelo fato de haver falhas no processo de aspersão térmica dos revestimentos, falhas estas que normalmente ocorrem, não caracterizam uma limitação.

Conforme informado anteriormente, e com base nas análises do planejamento de experimento, foi alcançado surpreendente resultado cinco vezes mais ciclos na produção, ou seja, foi possível um ganho acima do esperado, se tratando do tempo de vida útil do componente usando o aço D6 para peça cilíndrica e peça chata, tratamento térmico indiferente, para a camada aspersão com 0,2mm. Analisar os principais fatores variáveis do processo de produção da empresa de estudo e do processo de aspersão, é um dos objetivos específicos citados neste trabalho que será demonstrado através das tabelas a seguir.

TABELA 1: Análise do custo do processo sem aspersão

Processo sem aspersão	Custo unitário (R\$)	Qtd peças necessárias/mês
Matéria-prima (aço D6)	43,00	21
Usinagem	160,00	
Tratamento térmico	14,00	
Custo total (R\$)		4.557,00

Fonte: O autor, 2010.

TABELA 2: Análise do custo do processo com aspersão

Processo c/ aspersão	Custo unitário (R\$)	Qtd peças necessárias/mês
Matéria-prima (aço D6)	43,00	4
Usinagem	160,00	
Tratamento térmico	14,00	
Aspersão	530,00	
Custo total		R\$ 2.988,00

Fonte: O autor, 2010.

Os resultados acima demonstram o que levou a empresa de estudo a adotar o processo de aspersão térmica em seus componentes metálicos, ou seja, foram obtidos 34% de redução em sua produção, observada os resultados comparados através de dados de sua produção anterior com o atual processo.

Foram coletados dados de formatos produzidos com os componentes metálicos

entre os meses de Janeiro a Setembro de 2010 sem aplicação do processo de aspersão térmica. Neste período, a média de formatos produzidos mês foi de 10500. Cada componente metálico D6 foi capaz de produzir até 500 formatos, ou seja, para atender a necessidade acima foi necessário disponibilizar a fabricação de vinte e um novos componentes metálicos para produção dos formatos. A fabricação destes novos componentes envolveu os custos de matéria-prima, usinagem e tratamento térmico, totalizando R\$ 4557,00 para disposição dos mesmos para início das atividades.

Comparando os dados da produção anterior com os dados coletados no planejamento de experimentos após aplicação do novo processo, cada componente metálico D6 foi capaz de produzir até 2500 formatos, ou seja, atendendo a média mensal de 10500 formatos, fez-se necessário a fabricação de apenas quatro novos componentes metálicos, com um custo total de R\$ 2988,00. Desta forma, pode se observar através dos principais fatores variáveis dos processos de produção da empresa de estudo e de aspersão térmica, um ganho de R\$ 1569,00 do processo com aspersão térmica em relação ao processo anterior.

5 CONCLUSÃO

Atendendo ao objetivo geral dessa pesquisa, o processo de aspersão térmica minimiza impactos causados pelas paradas de máquinas e equipamentos para a substituição de componentes metálicos com desgaste por abrasão na indústria refratarista, desde que seja feito adequadamente. Com base na metodologia deste estudo, pode-se dizer que o processo de aspersão térmica aplicada em componentes metálicos atende aos objetivos desejados pela Organização, como forma de melhoria de seu processo produtivo, através da inovação do produto. São indicados aços com alta tenacidade (D6), e limitando aplicação da aspersão térmica a 0,2mm de espessura.

Na empresa de estudo foram obtidos 34% de redução em sua produção, observado os resultados comparados através de dados de sua produção anterior com o atual processo. Desta forma, o planejamento de experimento, através da definição da melhor variável que justifique aumento do tempo de vida útil do componente metálico, define a aspersão térmica como a solução para o desgaste abrasivo.

5.1 Proposta para trabalhos futuros

Este trabalho pode ser usado como base para pesquisas futuras, tanto para a empresa estudada, quanto para outros pesquisadores de diferentes ramos de atuação. Nesse cenário, poderá ser considerados pelos novos pesquisadores, estudos de viabilidade técnica nos processos, tendo como foco o aperfeiçoamento do processo atual por meio de nova técnica de alteração do produto. Deseja-se que sejam testados novos tipos de aços e espessura da camada depositada pelo processo de aspersão sobre o novo componente de estudo, assim como novas durezas de tratamento térmico.

REFERÊNCIAS

APPOLINÁRIO, Fabio. **Dicionário de metodologia científica**: um guia para produção do conhecimento científico. São Paulo: Atlas, 2004, 300p.

APPOLINÁRIO, Fabio. **Metodologia da ciência**: filosofia e prática da pesquisa. São Paulo: Thomson, 2006, 209p.

BARRETO, Alcyrus Vieira Pinto; HONORATO, Cezar de Freitas. **Manual de sobrevivência na selva acadêmica**. Rio de Janeiro: Objeto Direto, 1998.

BARROS NETO, Benício de. **Como fazer experimentos**: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 2 ed. Campinas: UNICAMP, 2003. 401p.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC - Controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 8. ed. Nova Lima: INDG tecnologia e serviços Ltda, 2004. 256p.

CASAROTTO FILHO, Nelson.; KOPITCKE, Bruno Hartmut. **Análise de investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2000, 458p.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**: característicos gerais, tratamento térmicos, principais tipos. 4.ed. São Paulo: ABM, 1977.

COLEMAN, D. E.; MONTEGOMERY, D. C. (1993). **A systematic approach to planning for a designed industrial experiment**. *Technometrics*, v.35, n.1

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2006. 206p.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do trabalho científico**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2006, 219p.

OLIVEIRA NETTO, Alvim Antônio de; TAVARES, Wolmer Ricardo. **Introdução à engenharia de produção**. Florianópolis: Visual Books, 2006. 164p.

RIJEZA. **Metalurgia**. Disponível em: < <http://www.rjeza.com.br> > Acesso em: 12 de jun. 2010.

SLACK, Nigel *et al.* **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747p.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção**: do ponto de vista de engenharia de produção. 2. ed. Porto Alegre: Bookman., 2005. 291p.