

Continuous Improvement Process

Bosch Termotecnologia SA

Nuno Miguel Mesquita Pires

Projecto Final do MIEM

Orientador na Bosch Termotecnologia SA: Engenheiro João Pereira

Orientador na FEUP: Professora Teresa Galvão



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho 2009

Resumo

Este trabalho consiste no relatório do projecto final, efectuado como parte integrante e conclusiva do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que decorreu na Bosch Termotecnologia SA.

Decorreu numa das linhas destinadas ao fabrico de câmaras de combustão para esquentadores e caldeiras. A câmara de combustão é o componente onde se processa a transferência de calor dos gases da combustão para a água.

O principal problema desta linha era a elevada incidência de defeitos na brasagem dos componentes da câmara de combustão. Como forma de minimizar este problema, decidiu-se recorrer à metodologia seis sigma. Definiu-se, inicialmente, que a implementação da metodologia iria decorrer ao longo de seis meses. Este projecto final de mestrado, descrito no decorrer deste documento, teve como objectivo acompanhar os primeiros quatro meses da implementação da metodologia, fazendo-se o planeamento, a implementação de algumas acções de melhoria e a implementação de algumas acções de controlo. Esperava-se ainda, que no final dos primeiros quatro meses, já se verificasse alguma redução no valor da taxa de incidência de defeitos de brasagem.

O objectivo definido para o projecto seis sigma, a decorrer na empresa, consistia na diminuição da taxa de incidência de brasagem em 81% do valor relativo à média de incidência do ano anterior (2008).

Um projecto 6 sigma tem como espinha dorsal o modelo DMAIC (“*Define*”, “*Measure*”, “*Analyse*”, “*Improve*” e “*Control*”). Na fase “*Define*” foram definidos os objectivos, foi criada uma equipa pluridisciplinar, foi dada uma breve introdução à metodologia 6 sigma, bem como às ferramentas que lhe estão associadas e foram definidas quais as oportunidades mensuráveis do processo que consistem em variáveis que seria importante medir na fase seguinte do projecto, “*Measure*”. Estas medições servem para medir o desempenho do processo a fim de se determinar pontos em que o processo poderá ser melhorado. Na fase posterior, “*Analyse*” fez-se a respectiva análise dos dados recolhidos. As conclusões daqui retiradas serviram como base para os melhoramentos a fazer-se na fase seguinte, “*Improve*”. Na fase “*Control*” utilizaram-se técnicas que permitiram solidificar os melhoramentos introduzidos através da criação de procedimentos e estabelecimento de critérios.

Os objectivos definidos para este projecto final de mestrado foram claramente atingidos, dado que se conseguiu planear e implementar um grande número de acções de melhoria e algumas acções de controlo do processo. Apesar de terem surgido alguns imprevistos na linha de produção, verificou-se uma clara redução na taxa de incidência de defeitos de brasagem, tendo essa redução superado as expectativas iniciais para esta fase do projecto.

Quando estes imprevistos estiverem resolvidos e todas as acções definidas para o projecto estiverem implementadas, espera-se que o objectivo delineado para o projecto seis sigma da empresa seja cumprido.

Abstract

This text is the final project that is the conclusive part of the Mechanical Engineer Integrated Master of “*Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*” that ran in Bosch Termotecnologia SA.

It was done in one of the lines that produces heat exchangers. The heat exchanger is the component where the heat transfer is done, from de combustion gases to the water.

The greatest problem in this line was the high defect rate in the heat exchanger brazing process. To minimize this problem, it was decided to use the six sigma methodology. It was defined that the methodology implementation would course during six months. This master final project, described during this document, had the objective to follow the initial four months of the implementation, doing the six sigma project planning, some improvement and control actions implementation. It was expected that in the final of the first four months, a reduction of the defect brazing rate could be observed.

The objective defined to the six sigma project, coursing on the company, was the reduction of the brazing defect rate in 81% of the mean value of the last year (2008).

A six sigma project has the DMAIC (“Define”, “Measure”, “Analise”, “Improve” and “Control”) model as its basis. In the Define phase it were defined the objectives, it was created the team, it was given a light presentation of the methodology and the associated tools and it were defined measurable opportunities that consist in the variables that were important to measure in the next phase, “Measure”. These measurements had the purpose of measuring the process performance to determine the points where the process could be improved. In the next phase, “Analyze” it was done the respective data analyses. The conclusions were the base to determine which improvements should be done in the next phase, “Improve”. In the “Control” phase it were used techniques to maintain the improvements implemented by the creation of procedures e the criteria’s establishment.

The objectives defined to this master final project were clearly achieved, since it was planned and implemented a lot of improvement actions and some control process actions. Despite some setbacks occur in the production line, it was verified a clear reduction in the brazing defect rate. This reduction exceeded the initial expectations to this project phase.

With all this problems solved and all the defined actions implemented it’s expected that the objective defined to the company six sigma project will be accomplished.

Agradecimentos

Expresso aqui os meus agradecimentos a todas as pessoas que me ajudaram ao longo deste projecto, contribuindo para o sucesso do mesmo.

À Professora Doutora Teresa Galvão, orientadora da FEUP, pela disponibilidade para esclarecimento de todas as dúvidas a respeito deste projecto e pelo apoio prestado durante o decorrer do mesmo.

Ao Engenheiro João Pereira, orientador da Bosch Termotecnologia SA, pela sua disponibilidade, cooperação e camaradagem. O seu grande contributo não se cingiu somente à constante orientação nos conteúdos abordados durante o projecto, mas também, pela sua ajuda na minha integração na empresa.

Ao Engenheiro Aníbal Esteves, engenheiro de processo da secção de câmaras de combustão da Bosch Termotecnologia SA, pela sua disponibilidade para esclarecer qualquer dúvida respeitante ao processo produtivo de câmaras de combustão.

Ao Engenheiro José Gonçalves, engenheiro responsável pelo TPM da Bosch Termotecnologia SA pela sua disponibilidade para esclarecimentos sob acções ligadas ao TPM.

Ao Engenheiro Manuel Neto, engenheiro responsável pelo departamento de produção da Bosch Termotecnologia SA pela aprovação deste projecto.

À Bosch Termotecnologia SA pela iniciativa de levar a cabo este projecto de estágio, bem como pelo financiamento do estágio.

Aos meus colegas de estágio pelos bons momentos de descontração passados nos intervalos de lazer e fora do horário de trabalho.

Por fim, resta-me agradecer aos meus pais, aos meus avós e à minha namorada pelo apoio prestado e suporte emocional no decorrer deste período académico.

Índice

1 - Introdução.....	1
1.1 – Motivação e objectivos	1
1.2 – Contexto	1
1.3 – Apresentação da empresa (Bosch Termotecnologia SA).....	2
1.4 – Funcionamento de um esquentador	5
1.5 – Brasagem (processo de ligação de metais).....	10
1.6 – Importância das soldaduras neste projecto em particular	11
1.7 – Estrutura do documento	13
2 – Metodologia seis sigma	14
2.1 – Modelo DMAIC	20
2.1.1 – Define	20
2.1.2 – Measure	20
2.1.3 – Analyse.....	20
2.1.4 – Improve	20
2.1.5 – Control.....	20
2.2 - Erros comuns na aplicação da metodologia seis sigma.....	20
3 - Apresentação do projecto	23
3.1 – Projecto seis sigma	23
3.2 – Processo de fabrico	23
3.2.1 – Fabrico de serpentinas.....	25
3.2.2 – Fabrico de saias.....	27
3.2.3 – Montagem de serpentinas, cotovelos e fusíveis na saia	28
3.2.4 – Soldadura por pontos	29
3.2.5 – Expansão	30
3.2.6 – Entrada do forno	30
3.2.7 – Forno	31
3.2.8 – Acabamentos finais	31
3.3 – Tipos de incidências.....	32
3.4 – Estatísticas da linha (antes do projecto).....	33
4 – Implementação da metodologia 6 sigma na linha nº3 da secção de câmaras de combustão	34
4.1 – Define	37
4.1.1 – Elaboração da matriz XY	39

4.1.2– Registo das incidências	41
4.1.3 – Identificação das câmaras de combustão fabricadas na linha 2.....	42
4.1.4 – Avaliação dos critérios de aceitação que os colaboradores dos acabamentos finais utilizam.....	42
4.1.5 – Medição de serpentinas	42
4.1.6 – Medição do perfil de temperatura do forno.....	43
4.1.7 – Medição das folgas entre as serpentinas e a saia	43
4.1.8 – Propriedades do cobre	44
4.1.9 – Máquina de dobragem de serpentinas.....	44
4.2 – Measure / Analyse	45
4.2.1 – Avaliação dos critérios de aceitação que os colaboradores dos acabamentos finais utilizam.....	45
4.2.2 – Segunda avaliação dos critérios de aceitação para os colaboradores dos acabamentos finais.....	47
4.2.3 – Medição do perfil de temperaturas do forno 5	48
4.2.4 – Medição das folgas entre as serpentinas e a saia	49
4.2.5 – Medição das propriedades do cobre (chapa para fabrico de saias).....	52
4.2.5 – Teste de delimitação do problema da variabilidade das serpentinas	53
4.3 – Improve	54
4.3.1 – Definição dos critérios de inspecção de soldadura	54
4.3.2 – Formação sobre critérios de inspecção de soldadura dada aos colaboradores dos acabamentos finais	55
4.3.3 – Nivelamento da máquina de serpentinas.....	55
4.3.4 – Troca dos rolos de tracção da máquina das serpentinas.....	56
4.3.5 – Ajustes das serpentinas.....	57
4.3.6 – Ajustes da máquina de soldar por pontos.....	57
4.3.7 – Ajuste da máquina de expansão.....	57
4.4 – Control	58
4.4.1 – Estabelecimento de procedimento para controlar serpentinas.....	58
4.4.2. – Colocação de dossier com os critérios de aceitação junto dos acabamentos finais	59
4.4.3 – Limites de reacção	59
4.4.4 – Registo de incidências.....	59
5 – Apresentação e discussão dos resultados encontrados	60
6 – Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	65

7- Referências bibliográficas	67
8 – Bibliografia	68
Anexo A – Registo das folgas medidas à entrada do forno e respectivo resultado verificado à saída do forno.	69
Anexo B – Critérios de Brasagem definidos	73

Capítulo 1 - Introdução

1.1 – Motivação e objectivos

O presente trabalho consiste no relatório do projecto final, efectuado como parte integrante e conclusiva do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que decorreu na Bosch Termotecnologia SA.

O projecto final de mestrado, descrito no decorrer deste documento, teve como tema a melhoria contínua associada ao processo de fabrico. O seu objectivo foi o acompanhamento dos primeiros quatro meses do projecto de implementação da metodologia seis sigma (este projecto tinha a duração prevista de seis meses), aplicada numa das linhas de produção de câmaras de combustão para esquentadores e caldeiras da empresa. Fazia parte desse objectivo o planeamento, a implementação de algumas acções de melhoria e a implementação de algumas acções de controlo. Esperava-se ainda, que no final dos primeiros quatro meses, já se verificasse alguma redução no valor da taxa de incidência de defeitos de brasagem.

A metodologia seis sigma foi encarada como a melhor ferramenta, de que se dispunha, para minimizar o principal problema ligado ao processo de fabrico da secção: a elevada incidência de defeitos de brasagem.

Esse projecto seis sigma, a decorrer na empresa, teve objectivos bem mais modestos, em termos de variabilidade do processo, do que os habituais num projecto seis sigma, uma vez que este processo de brasagem em particular, é extremamente difícil de controlar, sendo praticamente impossível tornar rentável todo o investimento necessário para se conseguir reduzir a variabilidade aos níveis típicos de um projecto seis sigma. No entanto, um dos objectivos deste projecto é também mostrar que a metodologia seis sigma é, sem margem para dúvida, uma ferramenta efectiva na redução da variabilidade, mesmo no caso de processos complexos, onde existe uma elevada dificuldade na amortização do investimento que será necessário realizar para se conseguir uma variabilidade a níveis seis sigma. Neste projecto, pretende-se que os objectivos sejam alcançados sem recurso a grandes investimentos financeiros. Salva-se ainda que, como em qualquer outro projecto de melhoria da qualidade, o finalizar do projecto e eventual cumprimento dos objectivos delineados, não dão por encerrado o trabalho de melhoria do processo. O conceito de melhoria contínua, tal como referido na norma ISO 9000:2000 implica que *“a melhoria contínua do desempenho global de uma organização seja um objectivo permanente dessa organização”* (1), sendo que a premissa anterior se poderá particularizar a um qualquer processo específico da organização, uma vez que a melhoria do desempenho global de uma organização se faz melhorando o desempenho dos processos particulares que definem as actividades da organização.

1.2 – Contexto

Um esquentador tem como função aquecer água. O componente onde se processa a transferência do calor proveniente da combustão do gás para a água é a câmara de combustão. Compreende-se assim, a necessidade de que este componente seja fabricado sob apertados requisitos de qualidade. Além de ser o componente no qual se processa a função a que se

destina um esquentador, apresenta-se como um componente crítico, uma vez que, a queima de gás ocorre no seu interior, sendo a câmara de combustão que confina o local da combustão e limita a dispersão dos gases combustão. A câmara de combustão é ainda o componente do esquentador que define o seu caudal máximo e a sua potência.

O principal problema da linha em questão prendia-se na elevada taxa de incidência na brasagem dos componentes das câmaras de combustão. Este projecto teve como objectivo reduzir a taxa de incidências de brasagem, uma vez que urgia controlar este problema. Uma taxa de incidências com a dimensão que se verificava no início do projecto implicava um elevado trabalho de recuperação de câmaras de combustão. Este trabalho de recuperação origina, além dos custos directamente imputáveis á recuperação das unidades defeituosas, tempo perdido, bem como perda de qualidade. As perdas de qualidade existem uma vez que, uma câmara sujeita a trabalhos de recuperação de brasagem irá sofrer aquecimentos localizados que originarão tensões acrescidas que poderão originar deformações. Estas eventuais deformações poderão causar problemas de montagem nas linhas finais.

Esta situação torna-se insustentável devido à elevada concorrência existente no mercado. Actualmente, o aumento das margens de lucro de uma empresa não pode ser resultado do aumento do preço do produto, uma vez que, este é definido pelo mercado. A forma de melhorar as margens de lucro de uma empresa é reduzir os custos de fabrico. Os custos de fabrico devem reduzir-se melhorando o processo, reduzindo tudo o que seja desperdício, sendo imprescindível não só manter a qualidade do produto, mas antes melhorá-la.

Apesar de todos os problemas originados pela necessidade de recuperação de unidades defeituosas, estes trabalhos de recuperação são relativamente simples e relativamente pouco dispendiosos. Para outro tipo de processos, chega a ser mais dispendioso recuperar unidades defeituosas que eliminá-las e substituí-las por unidades novas. Não é o caso deste processo. Neste processo, as unidades cuja brasagem no forno não foi bem sucedida podem ser brasadas manualmente. Por estas razões, o investimento para redução de incidência nunca poderá ser muito elevado, uma vez que é de lenta amortização. Desta forma, é também objectivo deste projecto, reduzir a variabilidade através da exploração do máximo potencial da maquinaria existente.

1.3 – Apresentação da empresa (Bosch Termotecnologia SA)

A Bosch Termotecnologia SA é uma empresa do grupo Bosch, localizada em Cacia, Aveiro (2). O seu ramo de negócio é a produção e comercialização de produtos destinados ao aquecimento de águas sanitárias. De entre esses produtos destacam-se os esquentadores, caldeiras e mais recentemente, os painéis solares. Na figura 1 podem ver-se exemplos destes três produtos. Esta empresa surgiu inicialmente em 1977 sob o nome Vulcano, altura em que era uma empresa de capital nacional (2). Iniciou o seu funcionamento após ter estabelecido um contrato de licenciamento com a Robert Bosch, para a transferência da tecnologia utilizada pela empresa alemã, para a produção de esquentadores, o que resultou numa mais-valia em termos de know-how para a Vulcano (2). Dessa forma, conquistou rapidamente o estatuto de líder no mercado de esquentadores em Portugal (2).



Figura 1 – Exemplos de alguns dos produtos fabricados na Bosch Termotecnologia, a)- esquentador; b)- caldeira; c)- painel solar. (Figuras retiradas de www.vulcano.pt, em 30/06/09)

Anos mais tarde, a Vulcano acabou por ser maioritariamente adquirida pelo grupo Bosch, passando a integrar a Divisão Termotécnica da Bosch (2). Com esta aquisição foram transferidas para Portugal ainda mais competências e equipamento, o que levou a um grande crescimento que a transformou no 3º maior produtor de esquentadores a nível mundial (2).

Este crescimento foi sustentado pela enorme sofisticação e inovação dos esquentadores produzidos. A introdução dos esquentadores inteligentes, que possibilitam a ignição automática da chama, foi a inovação que mais revolucionou o funcionamento dos esquentadores desde a sua invenção (2). Este novo sistema aumentou imenso a facilidade de utilização e a funcionalidade dos esquentadores, tendo, desta forma, sido dada uma grande notoriedade à empresa (2). Passou a ser reconhecida como a marca tecnologicamente mais evoluída do mercado (2).

Esta sofisticação e inovação dos produtos é um dos principais garantes do sucesso da empresa, no entanto, estes factores não são suficientes para conquistar o mercado. Nos dias que correm é também crucial garantir um preço competitivo. O binómio preço qualidade é bastante complexo, dado que o aumento da qualidade tende a elevar o preço. No entanto, o cliente exige produtos de alta qualidade ao mais baixo preço. Como mérito pelo esforço demonstrado no âmbito da melhoria da qualidade, a Bosch Termotecnologia SA ostenta a distinção de ser uma empresa certificada pela norma ISO 9001-2001 (2).

Além dos factores inerentes às características dos produtos da empresa, existem outros aspectos, de elevada preponderância, que todas as empresas devem respeitar. O respeito pelo meio ambiente é um dos aspectos a ter em conta. Deve garantir-se que todas as normas

ambientais são cumpridas. A Bosch não descuroou estes factores nas suas políticas e prova disso é a certificação ambiental que já obteve: Certificação Ambiental de acordo com a norma ISO 14001 (2).

Outros dos factores a ter em conta são os factores sociais. É desejável, para todas as partes envolvidas, que o ambiente de trabalho dentro da empresa seja harmonioso, agradável e seguro. A Bosch é uma empresa que dá uma grande importância ao bem-estar e à segurança dos seus colaboradores. Sempre que um colaborador inicia a sua ligação com a Bosch é-lhe dada uma formação inicial, na qual lhe são apresentadas as políticas e regras da empresa, o que facilita a sua integração no novo local de trabalho. Um dos módulos mais importantes dessa formação é, sem dúvida, o módulo sobre segurança, onde são apresentadas todas as regras e procedimentos a seguir de forma a evitar que ocorram acidentes, bem como as regras e procedimentos a seguir quando eventuais acidentes ocorrem. É ainda importante que os colaboradores se sintam motivados e sintam que o seu trabalho dentro da empresa é reconhecido. Uma das formas que a empresa utiliza para motivar os colaboradores é o sistema de sugestões. Os colaboradores podem dar sugestões que melhorem o funcionamento de qualquer processo da empresa, se estas sugestões poderem ser aplicadas são atribuídos pontos ao colaborador que podem ser trocados por prémios. Caso a sugestão aprovada seja relativa ao processo produtivo e represente uma poupança monetária para a empresa, o colaborador terá direito a uma percentagem do valor anual que a empresa conseguir poupar. Estas sugestões além de, por vezes, proporcionarem poupanças para a empresa, representam, na maior parte das vezes, a melhoria da segurança, ergonomia ou da funcionalidade do posto de trabalho, no entanto o seu principal objectivo é, sem dúvida, aumentar os índices motivacionais dos colaboradores.

As instalações da em empresa, em Cacia, cobrem uma extensão área. Existe uma série de edifícios de entre os quais se destaca o edifício fabril, onde são produzidos os esquentadores e caldeira. A área, no interior deste edifício é divididas em duas zonas principais, uma delas é destinada ao fabrico de componentes, enquanto a outra recebe esses componentes procedendo à sua montagem. A área destinada ao fabrico de componentes está, por sua vez, organizada por secções, sendo que cada uma dessas secções produz um determinado tipo de componentes. Este projecto decorreu na secção de câmaras de combustão. A secção de câmaras combustão é ainda dividida em 3 linhas que serão no seguimento deste texto apelidadas de linha um, linha dois e linha três. As principais diferenças entre estas três linhas, no que diz respeito à cadência produtiva, grau de automação e flexibilidade da linha encontram-se resumidas na tabela 1.

Tabela 1 – Principais características das três linhas de produção da secção de câmaras de combustão.

	Linha 1	Linha 2	Linha 3
Cadência produtiva	Muito Alta	Alta	Baixa
Grau de automação	Alto	Médio	Baixo
Flexibilidade da linha	Muito Baixa	Média	Muito Alta

Este projecto decorreu na linha nº2 que é uma linha de cadência produtiva alta, uma vez que nela se produzem câmaras para esquentadores e caldeiras com uma procura razoavelmente elevada. O grau de automação desta linha é médio quando comparado com as restantes linhas. A flexibilidade da linha encontra-se também ela numa posição intermédia entre as duas outras linhas, produzindo câmaras com três capacidades diferentes, multiplicadas por algumas variações de pormenor que cada capacidade pode apresentar em alguns dos seus componentes.

1.4 – Funcionamento de um esquentador

Neste subcapítulo far-se-á a descrição do funcionamento de um esquentador, sendo ainda válida para o caso das caldeiras murais, também produzidas na empresa, dado que, o seu princípio de funcionamento é muito semelhante ao dos esquentadores. Será, no entanto, uma descrição muito sucinta, uma vez que o seu principal objectivo é familiarizar o leitor com os componentes das câmaras de combustão que serão descritos e referidos no decorrer deste texto. Far-se-á uma maior focalização no funcionamento das câmaras de combustão, uma vez que foi sobre este componente que incidiu o projecto aqui relatado.

Pode dizer-se que um esquentador é um aparelho que se destina à produção de água quente sanitária. É aqui que reside a grande diferença entre os esquentadores e as caldeiras, o fim a que se destina a água quente produzida. No caso das caldeiras, além de se produzir água quente sanitária, a água quente produzida poderá ainda ser utilizada para sistemas de aquecimento central. Existem dois tipos de caldeira, as murais que apresentam uma configuração e dimensão semelhantes à dos esquentadores vulgares, sendo a sua fixação realizada numa parede e existem ainda, as caldeiras de chão que possuem uma instalação assente no solo. Pode ver-se na figura 2 exemplos dos dois tipos de caldeira que se produzem na empresa, mural e de chão. As caldeiras de chão já apresentam uma geometria bastante diferente das caldeiras murais e dos esquentadores. Em termos de componentes são também bastante diferentes, sendo que a transferência de calor é feito recorrendo-se a uma solução distinta, sendo que este tipo de caldeiras não é equipado com as câmaras de combustão produzidas na secção onde decorreu o projecto.

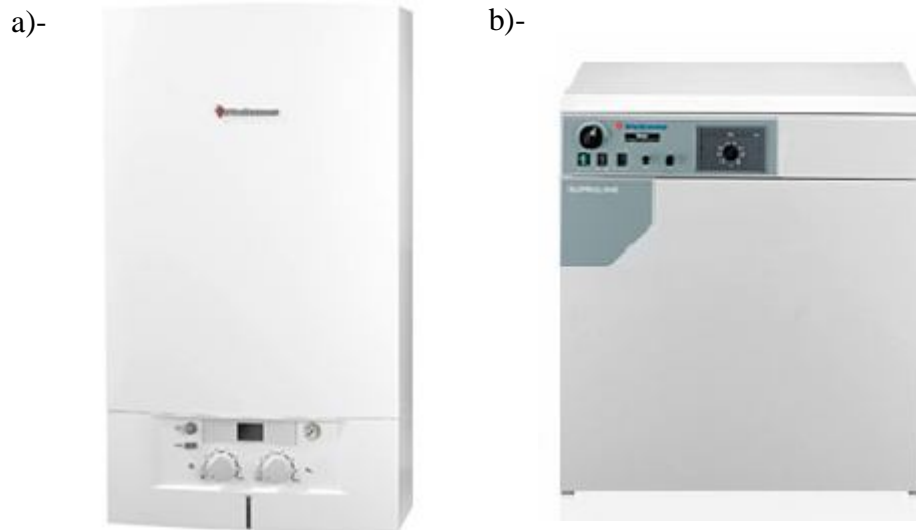


Figura 2 – Tipos de caldeira produzidos: a)- caldeira mural; c)- caldeira de chão (fotos retiradas de www.vulcano.pt a 30/06/2009)

Os esquentadores ou caldeiras, como já foi descrito anteriormente, são aparelhos destinados ao aquecimento de água. A fonte desse aquecimento é a combustão de um gás, geralmente butano, propano ou gás natural. Como é evidente, a combustão do gás deve ser feita no interior de um espaço minimamente confinado, onde se promova a transferência de calor dos gases em combustão para a água. Esse componente é a câmara de combustão ilustrada na figura 3.



Figura 3 – Exemplo de uma câmara de combustão, as duas fotos representam duas vistas da mesma câmara de combustão.

Uma câmara de combustão é composta pelos seguintes componentes:

- Saia;
- Tubos em “U”;
- Turbuladores;
- Lamelas;
- Serpentina de água quente;
- Serpentina de água fria;
- Cotovelo;
- Fusível.

Os tubos em “U”, os turbuladores e as lamelas, formarão o bloco de lamelas. Estes componentes encontram-se ilustrados de forma individual na figura 4.



Figura 4 – Conjunto de componentes que formam o bloco de lamelas: a)- turbulador; b)- tubo em “U”; c)- lamela.

As platinas originam a saia através de um processo descrito mais à frente. A ilustração destes dois componentes encontra-se na figura 5.

a)-



b)-



Figura 5 – a)- conjunto de platinas; b)- saia.

A saia será posteriormente furada e conformada na sua zona inferior, de seguida ser-lhe-á montado o bloco de lamelas e depois, a serpentina de água quente e de água fria. A tubagem de água da câmara de combustão fica finalizada com o recurso ao cotovelo e ao fusível que fazem a união entre as serpentinas e os tubos em “U”. As serpentinas, o cotovelo e o fusível encontram-se ilustrados na figura 6.



Figura 6 – a)- serpentina de água fria; b)- serpentina de água quente; c)- cotovelo; d)- fusível.

A saia funciona como um invólucro dentro do qual ocorre a combustão. Na zona inferior da saia é montado o queimador de gás (essa montagem não é feita na secção de câmaras de combustão, é feita nas linhas finais), enquanto na zona superior da saia é montado o bloco de lamelas (conjunto de todas as lamelas montadas nos tubos em “U”). As lamelas são soldadas aos tubos em “U” e funcionam como alhetas, maximizando desta forma a transferência de calor para a água que circula no interior dos tubos em “U”, uma vez que aumentam a superfície de contacto com os gases provenientes da combustão. Existe ainda um outro componente que tem por função maximizar a transferência de calor: o turbulador. Em cada câmara de combustão existem 4 turbuladores que se encontram no interior de cada um dos segmentos rectos dos tubos em “U”. A sua função é criar turbulência, aumentando desta forma a agitação molecular da água no interior da tubagem, facilitando a transferência de calor. As serpentinas servem para transportar água de e para os tubos em “U”, tendo ainda

uma outra importante função: promovem o arrefecimento da saia evitando que ela sobreaqueça. À serpentina que leva a água para os tubos em “U” chama-se serpentina de água fria, uma vez que a água que nela circula ainda se encontra a uma temperatura relativamente baixa. À serpentina que leva a água dos tubos em “U” para a rede de canalização chama-se serpentina de água quente, uma vez que transporta água já aquecida. É de notar que o aquecimento da água se inicia na serpentina de água fria e na serpentina de água quente também ainda ocorre alguma transferência de calor, no entanto, a zona onde ocorre uma transferência de calor mais intensa é nos tubos em U. Além da utilização de turbuladores e de lamelas nos tubos em U existe ainda outra razão para o facto de ser esta a zona em que se processa a maior quota de transferência de calor para a água: a própria geometria da câmara de combustão. O bloco de lamelas fica precisamente por cima dos queimadores, sendo que os gases da combustão sobem por convecção (forçada, no caso dos esquentadores ventilados). Como a saia delimita a zona de combustão e os gases quentes têm tendência a subir, a exaustão dos gases queimados só se poderá fazer pelo topo superior da câmara. Uma vez que o topo da câmara se encontra preenchido com o bloco de lamelas, os gases são forçados a passar pelos espaços entre as lamelas.

Uma vez que a principal função da câmara de combustão é promover transferência de calor dos gases resultantes da combustão para a água que circula no interior da tubagem, fica claro que todos os componentes apresentados anteriormente devem ser fabricados num material que seja bom condutor térmico. O material de eleição neste tipo de equipamentos é o cobre que, além de ser um bom condutor térmico, possui ainda outras características que fazem dele a melhor escolha, sendo de destacar a sua elevada capacidade de conformação plástica. Esta propriedade é amplamente aproveitada no fabrico de componentes, entre os quais se destaca toda a tubagem destinada à circulação de água.

Dado que o cobre não é utilizado no seu estado puro, são antes utilizadas ligas de cobre, as propriedades do material podem ser ajustadas consoante as necessidades. Adicionando elementos de liga apropriados pode melhorar-se as propriedades, para que se ajustem aos requisitos.

1.5 – Brasagem (processo de ligação de metais)

A brasagem é um processo de ligação de metais, cuja ligação é conseguida através de um aquecimento abaixo da temperatura de fusão dos mesmos. Como não há fusão dos materiais a brasar é necessário adicionar uma liga de solda (metal de adição) no estado líquido, ou seja, a sua temperatura de fusão terá de ser inferior à temperatura de fusão dos metais que se pretende ligar. De uma forma geral, num processo de brasagem é necessário colocar os dois metais a ligar na posição pretendida, deve, no entanto, existir uma pequena folga entre eles. O metal de adição utilizado é colocado, fundido junto da junta, por capilaridade o metal de adição penetra na folga existente entre os dois metais e, uma vez arrefecido, a junta torna-se rígida e resistente.

A união ocorre através da combinação de três efeitos:

- Molhabilidade: é o poder que um líquido tem de molhar um sólido, podendo fluir sobre o mesmo, deixando uma película. Na brasagem este efeito é identificado como a fluidez do metal de adição sobre as superfícies aquecidas.

- **Capilaridade:** é um fenómeno físico que promove pressão sobre líquidos, fazendo com que penetrem entre duas superfícies muito próximas. Na brasagem a capilaridade é obtida através da folga entre as peças a serem unidas, a qual, o metal de adição deverá preencher. Esta folga deverá apresentar uma dimensão compreendida entre 0,05 mm e 0,20 mm.
- **Difusão molecular:** é um processo espontâneo de transporte de moléculas do sistema cristalino de um material para o outro. Com o aquecimento, as moléculas do material base distanciam-se e o metal de adição no estado líquido penetra entre essas moléculas. No arrefecimento as moléculas atraem-se, contraindo o metal de adição, gerando-se, desta forma, aderência entre o material base e o metal de adição.

Para que todos esses efeitos ocorram de forma satisfatória, algumas características fundamentais da preparação das juntas devem ser observadas: as partes a serem unidas devem estar completamente limpas, isentas de óleo, graxa, poeira, tinta, oxidação e quaisquer outros detritos; as folgas devem estar compreendidas entre os valores especificados para o método de aquecimento empregado; o metal de adição e fluxo devem ser adequados às ligas de materiais base a serem unidas.

1.6 – Importância das soldaduras neste projecto em particular

Como foi relatado anteriormente, as câmaras de combustão possuem diversos componentes, estes componentes necessitam de ser ligados entre si, recorrendo-se a uma brasagem forte para o efeito.

As soldaduras garantem a rigidez da estrutura, no entanto, a utilidade da brasagem não se fica por aqui. Uma boa brasagem é importante para haver uma boa transferência de calor. A brasagem garante sobretudo a continuidade entre os materiais em contacto. Sabe-se que a transferência de calor por condução é mais efectiva, no entanto, para haver condução é necessário haver continuidade material (a condução é um fenómeno que ocorre por agitação molecular). Quando há um defeito de brasagem na ligação entre os componentes de uma câmara de combustão, as superfícies que se pretendiam brasar encontram-se, mais ou menos afastadas, não havendo desta forma a continuidade material que garanta uma boa condução. Mesmo que as superfícies se encontrem encostadas, estas não são perfeitamente lisas, contém micro rugosidades que não permitem que o contacto entre as superfícies seja perfeito. As soldaduras vêm colmatar esta falha, uma vez que o material fundido banha as superfícies, preenchendo todas as reentrâncias que apresentam. Se a brasagem estiver bem efectuada, pode dizer-se que existirá uma boa continuidade material.

Desta forma, caso a brasagem não esteja bem efectuada poderão surgir graves problemas, devido à transferência de calor não ser suficiente para promover um bom arrefecimento da saia e das lamelas. Quando existem defeitos de brasagem na ligação serpentina saia, não haverá uma boa transferência de calor da saia para a serpentina. Assim, se os defeitos de brasagem tiverem uma dimensão excessiva, a saia poderá sobreaquecer. Em casos extremos, este sobreaquecimento da saia pode levar à sua destruição, o que poderá causar graves problemas quer de qualidade quer de segurança. Se os defeitos de soldadura se localizarem na ligação entre os tubos em U e as lamelas, as lamelas poderão sobreaquecer e destruir-se. Se existirem defeitos de soldadura na ligação entre as lamelas e a saia, esta pode sobreaquecer e, começar a ficar danificada nesta zona.

A técnica utilizada para efectuar a soldadura é adaptada ao fluxo de produção. O aquecimento até ao ponto de fusão do material de adição é realizado no interior de um forno. O forno possui cerca de 50m de comprimento, e possui um tapete rolante que transporta as câmaras de combustão da entrada do forno até à saída. À entrada do forno, as varetas de solda são colocadas junto dos locais que se pretendem brasar. As varetas que se destinam à brasagem das serpentinas á saia, são encaixadas nos recantos formados pelas serpentinas e a saia, enquanto as varetas destinadas à brasagem das lamelas à saia são encaixadas nos recantos formados pelas lamelas e a saia. Na figura 7 encontram-se ilustradas algumas soldas colocadas no respectivo local. De seguida, coloca-se a câmara em cima do tapete rolante que a leva para o interior do forno, como se pode ver na figura 8, demorando cerca de 45min a atravessá-lo. Na parte final do forno existe uma zona de arrefecimento. Um sistema de ventilação faz com que a temperatura das câmaras desça consideravelmente. À saída do forno está colocada a zona de acabamentos finais, onde é feita a inspecção a 100%, sendo que todas as câmaras que não estejam de acordo com os critérios definidos para as soldaduras trabalhos de recuperação manuais. Este trabalho de inspecção é um trabalho difícil, uma vez que a inspecção é visual e extremamente cansativa.

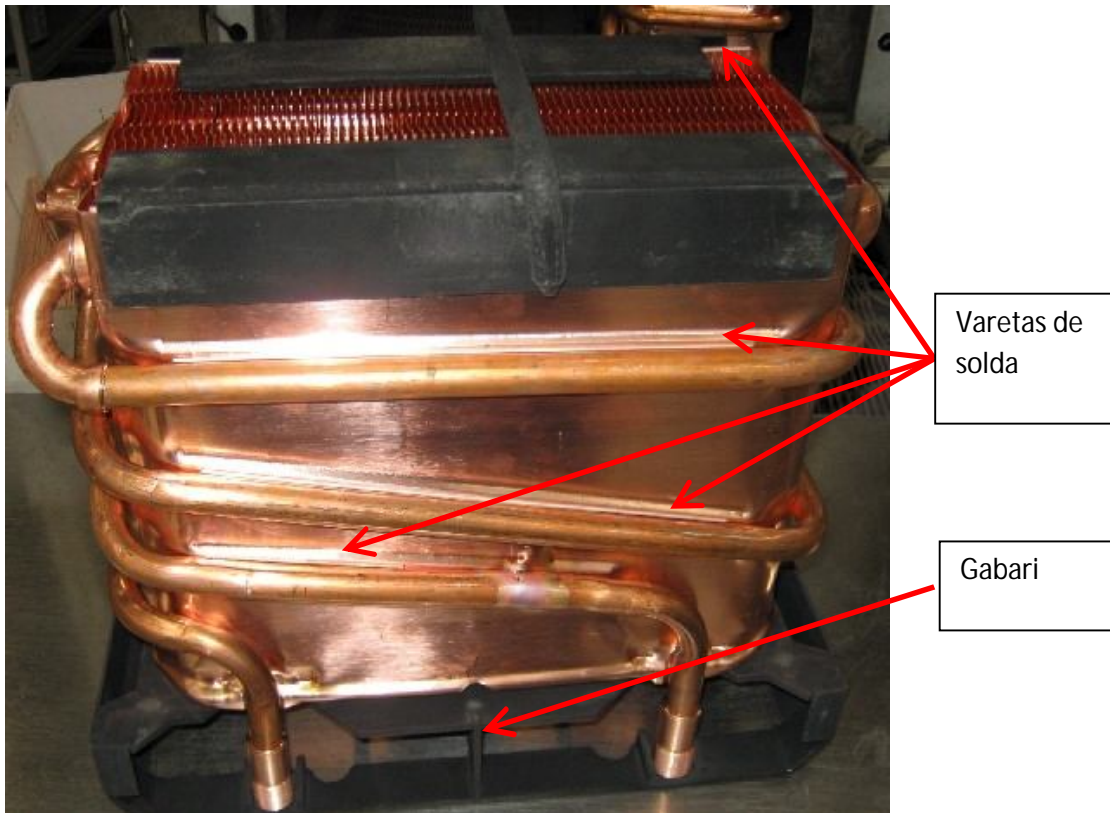


Figura 7 – Câmara de combustão com pronta para entrar no forno. Pode ver-se algumas varetas de solda em posição para a brasagem



Figura 8 – Entrada do forno

1.7 – Estrutura do documento

Este trabalho encontra-se estruturado em oito capítulos. O capítulo número um consiste na introdução do projecto. É feita a apresentação do projecto, da empresa onde o projecto decorreu e ainda a apresentação dos produtos da empresa. É ainda feita uma pequena descrição do processo de brasagem utilizado na produção das câmaras de combustão.

O segundo capítulo exhibe um enquadramento teórico a respeito da metodologia seis sigma, sendo destacados os objectivos de cada uma das fases do modelo DMAIC. É ainda feita referência aos erros mais comuns na aplicação da metodologia seis sigma.

O terceiro capítulo apresenta o projecto, sendo descritas as várias fases do processo de fabrico, caracterizados os diferentes tipos de incidência que se detectam após brasagem e apresentados os dados relativos às taxas de incidência do ano transacto.

O quarto capítulo expõe todas as tarefas executadas no decorrer do projecto desenvolvido. Essas tarefas encontram-se organizadas consoante a fase do modelo DMAIC a que pertencem.

O quinto capítulo exhibe os resultados obtidos com o decorrer do projecto, bem como, a discussão relativa à obtenção destes resultados

O sexto capítulo consiste na conclusão e na referência das perspectivas de trabalhos futuros.

O sétimo capítulo apresenta as referências bibliográficas utilizadas no decorrer da escrita deste texto.

O oitava capítulo exhibe a bibliografia.

Capítulo 2 – Metodologia Seis Sigma

Sigma é a letra grega que designa o desvio padrão. Em estatística, o desvio padrão é a medida mais comum da dispersão estatística. Mede a variabilidade de valores em torno da média.

“A variabilidade é um fenómeno absolutamente universal e inevitável. O valor que toma uma qualquer característica ou atributo de qualidade varia de elemento para elemento, de indivíduo para indivíduo. De uma forma geral, a variação pode ser atribuída a dois grandes grupos de causas:

- (i) *Causas comuns;*
- (ii) *Causas especiais (ou assinaláveis).*

As causas que se designam por comuns (que se assume serem aleatórias e independentes) são inerentes aos processos (difícilmente se podem eliminar), geralmente ocorrem em grande número e determinam que a característica em análise, embora varie de caso para caso, se comporte de acordo com uma determinada distribuição de probabilidade, estável.” (3). Admite-se então que o efeito individual de cada uma das causas comuns de variação é quase imperceptível.

No entanto, a variação pode dever-se a uma situação de instabilidade. “Tal sucederá se, para além das causas comuns, coexistirem outro tipo de causas que actuam ocasionalmente e cujos efeitos são capazes de provocar alterações nos parâmetros e/ou na forma da distribuição subjacente. Estas causas, que não são inerentes aos processos e cujos efeitos têm uma amplitude significativa, designam-se por causas especiais (ou assinaláveis) de variação. Registe-se que, neste caso, a variável em apreço toma valores imprevisíveis. Um processo sujeito a causas assinaláveis de variação estará assim (estatisticamente) no estado de descontrolo (ou fora de controlo).” (3)

A metodologia 6 sigma tem como objectivo afinar processos levando-os a atingir um patamar de “quase perfeição”. A forma de se atingir essa “quase perfeição” passa inevitavelmente pela redução da variabilidade do processo, removendo inicialmente as causas especiais de variação, caso existam, passando depois para a redução dos efeitos originados pelas causas comuns de variação.

Esta metodologia tem como principais características:

- Grande impacto para a melhoria do desempenho da organização (custos, qualidade, prazos de entrega) (4);
- Necessidade do envolvimento da gestão de topo logo desde o início do projecto (4);
- A duração do projecto é limitada e delineada à partida (tipicamente 4 a 6 meses) (4);
- O objectivo que se pretende atingir é formalizado também ele no início do projecto (4);
- Pouco ou nenhum capital é necessário (4);
- É sempre necessário estabelecer uma forma de poder medir o sucesso do projecto (4);
- Baseia-se em valores mensuráveis e muitas dessas medições são estatísticas (4);

- Pode ajustar-se perfeitamente tanto a uma organização no seu todo como apenas a um departamento ou área de negócio (4);
- Depende tanto da excelência das pessoas como da excelência técnica (4);
- Quando implementado correctamente é recompensador e motivador (4).

A principal forma de medir a variabilidade de um processo é através do desvio padrão. À medida que o desvio padrão do processo diminui vai aumentando o nível sigma do processo. Esse nível sigma representa o intervalo de confiança do processo. Pode dizer-se que a distribuição estatística relativa à maior parte dos processos segue uma distribuição muito próxima da normal. Analisando o gráfico da distribuição normal que se encontra na figura 9 observa-se que 68,27% das observações relativas ao processo ocorrem entre -1σ e $+1\sigma$, 95,45% das observações surgem num intervalo definido entre -2σ e $+2\sigma$ e por adiante até que para o intervalo compreendido entre -6σ e $+6\sigma$ se atinge 99,999998% das observações. É este o valor que a metodologia 6 sigma tem por objectivo.

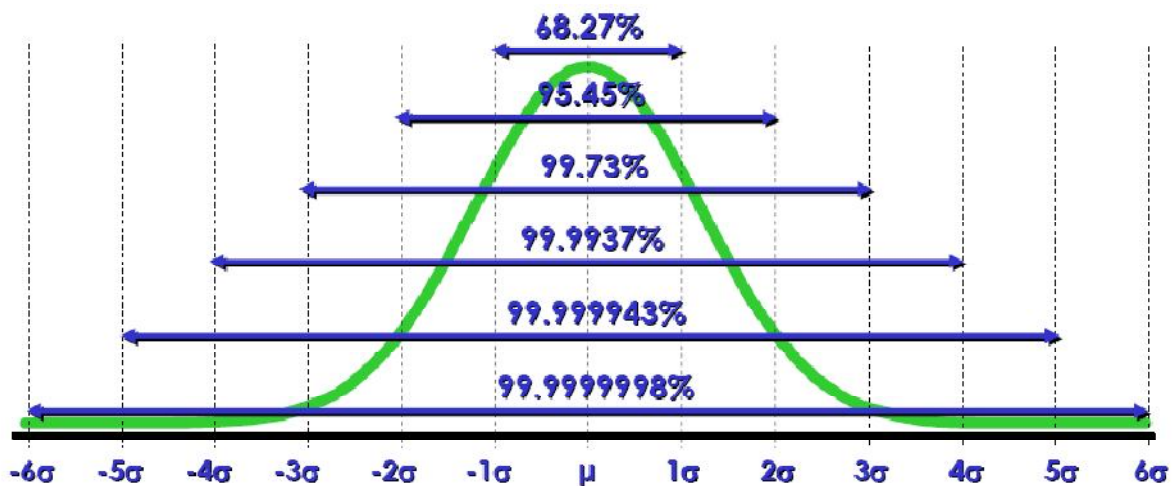


Figura 9 – Representação gráfica da distribuição normal, com indicação das percentagens das observações compreendidas dentro dos limites indicados. (Imagem retirada de: http://www.profitability.pt/documentos/SixSigma_Oqueeparaqueserve.pdf a 30/06/2009)

Quando se diz que 99,999998% das observações se encontram dentro do intervalo compreendido entre -6σ e $+6\sigma$, isso equivale a dizer que, 0.000002% das observações se encontram fora das especificações e que por sua vez isso equivale a dizer que 0.002 partes por milhão (ppm) se encontram fora das especificações. As demonstrações de como se chegou a estes valores encontram-se demonstradas na figura 10. Na figura 11 encontra-se o gráfico da distribuição normal equivalente ao gráfico da figura 9, apresentando, no entanto, os valores em ppm das observações que se encontram fora dos intervalos definidos.

$$100\% - 99.9999998\% = 0.0000002\%$$

$$\frac{0.0000002\%}{100} * 1000000 = 0.002 \text{ ppm}$$

Figura 10 – Demonstração dos cálculos necessários à determinação da quantidade de observações encontradas fora do intervalo compreendido entre -6σ e $+6\sigma$.

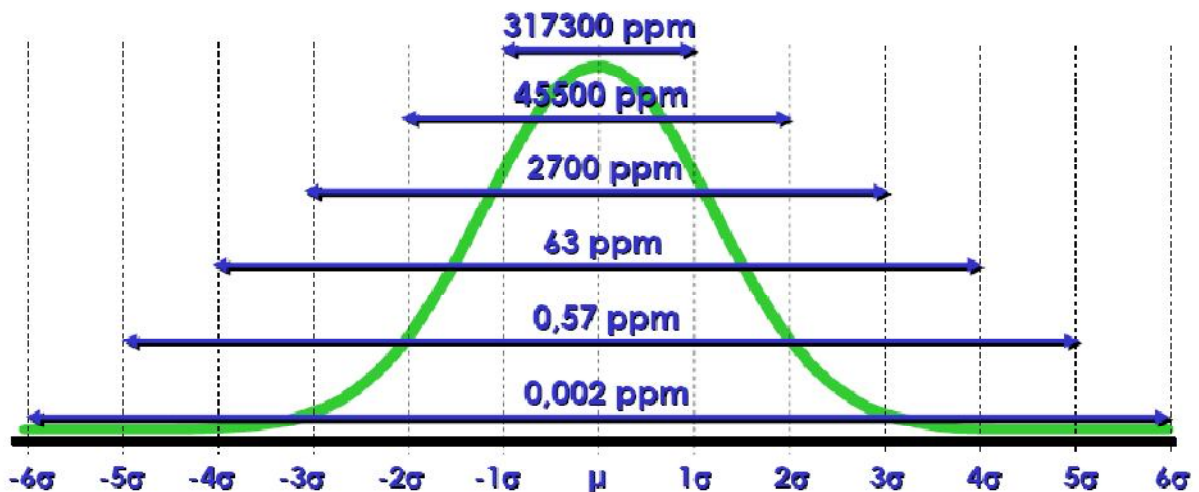


Figura 11 - Representação gráfica da distribuição normal, com indicação das observações encontradas fora dos limites indicados, em ppm. (Imagem retirada de: http://www.profitability.pt/documentos/SixSigma_Oqueeparaqueserve.pdf a 30/06/2009)

Considera-se, no entanto, que a média de um processo estável poderá variar dentro de um intervalo compreendido entre -1.5σ e $+1.5\sigma$. Considerando ainda que os limites de especificação variam entre -6σ e $+6\sigma$ obtém-se uma variação do processo compreendida entre os dois casos limite ilustrados no gráfico da figura 12.

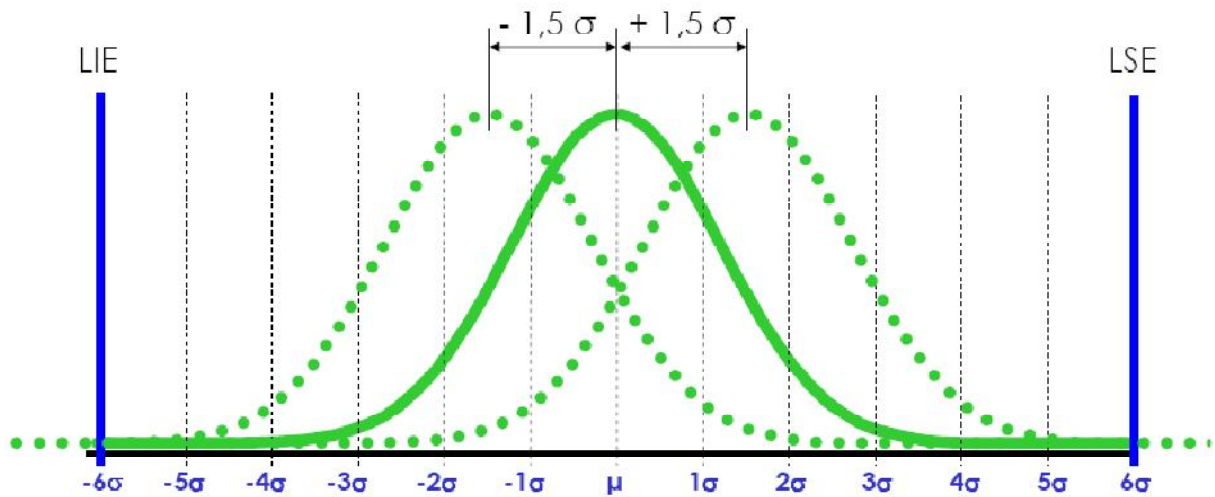


Figura 12 – Ilustração da variação que a média de um processo estável poderá apresentar. .
(Imagem retirada de:
http://www.profitability.pt/documentos/SixSigma_Oqueeparaqueserve.pdf a 30/06/2009)

Analisando a cauda direita da distribuição, para o caso em que o processo apresenta um desvio limite de $+1.5\sigma$, verifica-se que se obtém 3.4ppm de observações acima do limite superior de especificação (para o caso de um desvio de -1.5σ a situação é semelhante sendo que neste caso se teria que analisar a cauda esquerda da distribuição). É desta forma que se chega ao valor tão apregoado pela metodologia 6 sigma.

A figura 13 apresenta a demonstração gráfica do explicado no parágrafo anterior.

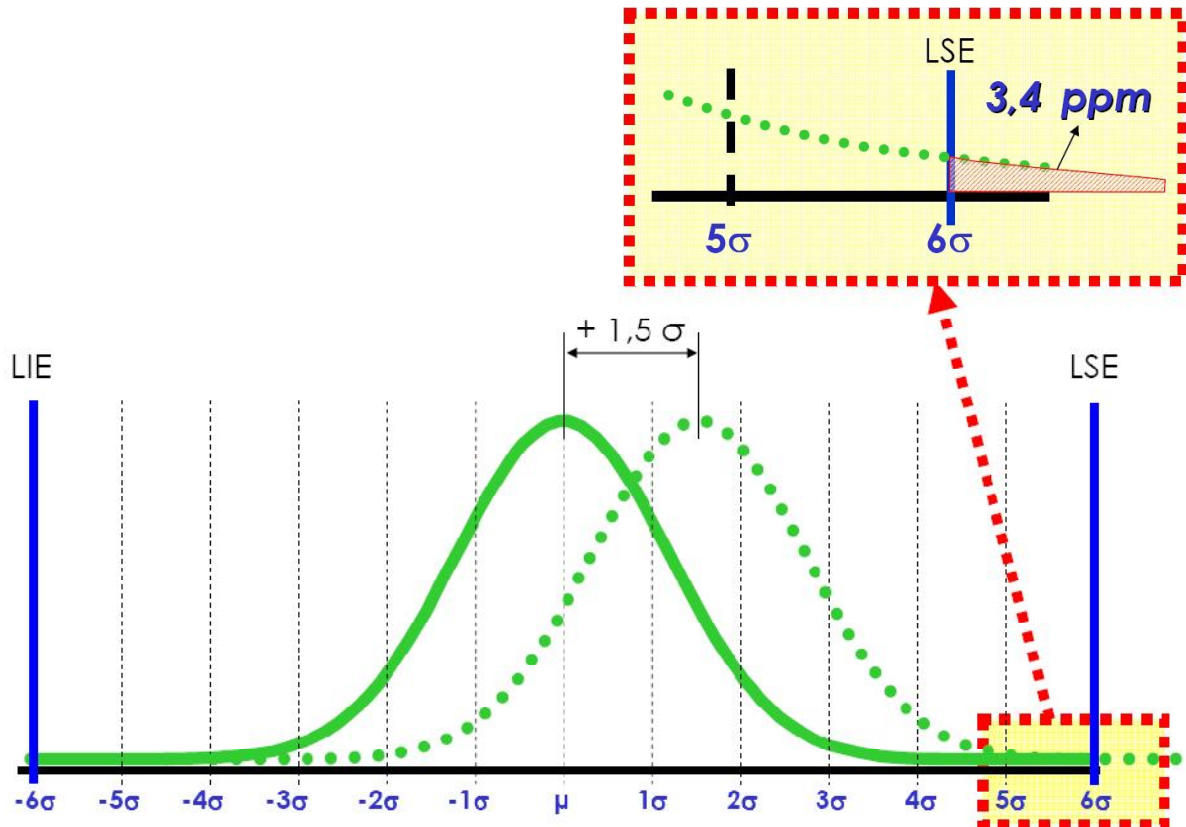


Figura 13 – Representação gráfica do valor das não conformidades, em ppm, que se verificará, para um limite superior de especificação de 6σ , quando a variação da média do processo é de $1,5\sigma$. (Imagem retirada de: http://www.profitability.pt/documentos/SixSigma_Oqueeparaqueserve.pdf a 30/06/2009)

Muitas vezes, para processos demasiados complexos que apresentam uma variabilidade elevada, 3.4 ppm poderá representar um objectivo pouco realista e extremamente difícil de alcançar. Seria, no entanto, muito pouco acertado não aproveitar esta metodologia que tão bons resultados trás na redução da variabilidade, apenas por se saber à partida que não se conseguirá atingir o objectivo de 3.4ppm. Pode nestes casos estabelecer-se um objectivo mais modesto e realista. No final do projecto, mesmo que atingido o objectivo planeado, não se poderá dar por concluídas as acções relativas à melhoria do processo, terá que se continuar a melhorar o processo de forma contínua, não só até se conseguir atingir os 3.4 ppm, mas tendo sempre como objectivo final a obtenção de zero defeitos.

Esta metodologia é especialmente adequada quando estamos perante um problema com inúmeras causas que têm ainda a particularidade de serem complexas e de difícil identificação.

A metodologia 6 sigma é apoiada por inúmeros métodos comprovados na melhoria da qualidade. Esses métodos são aplicados segundo um modelo estruturado de melhoria do desempenho conhecido pela sigla DMAIC que significa:

D – Define (definir);

M – Measure (medir);

- A – Analise (analisar);
- I – Improve (melhorar);
- C – Control (controlar).

O modelo DMAIC é análogo ao modelo PDCA utilizado em gestão da qualidade total (planear, executar, controlar e agir). Quando é identificado um problema com características propícias para uma resolução recorrendo à metodologia 6 sigma inicia-se uma sequência estruturada de passos definida pelo modelo DMAIC. Essa sequência encontra-se esquematizada na figura 14.

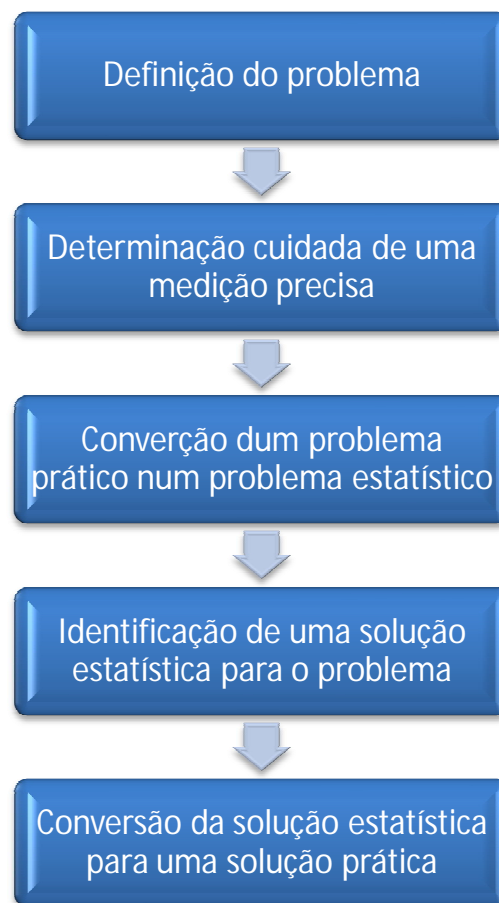


Figura 14 – Esquematização do método de resolução de problemas preconizado pelo modelo DMAIC, adaptado de:

http://www.profitability.pt/documentos/SixSigma_Oqueeparaqueserve.pdf a 30/06/2009

2.1 – Modelo DMAIC

2.1.1 – Define

Nesta fase do projecto, o “Black Belt” prepara uma equipa que inclui membros de diferentes departamentos, com os quais o problema está de alguma forma relacionado. A equipa define claramente o problema e quantifica o seu impacto financeiro. Define ainda a métrica que permite quantificar o impacto do problema no passado, bem como documentar as melhorias observadas à medida que o problema vai sendo resolvido (5).

2.1.2 – Measure

Esta nova etapa é aquela em que a equipa estuda o processo e as medições que se poderão associar ao problema. São realizados mapas de processo e definida a precisão que os sistemas de medição deverão ter. A equipa identifica causas potenciais para o problema recorrendo a uma ampla variedade de ferramentas. Os dados recolhidos nesta etapa têm especial importância, uma vez que é essencial para fundamentar com factos as nossas decisões (5). Quando se pretende demonstrar que um determinado aspecto do processo é uma das causas do problema devem recolher-se dados que permitam uma comprovação (4). Esses dados devem ser suficientemente específicos para responder às questões colocadas.

2.1.3 – Analyse

Nesta fase do problema são determinadas as causas efectivas do problema. Para se chegar às causas do problema recorre-se a uma ampla variedade de ferramentas estatísticas que permitem testar hipóteses e experimentar o processo (5). Logo que a relação entre as causas e os efeitos seja percebida, a equipa pode determinar a melhor forma de melhorar o processo e qual o benefício que essas melhorias poderão trazer (5).

2.1.4 – Improve

É nesta fase que são implementadas as mudanças necessárias para promover o aumento da performance do processo. Usando as métricas anteriormente desenvolvidas, a equipa monitoriza o processo para verificar as melhorias esperadas (5).

2.1.5 – Control

Nesta fase a equipa selecciona e implementa métodos para controlar a variação futura do processo (5). Estes métodos incluem procedimentos documentados ou métodos de controlo estatístico do processo (5). Este passo é vital para assegurar que o mesmo problema não irá regressar no futuro (5).

2.2 - Erros comuns na aplicação da metodologia seis sigma

Existem alguns tipos de erros em que uma equipa pouco experiente poderá cair facilmente durante a realização de um projecto seis sigma:

- *“Pensar que o seis sigma é e está limitado a estatística, estatística e mais estatística”* (4). As ferramentas estatísticas utilizadas deverão ser adequadas aos problemas que se

colocam. Não se deverá perder tempo precioso com considerações estatísticas desnecessárias para confirmar situações evidentes. A metodologia seis sigma quer-se prática. Quando as conclusões a tirar da análise de um dado problema são complexas e de difícil compreensão, aí sim, deve utilizar-se todas as ferramentas estatísticas disponíveis para tentar compreender o problema e tirar as devidas conclusões.

- “*Excesso de concentração na vertente de redução de custos*” (4). Desta forma está a inverter-se o objectivo do projecto. O objectivo de um projecto seis sigma deverá ser a melhoria da qualidade, motivada pela redução da variabilidade. A redução de custos surgirá por acréscimo, associada à redução do desperdício.
- “*Não encarar a melhoria como parte integrante da política do dia-a-dia*” (4). Um dos princípios da melhoria contínua é precisamente a preocupação contínua com a melhoria no dia-a-dia. Os processos devem ser analisados diariamente. Não deve ter-se como objectivo fazer-se apenas aquilo que foi arquitectado com o projecto se surgirem oportunidades de melhoria no decorrer do trabalho diário devem ser implementadas sempre que possível.
- “*Ignorar a importância das pessoas e das suas inter-relações, no sucesso dos projectos*” (4). As pessoas são um dos factores mais importantes no sucesso de um projecto. Não serve de nada ter um projecto delineado de forma magnífica, com soluções inovadoras, se não se convencer os colaboradores que este é o caminho a seguir. Deve ter-se sempre em linha de conta a facilidade do trabalho a realizar e a funcionalidade das soluções encontradas. A melhor forma de fazer o trabalho deve ser também a forma mais fácil de o fazer.
- “*«Endeusamento» dos Black Belts*” (4). Não se pode esperar que os Black Belts, por mais conhecimentos que possam ter, tenham a solução para todos os problemas. Deve, por exemplo, dar-se igual importância às opiniões dos colaboradores que trabalham diariamente num qualquer posto do processo. Conhecem o seu posto melhor que ninguém, uma vez que, passam cerca oito horas por dia nesse posto.
- “*Paralisia por excesso de análise ou análise pela análise*” (4). Mais uma vez, tal como no caso do uso excessivo de métodos estatísticos, a análise deve ser feita com contenção. Muitas das soluções encontradas são de ordem prática, simples e fáceis de ser implementadas. Não deve, nesse caso, perder-se tempo com excessivas considerações sobre a solução encontrada.
- “*Incapacidade para compreender / traduzir os requisitos dos clientes*” (4). Deve definir-se de forma bem clara todos os requisitos dos clientes. No âmbito deste projecto em particular, o cliente é um cliente interno e fica bem claro quais os seus requisitos. O seu requisito será receber o produto dentro das especificações.
- “*A gestão de topo está envolvida mas não empenhada*” (4). O objectivo fundamental da gestão de topo é dar o exemplo e pressionar a equipa de forma a garantir a progressão do projecto, sobretudo nos momentos de maior inércia. É fundamental acompanhar o projecto de perto e ser uma parte activa na sua delineação.

“*Incapacidade para gerir a onda de mudança*” (4) Um projecto seis sigma implica mudança, essa mudança vai ser recebida com bastante renitência por parte das pessoas, porque as fará sair da sua zona de segurança. Existem colaboradores que já trabalham há muitos anos num determinado posto, tendo sempre feito o seu trabalho da mesma forma e tendo esse trabalho,

aos seus olhos, sempre resultado. É natural que não vejam com bons olhos uma mudança no seu trabalho, uma vez que à primeira vista essa forma de trabalho está a resultar. É, no entanto, necessário gerir toda essa mudança, levando a que todos a encarem como algo positivo, compreendendo os seus objectivos e os resultados que com ela se espera alcançar.

Capítulo 3 - Apresentação do projecto

3.1 – Projecto seis sigma

Este projecto foge um pouco à essência da definição de projecto 6 sigma. Como já foi visto anteriormente, um nível seis sigma implica um nível de observações fora dos limites de controlo na ordem dos 3.4 ppm. Neste projecto, o objectivo ficará muito aquém desse valor. O valor real estabelecido como objectivo para a incidência não poderá ser revelado por questões de confidencialidade. Pode ainda referir-se que o objectivo será uma redução em 81% do valor médio da incidência relativa a 2008. Para se ter a real noção do valor das variações conseguidas ao longo do projecto, os valores das incidências serão apresentados multiplicados por uma constante. Consegue-se, desta forma, mostrar as variações das incidências sem se revelar os seus valores reais. O valor ilustrativo do objectivo definido será 15%.

Para se ter uma ideia da ordem da grandeza do objectivo bastará revelar que o valor da taxa de incidência se encontra expresso em percentagem (1% equivale a 10 000ppm). Dada a dimensão do valor objectivo, à primeira vista, poderá até parecer um pouco abusivo intitular este projecto de projecto seis sigma. No entanto, o processo em questão reúne todas as características necessárias para se poder dizer que a ferramenta mais adequada ao trabalho de redução da sua variabilidade será a metodologia seis sigma. Como tal, deve aproveitar-se todo o potencial desta metodologia. O objectivo traçado para a incidência é um valor bem mais realista que 3.4ppm, para este processo de brasagem em particular e será apenas um objectivo primário, futuramente serão realizadas novas acções de melhoria, novos projectos de melhoria e porventura alguns investimentos em equipamentos críticos para que se possa prosseguir com o processo de melhoria contínua, mantendo sempre no horizonte os zero defeitos.

Na linha em questão produzem-se inúmeras referências de câmaras de combustão. A principal diferença entre as câmaras será capacidade (caudal de água quente que conseguirá produzir), o que se repercute na sua dimensão. Uma câmara de maior dimensão possuirá uma maior capacidade. Câmaras com diferentes capacidades terão saias, serpentinas e tubos em “U” de dimensão diferente. Existem ainda algumas câmaras que poderão apresentar serpentinas diferentes apesar de possuírem a mesma capacidade. As serpentinas para câmaras de combustão da mesma capacidade poderão apresentar ligeiras diferenças no comprimento da extremidade e podem ainda ter diferenças no próprio formato. Combinando estas diferenças nas serpentinas com a capacidade da câmara obtém-se um número relativamente elevado de referências. O facto de se produzir toda esta variedade de câmaras de combustão é, sem dúvida, uma das principais fontes de complexidade do projecto, dado que terá sempre de se chegar a uma solução de compromisso, uma vez que, algumas soluções que beneficiem um determinado tipo de câmara, poderão ser prejudiciais ao fabrico de outro tipo.

3.2 – Processo de fabrico

Como já foi referido anteriormente, o projecto desenvolvido foi realizado numa das linhas da secção de câmaras de combustão da Bosch Termotecnologia SA. Partindo de rolos de chapa de cobre e de rolos de tubo de cobre, todos os componentes das câmaras de combustão são inteiramente produzidos na secção. A sequência do processo de fabrico é descrita pelo fluxograma da figura 15.

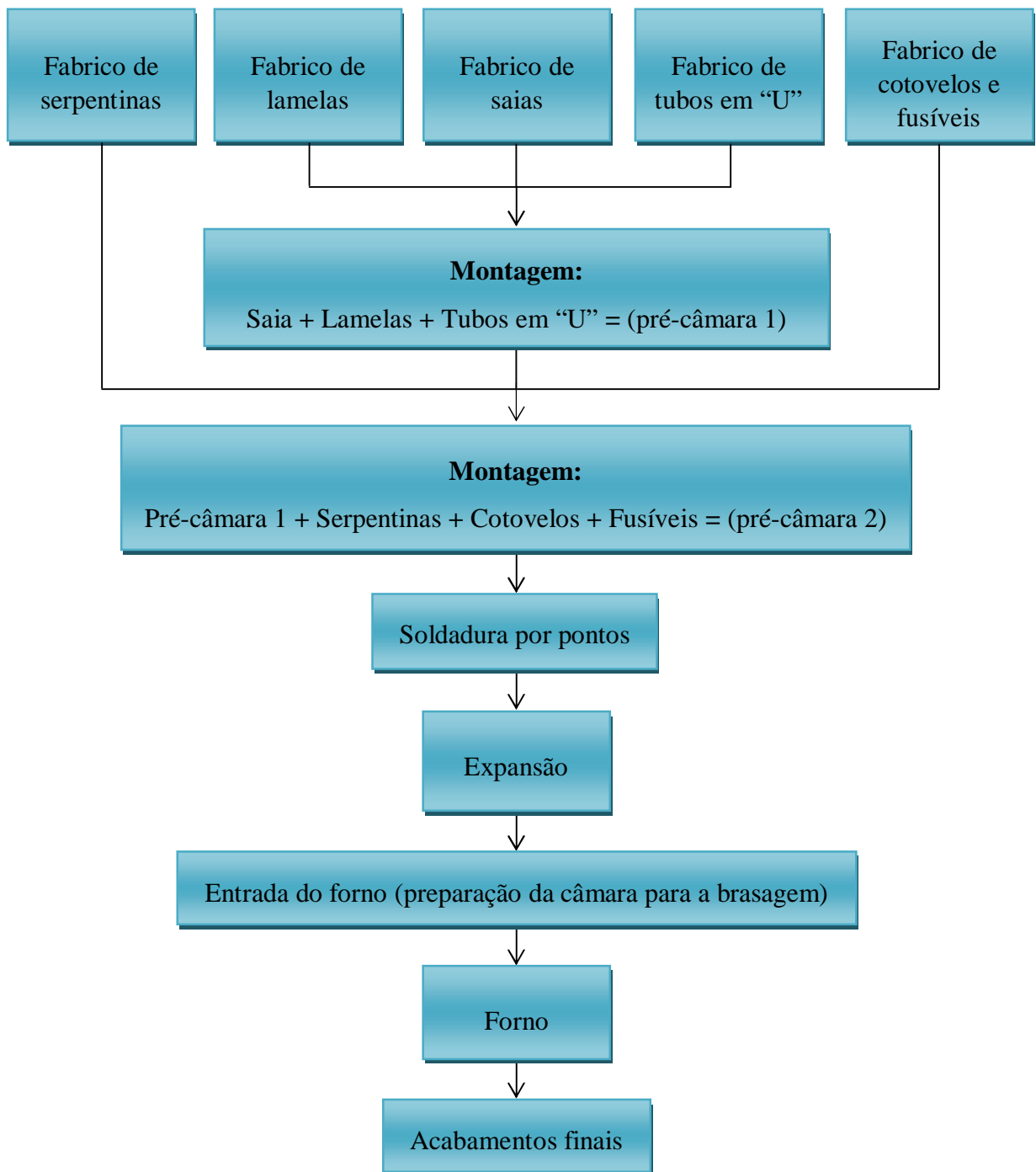


Figura 15 – Fluxograma do processo

O objectivo do projecto é reduzir a taxa de incidências de soldadura, como tal, algumas das fases do processo não serão analisadas no decorrer deste projecto, uma vez que não têm influência significativa neste tipo de incidências. As fases do processo a serem analisadas são as seguintes:

- Fabrico de serpentinas
- Fabrico de saias

- Montagem de serpentinas
- Soldadura por pontos
- Expansão
- Entrada do forno
- Forno
- Saída do forno

3.2.1 – Fabrico de serpentinas

A matéria-prima usada no fabrico de serpentina é o cobre, mais especificamente tubo de cobre. O tubo de cobre é comprado em grandes rolos de tubo. Existe um protocolo como o fornecedor que estabelece a qualidade do cobre fornecido. A qualidade do cobre é definida pelas suas propriedades mecânicas e químicas. Esse protocolo não é muito apertado, uma vez que isso implicaria que o custo do material subisse exponencialmente.

O fabrico de serpentinas para esta linha é feito em duas máquinas semelhantes, geralmente uma das máquinas produz serpentinas de água fria e outra produz serpentinas de água quente, no entanto, qualquer uma das máquinas pode produzir qualquer uma das referências de serpentinas utilizadas nos diversos tipos de câmaras produzidos na linha. Isto é possível, porque as máquinas possuem um controlo por comando numérico computadorizado (CNC) que permite que se possa programar as máquinas para fazer uma infinidade de geometrias com tubo.

O princípio de funcionamento destas máquinas é muito simples de perceber, mas complicado de ajustar e programar. A máquina funciona em 3 eixos:

- X – Translação – Este movimento de translação representa o avanço do tubo. O valor de cada x dá o comprimento de cada um dos troços rectos da serpentina.
- Y – Rotação – Este movimento serve para colocar a cabeça da máquina no ângulo correcto para fazer a próxima curva no tubo. Esta rotação não provoca qualquer tipo de deformação no tubo. O valor de Y dá o valor do ângulo que cada um dos troços rectos faz com o referencial fixo.
- Z – Rotação – É este o único movimento que provoca conformação do tubo. Depois de a rotação Y orientar a cabeça da máquina de forma a ser possível fazer a curva com o ângulo pretendido, surge a rotação da cabeça da máquina que faz a curva no tubo. O valor de Z dá o valor do ângulo que dois troços rectos consecutivos fazem entre si.

A figura 16 mostra o esquema do funcionamento da máquina de fabrico de serpentinas.

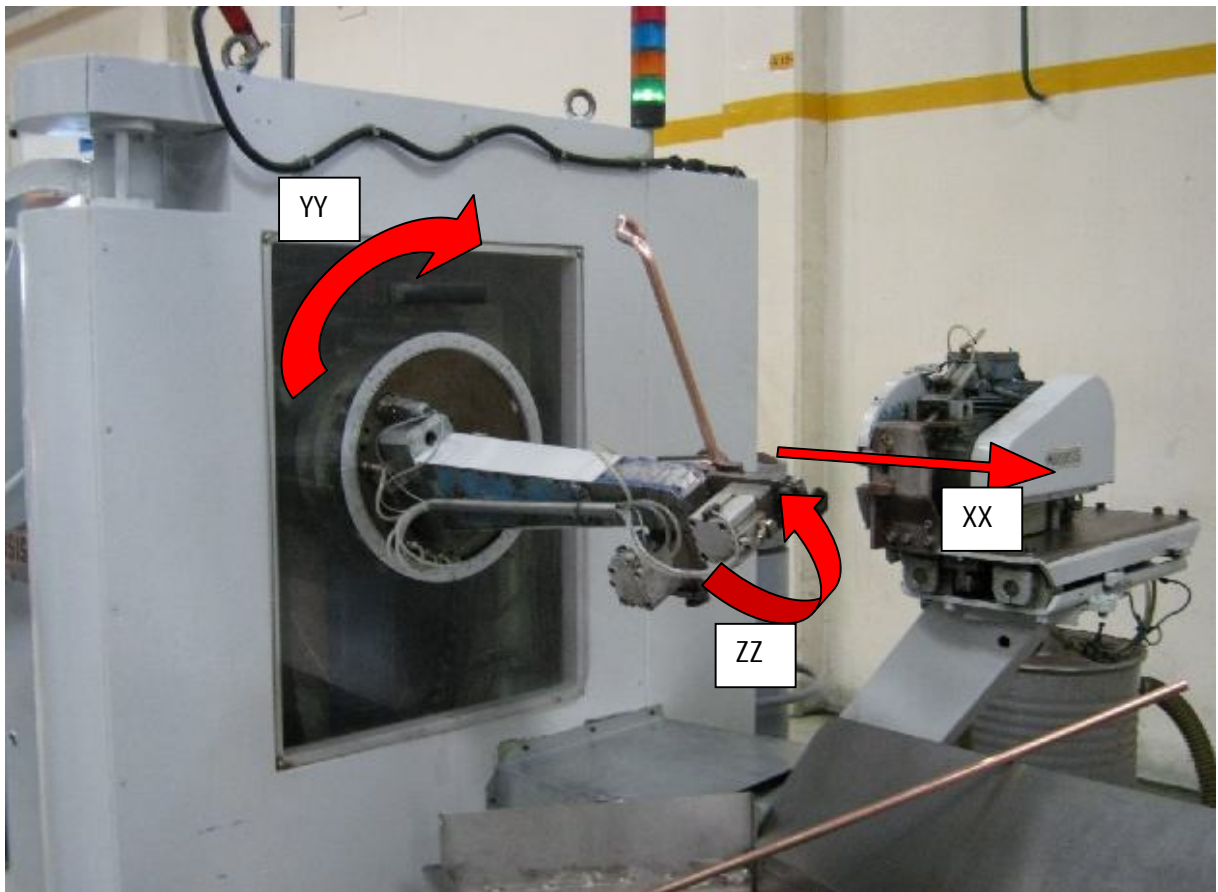


Figura 16 – Máquina de serpentinas.

Estas máquinas são já reconhecidas, à partida do projecto, como sendo uma das principais causas de incidências de soldadura. Já haviam sido feitos estudos de capacidade a estas máquinas, de acordo com as normas da empresa, nos quais se concluiu que as máquinas não possuíam capacidade. Não se garante, portanto, que se produzem serpentinas dentro das especificações de forma tão consistente quanto seria desejável.

As serpentinas serão montadas na saia e posteriormente, o conjunto será expandido. Apesar de a expansão provocar a deformação da saia para que esta se ajuste às serpentinas, se a serpentina não tiver a dimensão nem a geometria correcta o ajustamento não será o melhor, podendo daí resultar folgas excessivas que poderão resultar em defeitos de soldadura. O facto de a serpentina não ter a geometria correcta poderá ainda provocar outro tipo de problemas na fase da expansão, a serpentina poderá ficar esmagada o que a deixará inutilizável. Caso uma serpentina fique esmagada, retiram-se as serpentinas danificadas e colocam-se novas serpentinas, voltando a fazer-se a soldadura por pontos e a expansão.

Além do problema de as serpentinas poderem não ficar bem ajustadas á saia, existe o problema de esse ajustamento ser demasiado elevado. Isso dificulta a montagem da serpentina na saia, uma vez que a serpentina fica demasiado “apertada”. O facto de a serpentina estar apertada poderá levar a que o colaborador, para a montar na saia tenha que a “abrir”, o que provocará deformações indesejáveis na serpentina, originando eventualmente folgas que poderão ser responsáveis por defeitos de brasagem.

3.2.2 – Fabrico de saias

A saia é o componente que dá a forma e a estrutura à câmara de combustão, ou seja, vai delimitar a zona da queima de gás, servindo ainda de estrutura de suporte para os restantes componentes. No fabrico de câmaras de combustão são utilizados diferentes tipos de saia, consoante a capacidade ou tipo de serpentina que a câmara terá.

A matéria-prima utilizada para o fabrico de saias é a chapa de cobre que se encontra enrolada em grandes rolos. Essa chapa é conformada e cortada numa prensa, resultando desta primeira etapa, aquilo a que se chama platina. As platinas são empilhadas em pequenos carros, passando para junto do posto onde se dobra e agrafa as platinas logo que seja necessário. Pode ver-se um carro com um pequeno stock de platinas na figura 17.

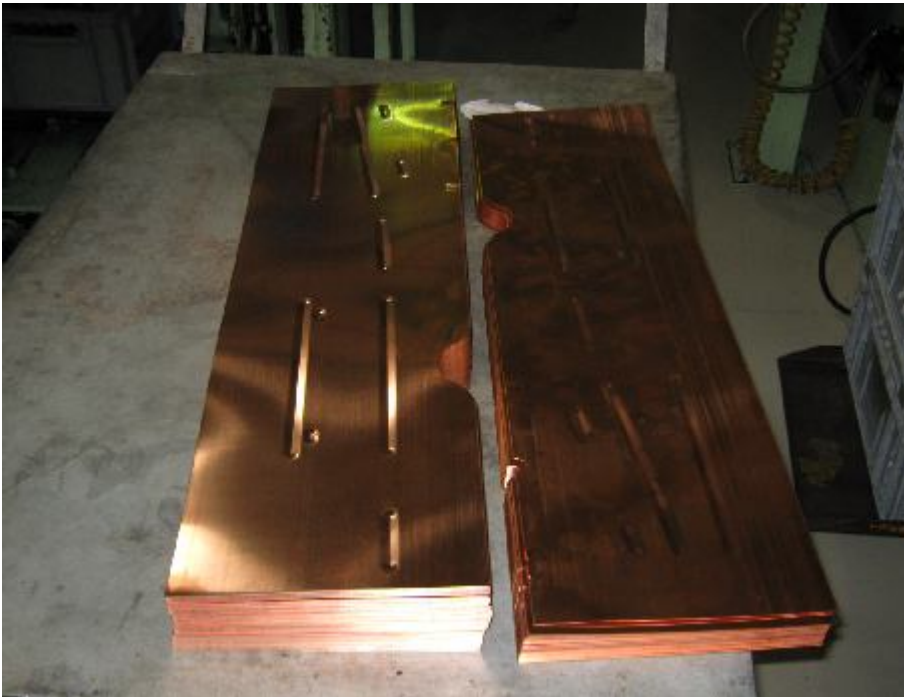


Figura 17 – Stock de platinas.

O processo prossegue na máquina de agrafar. Essa máquina é a responsável pela dobragem da platina, executada de forma a dar à platina a configuração da saia. A saia apresenta uma forma tubular como é visível na figura 18. Uma vez que a forma tubular é produzida partindo-se de uma chapa, é necessária a união das duas pontas da chapa. Essa união da chapa é feita através de um processo apelidado de “agrafagem”. Este processo consiste na dobragem das pontas de chapa de forma a entrelaçá-las conforme exemplificado na figura 19.



Figura 18 – Saia após ter sido dobrada e agrafada.

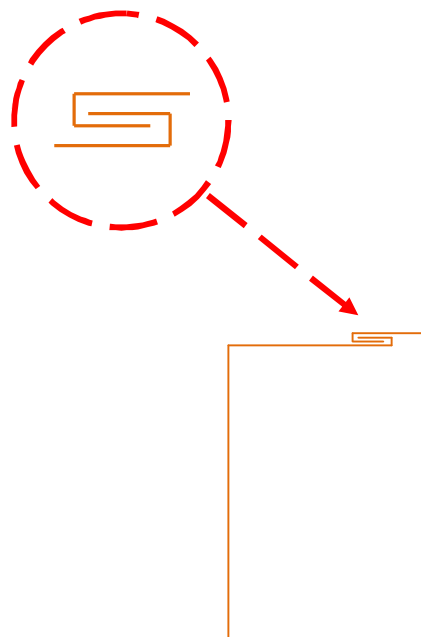


Figura 19 - Esquematização da zona na qual a saia é agrafada.

3.2.3 – Montagem de serpentinas, cotovelos e fusíveis na saia

Esta operação é quase inteiramente manual, sendo que existe uma grande amplitude de ajustes possíveis. Os colaboradores pegam numa saia, na qual já se encontra montado o bloco de lamelas (lamelas e tubos em “U”), montam-lhes a serpentina de água fria e a serpentina de água quente, ajustando-as para que fiquem o mais próximo possível da sua localização geométrica ideal. Depois, a saia, já com as serpentinas montadas, é colocada numa matriz, aí são accionados os posicionadores das serpentinas, que são ferramentas que colocam as serpentinas nos seus devidos locais. Só depois é que serão montados os fusíveis e os

cotovelos, completando-se desta forma todo o circuito de água da câmara de combustão. Na figura 20 é possível ver uma fotografia dessa matriz onde são montadas as serpentinas, cotovelos e fusíveis na saia.



Figura 20 - Local onde são montadas as serpentinas, cotovelos e fusíveis na saia.

A montagem dos cotovelos e fusíveis é feita usando-se um martelo de plástico, pelo que é fácil perceber que existe uma elevada variabilidade associada a este processo.

3.2.4 – Soldadura por pontos

Esta fase do processo é uma fase muito importante. É nesta fase em que vai ser determinada a posição definitiva da serpentina em relação a saia. A mobilidade da serpentina vai ser muito reduzida após esta operação, uma vez que as serpentinas se encontram soldadas num troço próximo da extremidade, enquanto no outro extremo, se encontram encaixadas no cotovelo ou no tubo em “U”.

O objectivo desta etapa será garantir que as serpentinas se mantenham no local correcto, durante as fases seguintes, até a brasagem no forno estar concluída, altura em que as serpentinas estarão completamente fixadas. Esta operação é feita na máquina de soldar por pontos que se encontra ilustrada na figura 21.



Figura 21 – Ilustração da máquina de soldar por pontos existe na secção.

3.2.5 – Expansão

A expansão é uma operação indispensável para que a brasagem no forno ocorra sem grandes defeitos, uma vez que as folgas vão ser reduzidas com a expansão. A “pré-câmara de combustão” (chamemos-lhe assim, uma vez que já está quase concluída, já possui todos os componentes faltando-lhe apenas que esses componentes estejam ligados entre si) é colocada numa matriz. Essa matriz possui quatro ferramentas interiores à saia que levam a que a saia seja expandida contra quatro ferramentas exteriores. Depois de o colaborador ter dado ordem ao início da operação, as ferramentas exteriores avançam de forma a ficarem ajustadas de acordo com a cota da saia (este avanço é problemático, porque se as serpentinas não estiverem na sua posição correcta serão esmagadas), depois de as ferramentas exteriores estarem ajustados as interiores avançam, forçando a saia ajustar-se às serpentinas. Este ajuste da saia ocorre com deformação plástica

3.2.6 – Entrada do forno

Neste posto, todas operações são manuais. Inicialmente é colocado o quadrado no interior da câmara, o quadrado é um tipo de calço em aço que serve para forçar um pouco mais a saia contra as serpentinas, levando a uma redução da folga entre estes dois componentes, tal como se encontra ilustrado na figura 22. Seguidamente, a câmara é colocada num gabari que é basicamente uma estrutura em aço que serve de suporte à câmara. Posteriormente, são colocadas as varetas de solda junto das lamelas. Depois de colocadas as soldas no seu devido local, são montadas as cantoneiras e o travessão (retém as cantoneiras no local). Finalmente, são colocadas varetas de solda junto a cada um dos troços rectos de serpentina da câmara e está pronta para entrar no forno, sendo colocada no tapete rolante que faz a câmara deslocar-se da entrada até à saída do forno (cerca de 40min depois).

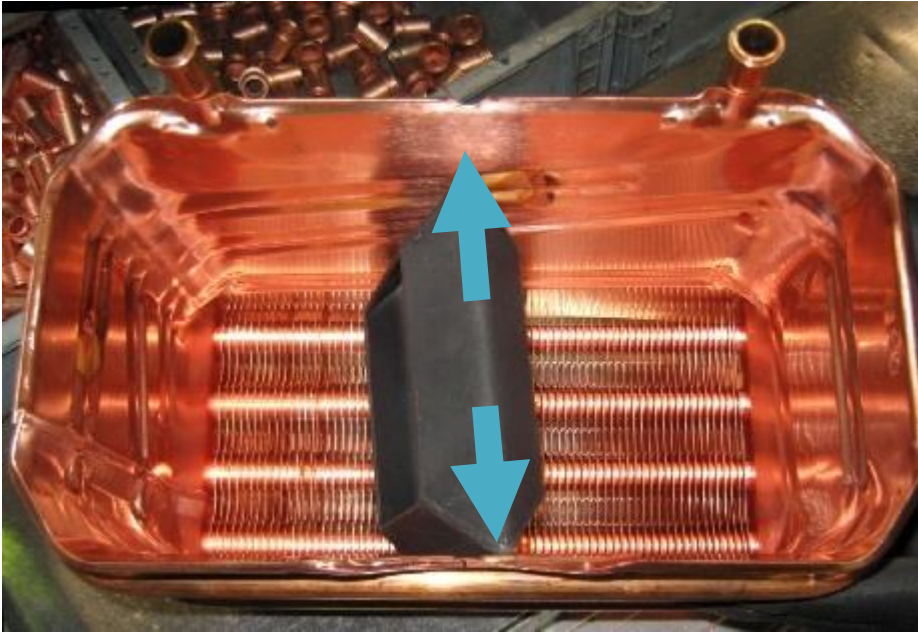


Figura 22 – Câmara com o quadrado montado, as setas indicam a direcção e o sentido dos esforços que o quadrado induz na saia.

3.2.7 – Forno

Este forno onde é efectuado o processo de brasagem das câmaras de combustão é um tipo de forno muito particular. Consiste num túnel com algumas dezenas de metros, no qual existe um tapete rolante que o atravessa duma ponta à outra. O Aquecimento é feito na parte inicial do forno, de uma forma que se pretende a mais contínua possível. Nos metros finais do forno existe uma zona de arrefecimento que funciona por ventilação de ar. Esta zona de arrefecimento tem o objectivo de garantir que, as câmaras saiam do forno a uma temperatura, que não represente um perigo excessivo para os colaboradores, podendo imediatamente ser manuseadas, desde que os colaboradores estejam equipados com luvas de protecção (obrigatórias á saída do forno).

3.2.8 – Acabamentos finais

Este é o posto de trabalho, onde é retirado todo o material de apoio à brasagem das câmaras de combustão e onde estas são inspeccionadas. Esta zona situada à saída do forno é intitulada de zona de acabamentos finais. Pode ver-se na figura 23 uma ilustração do posto onde são efectuadas as inspecções. Inicialmente são retirados todos os elementos de suporte e fixação das câmaras: travessão, cantoneiras, gabari e quadrado e depois são feitas as inspecções visuais. Se a câmara for dada como apta passa a uma nova fase de inspecção: o ensaio de estanquicidade, onde se verifica se as operações de brasagem que tornam estanque o circuito de água foram executadas com sucesso. Caso surja algum defeito em qualquer uma destas fases de inspecção, a câmara terá que sofrer um trabalho de recuperação que não é mais que uma operação de brasagem manual nos locais onde existiam os defeitos como se pode ver na figura 24.



Figura 23 – Posto à saída do forno.



Figura 24 – Execução de trabalhos de recuperação de câmaras de combustão com defeitos de brasagem numa cabine de soldadura.

3.3 – Tipos de incidências

É designado de incidência cada defeito de soldadura detectado. Se uma câmara possuir mais que um defeito, cada um desses defeitos é contabilizado como uma incidência. É, por exemplo, possível ter-se taxas de incidência superiores a 100%.

Os defeitos de soldadura podem surgir nas seguintes ligações:

- Serpentina – saia;
- Lamelas – saia;

- Lamelas – tubos em “U”;
- Serpentina de água fria – cotovelo;
- Tubo em “U” – fusível;
- Tubo em “U” – serpentina de água quente.

A identificação destes defeitos está sujeita a critérios de aceitação.

3.4 – Estatísticas da linha (antes do projecto)

As taxas de incidências que se verificaram no passado foram sempre bastante elevadas. A média de 2007 situou-se nos 86.4% (valor ilustrativo). A contabilização das incidências começou a ser executada a partir da trigésima sexta semana de 2007. A média de 2008 situou-se nos 77.75% (valor ilustrativo). Os valores reais das incidências eram bastante elevados, obrigando a que uma elevada percentagem de câmaras de combustão sofressem trabalhos de recuperação, com todos os prejuízos que isso acarretava.

No gráfico da figura 25 podem ver-se os dados históricos de todas as semanas de 2008. É de notar que nas semanas 33 e 34 a linha esteve encerrada para férias.

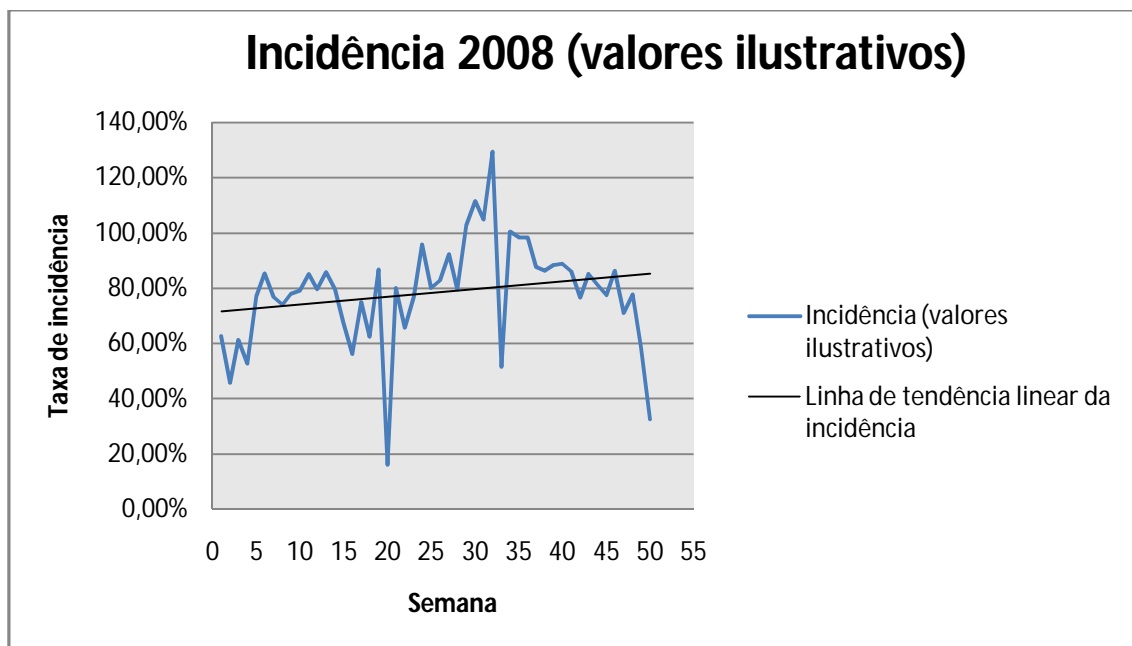


Figura 25 – Gráfico que representa a evolução da incidência no decorrer do ano anterior ao projecto (2008). Os valores da incidência encontram-se multiplicados por uma constante.

Analisando o gráfico verifica-se que, tomando o ano inteiro como horizonte temporal, a tendência foi crescente. No entanto, analisando os dados do gráfico numa zona mais restrita, verifica-se que a partir da trigésima segunda semana houve uma queda sustentada da taxa de incidências. Esta redução das incidências verificou-se devido ao trabalho que foi desenvolvido anteriormente ao projecto. Antes do início deste projecto já houve tentativas para a redução a taxa de incidência de brasagem, no entanto, nunca tiveram tanto êxito quanto o desejável.

Capítulo 4 – Implementação da metodologia 6 sigma

Como já foi referido anteriormente, este projecto foi implementado seguindo o modelo DMAIC. No entanto, este modelo não foi seguido de forma rígida. Uma das principais razões para isto ter acontecido prendeu-se com o facto de a linha ter estado sempre a operar durante o decorrer do projecto, daí que, muitas vezes, os interesses do projecto colidissem com as necessidades produtivas, sendo assim necessário um pouco de bom senso na abordagem deste problema. Para algumas medições era necessário interromper ou comprometer a produção, pelo que a disponibilidade temporal nunca era muito elevada, além disso, nem sempre se podiam fazer as medições necessárias quando se pretendia, pelo que, para não atrasar o projecto acabava-se por se realizar a análise das medições executadas, antes de todas as medições estarem concluídas.

No entanto, a descrição dos trabalhos realizados durante o projecto será feita segundo o modelo DMAIC, uma vez que apesar de nem sempre ter sido seguido de forma rígida, foi este modelo que serviu de base para o projecto. Na tabela 2 encontra-se o resumo das tarefas executadas em cada uma das fases do projecto, sendo de seguida apresentada a atribuição das tarefas aos membros da equipa.

Tabela 2 – Esquematização das tarefas executadas nas diferentes fases do processo.

Define	Measure	Analyse	Improve	Control
Alteração da folha e da base de dados de registo das incidências				Continuar com o registo de incidências
Decisão de que era necessário avaliar os critérios dos colaboradores	Avaliação dos critérios	Verificação da existência de acordo entre as avaliações dos colaboradores	Definição dos critérios e formação dada aos colaboradores	Colocação de manual com os critérios junto aos acabamentos finais
	Segunda avaliação dos critérios	Verificação da existência de acordo entre as avaliações dos colaboradores e comparação com 1ª medição		
Decisão de que era necessário efectuar medições de serpentinas	Medição de serpentinas	Comparar medições com o standard e actualização de standards	Fazer correcções de forma a colocar as dimensões das serpentinas de acordo com o standard	Rotina de verificação de serpentinas
Decisão de que era necessário efectuar medição do perfil de temperatura do forno	Medição do perfil de temperaturas do forno			
Decisão de que era necessário efectuar medição de folgas entre as serpentinas e a saia	Medição de folgas entre as serpentinas e a saia	Análise das medições - compreensão do problema		
Decisão de que era necessário efectuar medição das propriedades do cobre	Medição das propriedades do cobre		Discussão de solução com fornecedor	
Definições das medidas a tomar para melhorar o funcionamento da máquina de serpentinas		Necessidade de anular o desnivelamento da entrada do tubo na máquina de serpentinas	Nivelamento da máquina de serpentinas	
			Troca de rolos de tracção da máquina de serpentinas	
		Análise da máquina de soldar por pontos	Ajustes de máquina de soldar por pontos	
		Análise da máquina de expansão	Ajustes da máquina de expansão	
		Análise do processo		Limites de reacção

A distribuição das tarefas pelos membros da equipa foi realizada da seguinte forma:

- Análise do processo: equipa;
- Alteração da folha e da base de dados de registo das incidências: Engenheiro de Processo e aluno;
- Decisão de avaliação dos critérios de inspecção visual de brasagem: equipa;
- Avaliação dos critérios dos critérios de brasagem: aluno e Engenheiro de Processo;
- Verificação da existência de acordo entre as avaliações de critérios: “Black Belt”;
- Definição dos critérios de brasagem: equipa;
- Formação dada aos colaboradores: aluno;
- Realização de documento para consulta sobre os critérios: aluno;
- Segunda avaliação dos critérios: aluno;
- Verificação da existência de acordo entre as avaliações dos colaboradores e comparação com 1ª medição: aluno;
- Decisão de que era necessário efectuar medições de serpentinas: equipa;
- Medição de serpentinas: Engenheiro de Processo e aluno;
- Comparar medições com o standard e actualização de standards: Engenheiro de Processo e aluno;
- Definição de rotina de verificação de serpentinas: equipa;
- Decisão de que era necessário efectuar medição do perfil de temperatura do forno: equipa;
- Medição do perfil de temperaturas do forno: Engenheiro de Processo e aluno;
- Decisão de que era necessário efectuar medição de folgas entre as serpentinas e a saia: equipa;
- Medição de folgas entre as serpentinas e a saia: aluno;
- Análise das medições para compreensão do problema: aluno;
- Decisão de que era necessário efectuar medição das propriedades do cobre: Engenheiro de Processo e aluno;
- Medição das propriedades do cobre: Engenheiro de Processo e aluno;
- Discussão de solução com fornecedor: Engenheiro de Processo e aluno;
- Verificação de necessidade de anular o desnivelamento da entrada do tubo na máquina de serpentinas: equipa;
- Nivelamento da máquina de serpentinas: Engenheiro de Processo;
- Troca de rolos de tracção da máquina de serpentinas: Engenheiro de Processo;
- Decisão de melhorar as afinações da máquina de soldar por pontos: equipa;
- Ajustes da máquina de soldar por pontos: Engenheiro de Processo;
- Decisão de melhorar o processo de expansão: equipa;

- Ajustes da máquina de expandir: Engenheiro de Processo;
- Implementação de limites de reacção: Engenheiro de Processo.

De seguida, nos próximos subcapítulos serão apresentadas as acções realizadas em cada uma das fases do projecto.

4.1 – Define

Esta foi a fase inicial do projecto. O projecto arrancou quando os responsáveis do processo sentiram necessidade de resolver o grave problema que afectava a linha: a elevada taxa de incidências. Foi então comunicada, aos responsáveis pelo departamento de produção, a intenção de realizar um projecto de implementação da metodologia seis sigma na linha, com o objectivo de reduzir significativamente a incidência.

Foram então definidos quais os objectivos do projecto. Decidiu-se que o objectivo do projecto seria reduzir a taxa de incidência em 43%. A escolha deste valor foi bem estudada, para que não se tivesse um objectivo demasiado irrealista e impossível de atingir. Também ficou estabelecido que o investimento previsto para este projecto deveria ser muito reduzido, ter-se-ia como objectivo reduzir a variabilidade ajustando e adaptando as máquinas existentes, não estando prevista qualquer troca de máquina. Isto teve de ser tomado em linha de conta no estabelecimento do objectivo, uma vez que já se sabia, antes do projecto arrancar que algumas das máquinas do processo eram problemáticas, apresentando uma variabilidade excessiva.

Foi então destacado um “Black Belt” para liderar a equipa que iria tratar da implementação da metodologia. Como é evidente os responsáveis pelo processo seriam uma parte integrante da equipa, bem como o responsável pelo departamento de produção,urgia então seleccionar os restantes elementos que iriam constituir a equipa. Ficou então definido que a equipa seria constituída por:

- Black Belt (pertencente ao departamento da qualidade);
- Engenheiros de processo da secção (esta secção possui dois engenheiros de processo, um deles com a distinção de “Green Belt”);
- Gestão de topo (responsável pelo departamento);
- Responsáveis de Turno;
- Responsável pela Secção;
- Elemento do Departamento da Qualidade.

Depois de já ter sido definida a equipa, o aluno integrou a equipa passando a ser mais um membro da mesma.

Foi agendada a primeira reunião entre todos os membros da equipa, tendo sido delineadas as tarefas e carga de trabalho no projecto de cada um dos membros. Ficou decidido que existiriam duas reuniões semanais, uma de manhã e outra de tarde, para que cada um dos responsáveis de turno pudesse estar presente, em pelo menos uma delas. Nessa reunião foram ainda apresentados os objectivos do projecto, tendo também sido feita uma pequena introdução à metodologia, foram descritas sumariamente as fases, pelas quais passaria o projecto, bem como, as datas previstas para o início e o final de cada uma delas.

Uma das primeiras acções que foi levada a cabo nesta fase do projecto foi a apresentação da linha a todos os membros da equipa. Alguns dos membros da equipa não estavam

familiarizados com a linha, pelo que foi importante ficarem a conhecer detalhadamente cada uma das etapas do processo. Esta visita à linha foi conduzida pelo engenheiro responsável pelo processo, sendo que à medida que apresentava cada uma das etapas do processo, operações e máquinas envolvidas, ia relatando os principais problemas já conhecidos de cada fase. Foram ainda relatadas algumas das medidas que já tinham sido tomadas anteriormente para os resolver, quais as medidas que tiveram bons resultados, quais as medidas que se revelaram infrutíferas.

Entre todos foram discutidas, as potenciais causas dos problemas, formas de medição que permitissem ajudar a identificar quais as fases do processo que se pudessem revelar como principais causas do problema. Foram desta forma identificados todos os processos, todas as variáveis de entrada no sistema e respectivas saídas, foram ainda identificadas algumas potenciais causas, potenciais formas de medir os problemas e potenciais soluções para o problema. Tentou-se que todos os elementos da equipa compreendessem bem todas as etapas do processo, podendo depois usar os seus conhecimentos específicos para ajudar na compreensão do problema.

As fases do processo identificadas como mais problemáticas e às quais se deveria dar maior atenção inicialmente foram as seguintes:

- Fabrico de serpentinas;
- Montagem de serpentinas, cotovelos e fusíveis na saia;
- Soldadura por pontos;
- Expansão;
- Colocação do quadrado, gabari, cantoneira e travessão;
- Colocação das soldas;
- Passagem no forno.

Após se ter identificado quais as fases do processo mais problemáticas, trabalhou-se na definição das oportunidades mensuráveis do projecto. Definiu-se então quais as medições que poderiam ajudar na identificação das causas do problema. As oportunidades mensuráveis do projecto serão:

- Registo das incidências (subcapítulo 4.1.2);
- Medição de serpentinas (subcapítulo 4.1.5);
- Medição do perfil de temperatura do forno (subcapítulo 4.1.6);
- Medição das folgas entre a serpentina e a saia (subcapítulo 4.1.7);
- Medição das propriedades do cobre (subcapítulo 4.1.8).

Os seguintes subcapítulos encontram-se ordenados pela ordem de execução das tarefas neles descritas, sendo essa a razão para que as oportunidades mensuráveis do projecto não se encontrem agrupadas.

4.1.1 – Elaboração da matriz XY

Quando se está perante um problema complexo, cujo processo apresenta várias fases e todas elas poderão ser causadoras de variabilidade, é necessário começar por alguma dessas fases. É importante atacar-se, em primeiro lugar, aquelas variáveis de entrada que são as principais causadoras de variabilidade. Convém analisar-se o processo de forma metódica, para que se consigam estabelecer prioridades. Um método que poderá ajudar nesta análise é a matriz XY.

A matriz XY apresenta as entradas do processo (X's) e os defeitos encontrados na saída do processo (Y's), sendo depois relacionada a influência dos X's nos Y's. Este relacionamento é caracterizado recorrendo-se a um ranking. Esse ranking é constituído por três valores possíveis:

- 1 – A variável X analisada não tem qualquer influência na variável Y;
- 3 – A variável X apresenta alguma influência na variável Y;
- 9 – A variável X apresenta grande influência na variável Y.

A célula “Peso” refere, para cada um dos Y's, qual a gravidade do Y analisado, numa escala 1 a 10 (figura 26). Os valores assinalados na tabela a azul referem o grau de importância que foi atribuído a cada um dos X's relativamente a cada um dos Y's (figura 26).

O preenchimento desta matriz foi realizado durante um brainstorming em que toda a equipa esteve presente. Na figura 26 pode ver-se a matriz XY elaborada para o processo em questão.

		Variáveis output (Y's)				Ranking
		Descrição	Brasagem descontínua à CC	Soldas escurridas	Aspecto visual não conforme	
		Peso	10	3	8	
		Variáveis input (X's)				
Máquina	1	Forno	3	3	9	111
	2	Máquina de montar C.C. (cabeça)	1	1	1	21
	3	Máquina de soldar por pontos	3	1	1	41
	4	Máquina de expandir	9	9	1	125
	5	Máquina de lavar	3	3	1	47
	6	Máquina de abocardar serpentinas	1	1	1	21
	7	Máquina de dobrar serpentinas AF	9	9	1	125
	8	Máquina de abocardar serpentinas de AF	3	1	1	41
	9	Posto de colocação de soldas	9	1	1	101
	10	Posto de montagem no gabarito	9	3	1	107
	11	Máquina de dobrar serpentinas AQ	9	9	1	125
	12	Gabaritos de soldadura	9	3	3	123
MP	13	Tubo de cobre	3	1	1	41
	14	Chapa de cobre	1	1	3	37
	15	Soldas	3	9	3	81
Método	16	Montagem da C.C.	1	1	1	21
	17	Preparação da C.C. para soldadura	9	3	1	107
	18	Inspeção (entrada do forno)	3	1	3	57
Homem	19	Experiência	9	1	1	101
Total do ranking						1433

Figura 26 – Matriz XY do processo.

O ranking obtém-se, para cada linha, fazendo-se a soma da multiplicação de cada um dos elementos a azul pelo respectivo peso. Pode ver-se o exemplo do cálculo para a linha 1 da matriz na figura 27.

$$10 \times 3 + 3 \times 3 + 9 \times 8 = 111$$

Figura 27 – Exemplo do cálculo de um dos valores do ranking.

Fazendo-se uma análise da matriz obtém-se o ranking que se encontra ilustrado no gráfico da figura 28.

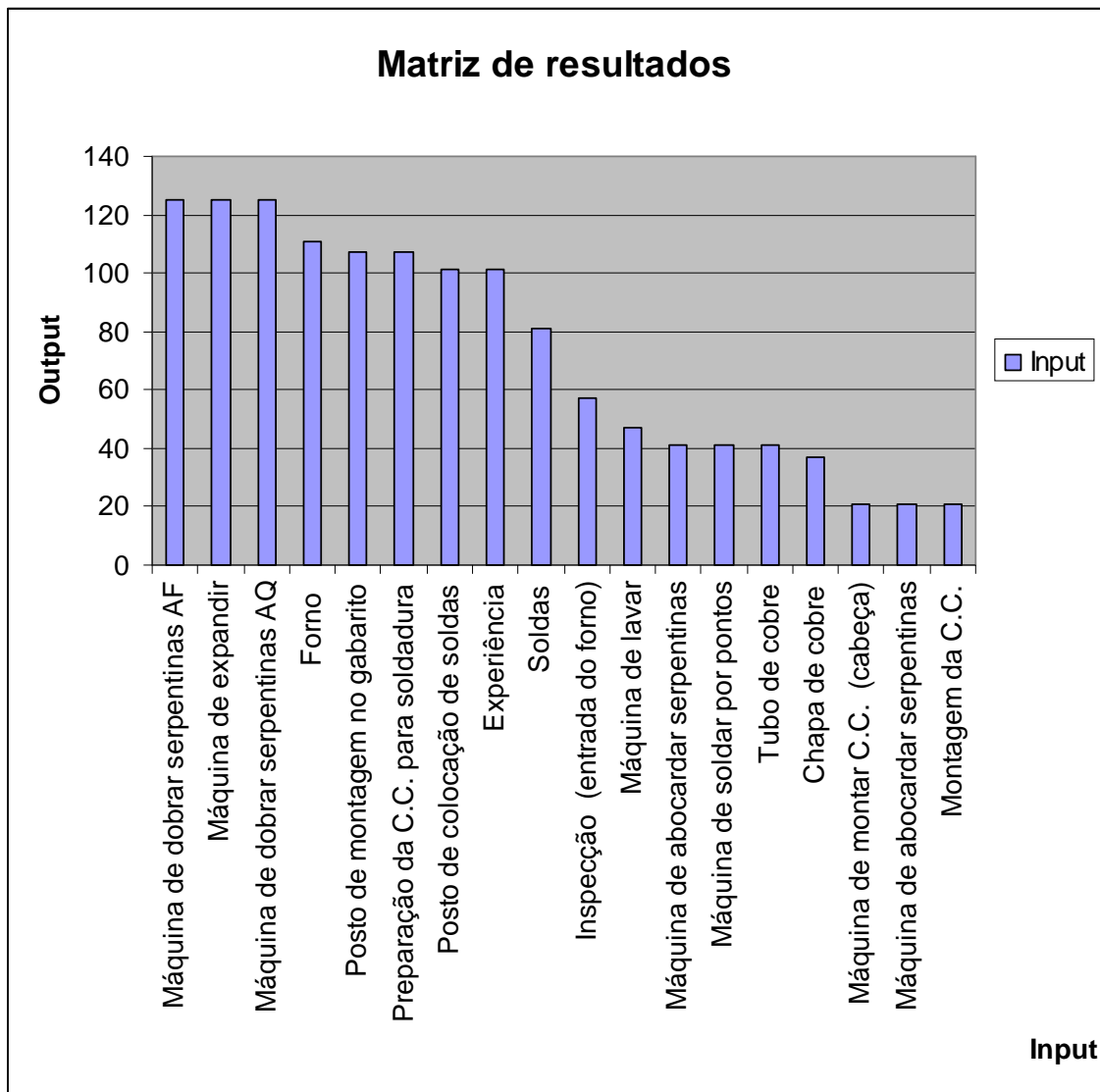


Figura 28 – Ranking das principais variáveis de entrada, relativamente à sua influência nos defeitos de brasagem encontrados.

4.1.2 – Registo das incidências

O objectivo do projecto é atingir uma determinada percentagem de incidência. Como tal, é evidente que esse nível de incidências deve ser claramente medido. Essa medição já se fazia antes de o projecto ser iniciado, existindo já uma base de dados com os históricos dos registos de incidência. Essa base de dados era e continua a ser actualizada diariamente com base nos

registos efectuados pelos colaboradores dos acabamentos finais, responsáveis pelas inspecções visuais. No entanto, a base de dados, não se encontrava bem escalonada. No forno nº5 faz-se a brasagem não só das câmaras de combustão fabricadas na linha 2, mas também das da linha 3. Até então, a introdução dos dados relativos às incidências era feita sem se fazer a distinção entre as duas linhas. Dado que este projecto é relativo apenas à linha 2, a base de dados, teve de ser reformulada, passando a contabilizar-se as duas linhas de forma independente. Também a folha de registo que os colaboradores preenchem, anotando os defeitos de soldadura detectados, teve de ser alterada, de forma a conter um novo campo onde pudesse ser indicada a linha na qual a câmara tinha sido produzida.

4.1.3 – Identificação das câmaras de combustão fabricadas na linha 2

Uma vez que a contabilização da incidência passou a ser feita de forma independente para cada uma das duas linhas, tornou-se importante fazer a distinção clara e sem margem para dúvidas entre as câmaras produzidas em cada uma das linhas. Uma vez que, existe a possibilidade de serem produzidas as mesmas câmaras nas duas linhas, decidiu-se que deveria haver uma forma de as distinguir.

Depois de se analisar o problema decidiu-se que se deveria adaptar a ferramenta de uma das prensas utilizadas no fabrico das saias para que fizesse a estampagem de um número que identificaria a linha nº 3. Essa adaptação da prensa consistiu apenas na introdução de um pequeno punção que faria a marcação em relevo de um número identificativo da linha. As câmaras da linha nº 2 não apresentam identificação, no entanto, o facto de não apresentarem identificação já pode, por si só, ser encarado como factor de distinção entre as duas linhas.

O facto de a marcação ter passado a ser realizada apenas nas câmaras de combustão da linha nº 3 não ocorreu por acaso. Como a linha 2 é uma linha de cadência mais elevada e a operação de adaptação da ferramenta da prensa requeria que a prensa estivesse bastante tempo parada, tornou-se mais viável fazer-se a adaptação na linha nº 3, uma vez que a paragem necessária não afectaria a produção programada para a linha.

4.1.4 – Avaliação dos critérios de aceitação que os colaboradores dos acabamentos finais utilizam

Outro aspecto que poderia ter um impacto significativo na contabilização das incidências é a avaliação dos colaboradores que realizam as inspecções visuais. Se os colaboradores não estiverem a seguir os critérios correctos poderão estar a adulterar o valor das incidências. Podem daqui resultar casos de câmaras que sofrem trabalhos de recuperação sem haver razão para isso, podendo, por outro lado, ser aprovadas câmaras que apresentam defeitos. Decidiu-se então que seria necessário avaliar os critérios dos colaboradores, de forma a aferir quais os critérios que os colaboradores estavam a utilizar e, sobretudo, se haveria concordância entre os critérios que cada um utilizava.

4.1.5 – Medição de serpentinas

Ficou definido que seria importante medir as serpentinas nas várias fases do processo. As serpentinas, após serem produzidas, são armazenadas de uma forma que lhes pode originar

algumas deformações. São agrupadas e posteriormente são colocadas dentro de caixas metálicas, acabando por ficar empilhadas umas sobre as outras. As serpentinas que ficam mais em baixo ficam sujeitas ao peso das restantes, o que poderá originar algumas deformações. Posteriormente, são transportadas para a lavagem, uma vez que durante o processo de fabrico de serpentinas é utilizado um lubrificante que necessita de ser removido antes da entrada no forno. Caso este lubrificante não fosse removido poderia causar problemas na brasagem no forno. Todos os transportes efectuados entre estas etapas do processo são propícias à ocorrência de pancadas que poderão deformar as serpentinas. É importante verificar se ocorrem deformações significativas durante algumas das etapas.

4.1.6 – Medição do perfil de temperatura do forno

Outra das fases do processo que poderia ser causadora de defeitos de brasagem é a passagem pelo forno. Numa brasagem, uma temperatura excessiva no forno poderá fazer com que as soldas fiquem demasiado fluidas, acabando por escorrer da zona a brasar. Por outro lado, uma temperatura reduzida no forno fará com que a solda fique com pouca fluidez, dificultando o fenómeno de capilaridade, podendo, desta forma, acabar por não ir para o local pretendido.

Uma vez que a correcta temperatura do forno é um factor importante para o êxito da brasagem, podendo, em casos extremos, representar inclusivamente a destruição das próprias câmaras de combustão, é monitorizada continuamente. No entanto, as leituras de temperatura fazem-se apenas em quatro pontos fixos do forno. Dado que o forno tem um comprimento considerável conjecturou-se que poderia haver zonas nas quais se verificassem desvios de temperatura significativos. Para verificar essa hipótese decidiu-se que se deveria traçar o perfil de temperatura do forno. Este perfil de temperatura é representado por um gráfico com várias medições de temperatura ao longo de todo o forno.

4.1.7 – Medição das folgas entre as serpentinas e a saia

Um aspecto que se reconheceu como crucial para o aparecimento de defeitos de soldadura foi a dimensão das folgas entre as serpentinas e a saia. Isto, porque, como já foi anteriormente explicado, o deslocamento do material de adição para o local exacto a brasar, faz-se por capilaridade, como tal, as folgas devem apresentar dimensões compreendidas no intervalo ideal à ocorrência de capilaridade. Torna-se então indispensável descobrir qual a razão para o facto de, por vezes, começarem a surgir folgas excessivamente grandes. Existem fortes suspeitas de que este problema surja devido a dimensões deficientes das serpentinas, também elas originados pelas limitações da máquina de fabrico de serpentinas. Outra das fases do processo da qual se suspeita é a expansão.

Foi então definido que teria de se encontrar uma forma de medir as folgas das serpentinas à entrada do forno. Esta medição deveria ser anotada, a câmara identificada e posteriormente, à saída do forno deveria verificar-se se as câmaras apresentam defeitos de brasagem, fazendo-se a comparação entre a dimensão das folgas e os defeitos que daí podem surgir. Esta medição poderá ajudar a perceber a partir de que folga começam a surgir defeitos. Além disso também se pode delimitar um pouco melhor o problema, sendo este um dos principais objectivos desta medição. A delimitação do problema será feita da seguinte forma:

- Se se verificar que para folgas semelhantes se encontram resultados diferentes de brasagem existem causas para o problema localizadas na entrada do forno ou no próprio forno.
- Se se verificar que para as mesmas folgas surge sempre o mesmo resultado em termos de brasagem, as causas para o problema surgem indubitavelmente a montante do posto localizado à entrada do forno.

Definiu-se então que se deveria fazer medições das folgas para cada um dos troços rectos das serpentinas. Deveria criar-se uma folha de registo na qual constassem campos relativos a cada um dos troços das serpentinas, os quais seriam preenchidos com as dimensões das folgas em milímetros. Estas medições deveriam ser efectuadas à entrada do forno, já com a câmara praticamente pronta para entrar no forno: montada no gabari (apenas faltariam as varetas de solda que se colocam nas serpentinas).

4.1.8 – Propriedades do cobre

As propriedades do cobre são um factor determinante para a obtenção de qualquer um dos componentes das câmaras de combustão dentro das especificações pretendidas. Uma das propriedades mais importantes neste tipo de processo, em que existe conformação do cobre é o chamado retorno elástico. O cobre apresenta uma elevada elasticidade, o que torna bastante mais complexo, um processo de conformação plástica, uma vez que, após ser retirado o esforço que origina a deformação, o material recua um pouco no sentido inverso ao da deformação. É portanto necessário ter em conta o retorno elástico do cobre quando se pretende fabricar um qualquer componente em cobre através deste tipo de processo.

Uma importante fonte de variabilidade do processo será a variação das propriedades do cobre de lote para lote, de rolo para rolo e até mesmo entre diferentes zonas do rolo.

Definiu-se assim que seria importante medir as seguintes propriedades mecânicas do cobre:

- Tensão de rotura;
- Tensão de limite elástico;
- Alongamento após rotura.

É importante verificar se estas propriedades se encontram dentro das normas definidas entre o fornecedor e a Bosch Termotecnologia SA, tentando ainda perceber se a variação destas propriedades terá grande influência no processo de expansão. Mesmo que o fornecedor esteja a entregar a matéria-prima dentro das normas, deve verificar-se se, alterando algumas das propriedades é possível melhorar o processo.

4.1.9 – Máquina de dobragem de serpentinas

A máquina de produção de serpentinas é uma das mais problemáticas de todo o processo. Tentou-se descortinar onde poderia estar a origem dos problemas nesta máquina. As situações que foram apontadas como potenciais causas do problema, passíveis de serem corrigidas sem necessidade de grandes investimentos foram as seguintes:

- Desenrolador do tubo mal alinhado com a entrada do tubo na máquina;

- Rolos de tracção do tubo com elevado desgaste ou desajustados;
- Variabilidade das características da matéria-prima.

4.2 – Measure / Analyse

Neste subcapítulo serão descritas as fases de medição e análise, dado que, cada medição implica uma análise. Para cada acção de medição realizada far-se-á, então, a descrição do processo de medição e a posterior análise dos dados por ela obtidos.

4.2.1 – Avaliação dos critérios de aceitação que os colaboradores dos acabamentos finais utilizam

Com o intuito de se verificar se havia concordância na aplicação dos critérios definiu-se que deveria ser feito um teste diagnóstico aos colaboradores dos acabamentos finais. Para o efeito seria feita a recolha de 50 câmaras de combustão, nas quais deveriam constar 25 câmaras com defeito e 25 câmaras sem defeitos. No grupo das 25 câmaras defeituosas constaram 10 câmaras com defeitos limite, pequenos defeitos muito próximos dos 10mm. Nas 25 câmaras sem defeitos constaram 10 câmaras com pequenas falhas na brasagem, inferiores a 10mm. Este valor de 10mm é limite máximo de descontinuidade na brasagem que se pode ter por cada troço recto da serpentina.

Para cada câmara foram definidos cinco locais padrão onde os defeitos poderiam surgir:

- Serpentina de água quente (SAQ);
- Extremidade da serpentina de água quente (EAQ);
- Serpentina de água fria (SAF);
- Extremidade da serpentina de água fria (EAF);
- Lamelas (LAM)

Este teste foi realizado a 4 colaboradores individualmente. Cada um dos colaboradores foi chamado a uma sala onde se encontravam as 50 câmaras previamente numeradas. Explicaram-se aos colaboradores qual o objectivo daquele teste, frisando que não seria nenhuma avaliação de desempenho, serviria apenas para aferir qual o nível de uniformidade de critérios entre eles. Tentou-se desta forma deixar os colaboradores o mais descontraídos possível, de forma a minimizar o efeito da pressão criada pelo facto de estarem a ser avaliados.

O teste decorreu da seguinte forma: as câmaras foram entregues ao colaborador, uma de cada vez, o colaborador fazia a inspecção visual e comunicava se a câmara estava em conformidade ou se apresentava algum defeito, sendo que neste caso comunicava também o local onde se localizava o defeito.

Este procedimento foi seguido por 4 colaboradores e um quinto teste foi feito a um elemento do departamento da qualidade. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 3, note-se que por questões de logística acabaram por só serem testadas 49 câmaras ao invés das 50 inicialmente previstas. A coluna com o título “Acordo” refere o número de observações referentes a cada um dos parâmetros avaliados, para as quais houve unanimidade na avaliação

por parte de todos os colaboradores, inclusive o do Departamento da Qualidade. Surge também uma coluna em que é indicado o valor em percentagem relativo ao acordo das inspecções.

Tabela 3 – Resultados do teste diagnóstico relativo às inspecções visuais, realizados aos colaboradores.

	Colab. Nº 1	Colab. Nº 2	Colab. Nº3	Colab. Nº4	Departamento da Qualidade	Acordo	Acordo (%)
SAQ	24	25	20	40	7	14	28.57%
EAQ	0	0	0	0	0	49	100.00%
SAF	4	11	10	16	5	36	73.47%
EAF	15	15	17	18	19	38	77.55%
LAM	2	2	3	13	2	37	75.51%
Total	45	53	50	87	33	174	71.02%

Analisando estes dados pode verificar-se que nem sempre os colaboradores estão de acordo relativamente aos defeitos encontrados. É natural que numa inspecção visual com as características que esta possui não haja concordância em todas as amostras. Por exemplo, a inspecção das lamelas é algo extremamente difícil de fazer por longos períodos dado que é muito cansativa para a visão. Atente-se na fotografia da figura 29, a quantidade de lamelas que devem ser inspeccionadas. Alguns dos defeitos são difíceis de encontrar e existem ainda as situações limite nas quais a decisão se torna difícil. Como tal, recorrer-se-á a um teste qui-quadrado para independência a fim de aferir até que ponto a falta de concordância era exagerada.



Figura 29 – Bloco de lamelas observado a partir do interior da câmara de combustão.

Após a realização do teste de hipóteses não restou qualquer dúvida, havia de facto uma falta de uniformidade nos critérios utilizados pelos colaboradores (valor de prova = $0.0231 < \text{nível de significância} = 0.05$). Após um diálogo com colaboradores descobriu-se ainda que o problema de falta de uniformidade de critérios não se limitava ao posto dos acabamentos finais, estendia-se também às linhas finais. Quando nas linhas finais é detectado um defeito de brasagem, a câmara é devolvida ao posto de acabamentos finais para sofrer trabalhos de recuperação. Muitas vezes, eram reenviadas para o posto de acabamentos finais câmaras devido a pequenas falhas de brasagem que na zona dos acabamentos finais não eram consideradas defeito.

Ficou desta forma claro que era necessário definir os critérios a utilizar-se de forma inequívoca. Estes critérios depois de definidos terão de ser transmitidos aos colaboradores, quer do posto de acabamentos finais, quer das linhas finais.

4.2.2 – Segunda avaliação dos critérios de aceitação para os colaboradores dos acabamentos finais

Esta segunda avaliação dos critérios teve como objectivo aferir até que ponto o estabelecimento dos novos critérios e a formação dada aos colaboradores, trouxe benefícios na qualidade da inspecção. Esta avaliação foi feita em moldes muito semelhantes à primeira avaliação.

Os resultados obtidos são os que se encontram na tabela 4.

Tabela 4 – Resultados do segundo teste diagnóstico relativo às inspecções visuais, realizados aos colaboradores.

	Colab. Nº 1	Colab. Nº 2	Colab. Nº3	Colab. Nº4	Acordo	Acordo (%)
SAQ	15	14	17	16	40	64%
EAQ	0	0	0	0	50	100%
SAF	4	6	4	7	43	86%
EAF	0	0	0	0	40	100%
LAM	4	0	2	9	40	80%
Total	23	20	23	32	213	85%

Analisando estes novos resultados verifica-se que já existe um maior acordo entre os colaboradores. É de notar que neste novo teste, não existiam defeitos nas extremidades das serpentinas das câmaras de combustão, uma vez que este problema tem vindo a ser minimizado, e na altura da nova recolha de câmaras para teste não se conseguiu encontrar uma única câmara de combustão com este tipo de defeito. Realizando novamente o mesmo teste de hipóteses comprova-se que desta vez já existe dependência entre os valores encontrados, ou seja, que já existe acordo entre os colaboradores (valor de prova = 0.1371 > nível de significância = 0.05)

4.2.3 – Medição do perfil de temperaturas do forno 5

Tal como foi definido na etapa anterior da metodologia DMAIC, “Define” era importante verificar se haviam zonas do forno que apresentassem temperaturas anómalas. Sempre que se pretende fazer uma análise deste tipo é necessário recorrer a um dispositivo de medição de temperatura específico, que faça leituras de temperatura a intervalos de tempo regulares, podendo desta forma traçar-se o perfil de temperatura, que mais não é do que um gráfico no qual constam as temperaturas a cada um dos instantes pré-determinados.

O dispositivo de medição consiste num gabari específico, no qual é montado numa das extremidades uma câmara de combustão, munida de sondas, sendo montada na outra extremidade, uma caixa resistente a altas temperaturas, no interior da qual, se instala o colector de dados ao qual são ligadas as sondas. O colector de dados é programado para iniciar o registo de temperaturas logo que se atinja uma temperatura superior a 50°C. A partir do momento em que esta temperatura é atingida, inicia-se o registo da temperatura que é feito a cada 5 décimos de segundo. O gabari é colocado no tapete do forno seguindo o percurso que as câmaras seguem normalmente. São colocadas câmaras próximas dele, para que possam ser tomadas em linha de conta os efeitos que a proximidade das câmaras possa ter.

Na figura 30 pode ver-se o gráfico de temperatura. As diferentes cores das linhas representam cada uma das sondas utilizadas para medir a temperatura de diferentes zonas da câmara de combustão.

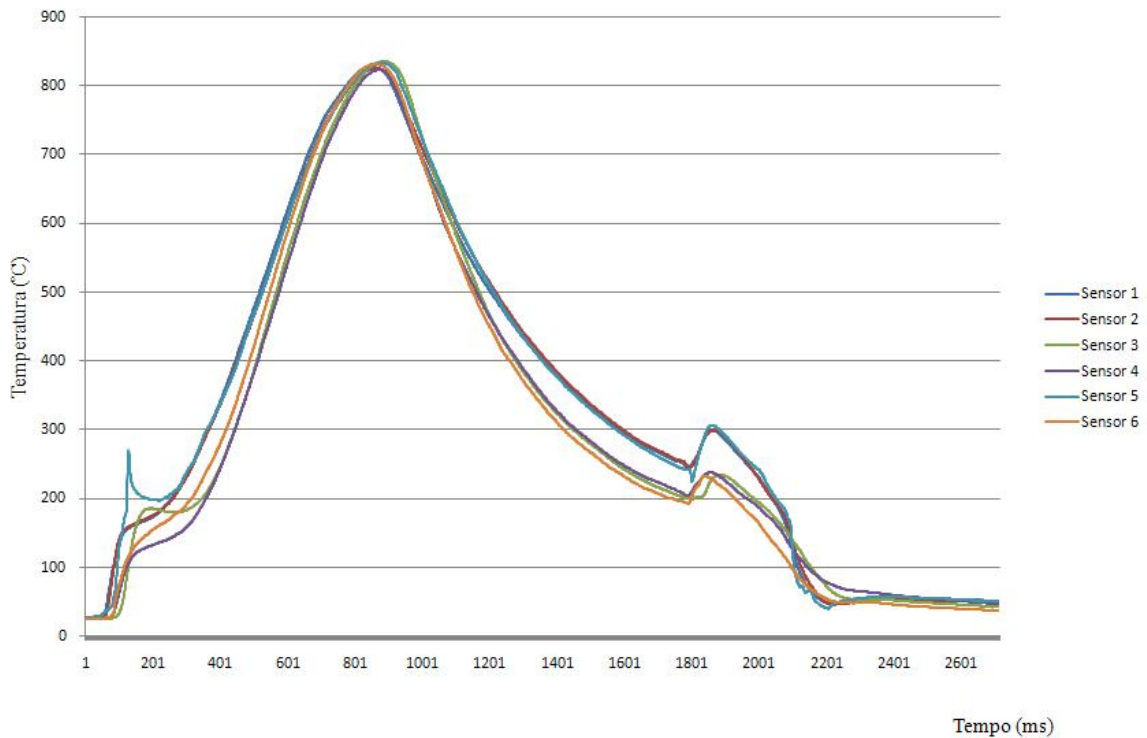


Figura 30 – Perfil da evolução de temperatura no forno. O Eixo das abcissas representa o tempo, o das coordenadas representa a temperatura. Os valores de cada um destes eixos foram propositadamente eliminados pelo facto de serem dados sensíveis que requerem confidencialidade.

Depois de analisado o perfil de temperatura e comparado com os valores tidos como referência para o forno em questão conclui-se que não existiam quaisquer anomalias no que à temperatura do forno diz respeito. Todos os picos de temperatura que se verificam no gráfico são picos que se encontram previstos, sendo devidos a questões relativas ao funcionamento do forno.

4.2.4 – Medição das folgas entre as serpentinas e a saia

Esta medição é difícil e de muito pouca precisão, porque a folga apresenta uma curvatura. As serpentinas não passam de tubos de secção circular que se encontram ajustados à saia. Esta zona da saia apresenta uma concavidade na qual se ajusta o perfil da serpentina. Por estas razões torna-se difícil a introdução das lâminas do apalpa folgas no espaço existente entre estes dois componentes. Esta dificuldade notou-se sobretudo nas espessuras superiores a 0.1mm. Depois como era necessário forçar um pouco a lâmina do apalpa folgas para a curvar e conseguir que ela penetrasse na folga, acabava por se afastar sempre um pouco a saia, aumentando-se desta forma a folga. Era assim muito difícil garantir uma medição bem executada. No entanto, era problemático encontrar uma outra solução e dado que o mais importante não era medir precisamente a dimensão da folga, mas sim, saber se existe folga ou não, necessitando-se apenas duma ligeira noção da sua dimensão, o método possuía uma capacidade suficiente para o efeito a que se destinava. Como forma de melhorar um pouco a repetibilidade do método, as medições foram executadas todas pela mesma pessoa. Assim, a

variabilidade da medição não foi incrementada pelos diferentes julgamentos que diferentes pessoas inevitavelmente teriam neste tipo de medição.

Na tabela 5 encontram-se os valores das folgas para as quais ocorreram defeitos.

Tabela 5 – Folgas relativas aos troços nos quais surgiram defeitos.

Troço da câmara	Dimensão da folga (mm)
AQ 05	0.2
AQ 05	0.3
AQ 02	0
AF 04	0.3
AQ 05	0.1
AF 04	0.2
AQ 05	1.0
AF 04	0.2
AQ 05	1.0
AF 04	0.3
AQ 01	0.1
AQ 05	1.0
AF 04	0.3
AQ 05	0.3
AQ 05	0.2
AF 04	0.2
AQ 05	0.3
AF 05	0.2

No anexo A encontram-se todos os valores relativos às 40 medições que foram executadas.

Analisando a tabela 5 pode fazer-se a seguinte análise:

- Para folgas de 0.1mm ou inferiores não surgem defeitos de brasagem.
- Para folgas de 0.3mm ou superiores surgem sempre defeitos de brasagem.
- Verificou-se que para folgas com 0.2mm não é muito claro qual o resultado em termos de brasagem. A falta de precisão na medição será sem dúvida um dos factores. Também o facto de ser uma zona de transição é natural que haja alguma instabilidade.
- Verificou-se a existência da ocorrência de alguns defeitos para folgas inferiores a 0.2 mm, sendo que um desses defeitos se originou num troço no qual não verificava a existência de uma folga bastante pequena. Fazendo uma melhor inspecção a estes defeitos, verificou-se que foram originados por falta de solda. Este tipo de defeito ocorre com alguma frequência e é inclusivamente diferenciado no registo das incidências. Foi responsável, desde o início do ano, por quase 2% da incidência.

Esta falta de solda pode ser originada por:

- Erro do colaborador responsável pela colocação das soldas que, porventura, se poderá esquecer de a colocar;

- Deficiente colocação das varetas que poderão ficar em equilíbrio instável, essa deficiente colocação poderá ser acentuada devido a deformações na serpentina ou saia;
- Queda da solda antes de se iniciar o processo de brasagem, que podem ser causadas por ressaltos no forno, pelo choque resultante da colocação da câmara no tapete, por choques entre as câmaras ou por eventuais movimentos irregulares do tapete;
- Deficiências na composição química das varetas de solda;
- Zonas do forno com temperatura anormal;
- Atmosfera do forno contaminada;
- Zonas a brasar contaminadas.

Na figura 31 encontra-se uma ilustração de uma câmara de combustão com a identificação dos troços rectos que aparecem na tabela 5. A designação “AQ” significa que o troço recto pertence a uma serpentina de água quente, enquanto a designação “AF” se refere a uma serpentina de água fria.

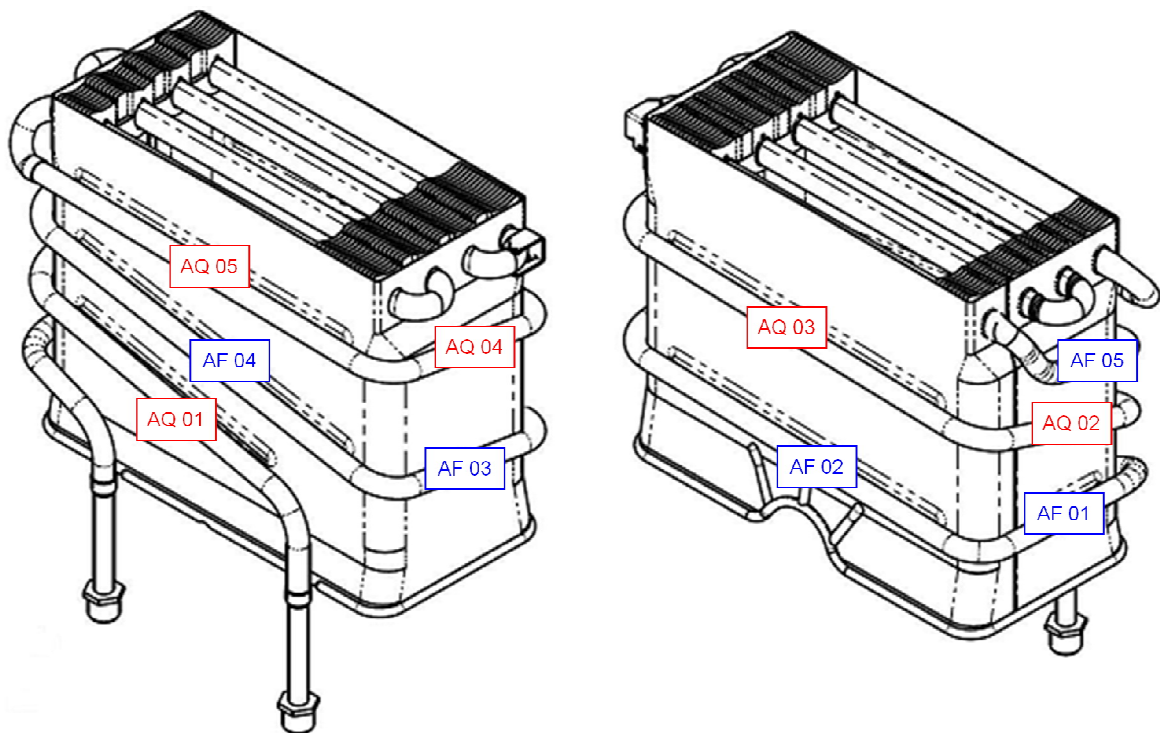


Figura 31 – Identificação dos troços rectos nos quais foram medidas as folgas.

Tirando a situação anómala relativa aos defeitos de brasagem originados por falta de solda, verificou-se que a parte do processo entre o posto de entrada do forno e o posto de saída decorria sem problemas. As principais causas do problema estavam localizadas a montante do posto colocado à entrada do forno, ou seja, na parte do processo situada entre o fabrico de serpentinas e de saias e a expansão.

No fabrico de serpentinas, a variabilidade da dimensão dos troços rectos é uma das causas preponderantes no aparecimento de folgas. Se um troço recto apresenta uma dimensão

superior ao standard, levará a que surjam folgas no troço recto anterior e no troço recto seguinte, conforme o esquema da figura 32.

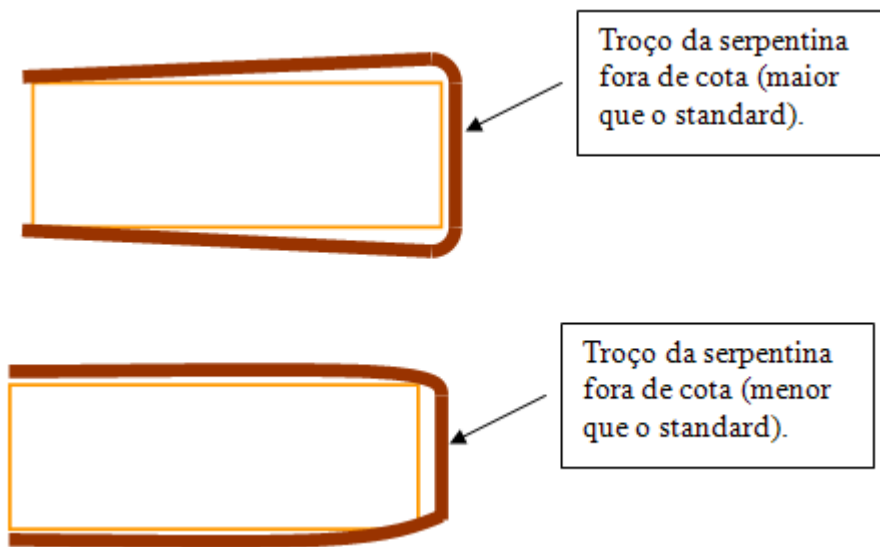


Figura 32 – Esquema de serpentinas com troços rectos fora de cota.

Durante a paragem para férias dos colaboradores, a decorrer durante o mês de Agosto, está prevista uma intervenção ao forno para manutenção. Durante essa manutenção tenciona-se resolver o problema relativo aos ressaltos existentes no forno, esperando-se, dessa forma, pelo menos atenuar as incidências originadas por falta de solda.

4.2.5 – Medição das propriedades do cobre (chapa para fabrico de saias)

Um dos factores que salta imediatamente à vista como principal fonte de problemas é a qualidade da matéria-prima, o cobre. Neste caso em particular, conjecturou-se que caso as propriedades do cobre não fossem as mais adequadas a expansão da câmara de combustão não fosse, por consequência, bem executada.

A expansão ocorre segundo duas direcções principais da chapa, situadas no mesmo plano, mas perpendiculares entre si. Deve, por esta razão, fazer-se medições segundo estas duas direcções, conforme explicado na figura 33

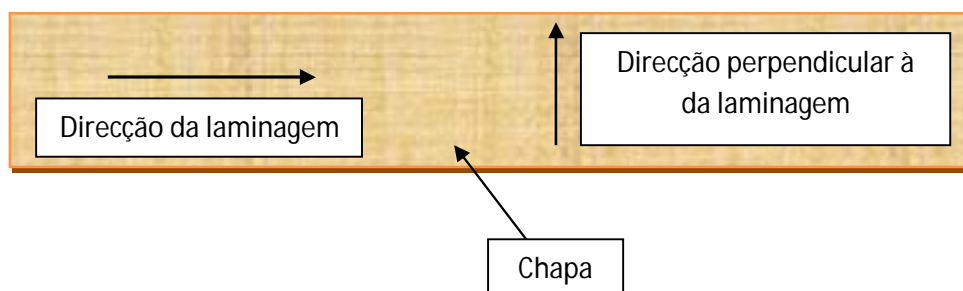


Figura 33 – Esquema das direcções da chapa segundo as quais devem ser medidas as propriedades mecânicas do material.

Os valores obtidos com os ensaios de tracção encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 – Resultados obtidos com os ensaios de tracção da matéria-prima.

Direcção	Provete	Tensão de rotura (MPa)	Tensão Limite de elasticidade (MPa)	Alongamento Após Rotura (mm)
Direcção da laminagem	Provete 1	250.743	114.286	34
	Provete 2	251.429	114.286	34
	Provete 3	253.714	114.286	36
Direcção perpendicular à laminagem	Provete 1	240.914	99.6571	42
	Provete 2	241.600	99.6571	38
	Provete 3	240.686	99.6571	44

4.2.5 – Teste de delimitação do problema da variabilidade das serpentinas

Para se identificar se a variabilidade dimensional das serpentinas teria grande influência na incidência e se haveria grande influência, causada por outros factores escolheu-se um conjunto de 15 pares de serpentinas, com dimensões que idealmente seriam iguais para todas elas. Para este efeito fizeram-se várias medições de serpentinas, foram medidos os comprimentos de todos os troços rectos e todos os ângulos formados pelos troços rectos. Sempre que se verificava um troço recto com comprimento ou um ângulo demasiado longe do standard a serpentina era rejeitada da amostra criada para o teste. O instrumento de medição utilizado é um instrumento que foi criado para medir especificamente serpentinas, este instrumento já existia antes de o projecto ser iniciado.

Com um grupo de serpentinas homogéneo procedeu-se à montagem das serpentinas na saída, continuando todo o processo produtivo. O processo foi acompanhado para se verificar se existiam variações de câmara para câmara. Este teste teve como principal objectivo, a delimitação do problema:

- Se não surgissem problemas à saída do forno poderia concluir-se que, pelo menos neste teste não houve qualquer interferência dos processos de montagem de serpentinas, soldadura por pontos, expansão, transporte, preparação das câmaras à entrada do forno e passagem pelo forno, no resultado final em termos de incidência. Este teste não será conclusivo, o facto de não terem surgido defeitos, poderá dever-se à aleatoriedade do processo. Mais testes teriam de ser realizados. Caso todos apresentassem os mesmos resultados, aí sim, poder-se-ia dizer que a única causa dos defeitos de soldadura seria a máquina de dobragem de serpentinas.
- Se surgissem problemas à saída do forno pode dizer-se que os processos de montagem de serpentinas, soldadura por pontos, expansão, transporte, preparação das câmaras à entrada do forno e passagem pelo forno serão causadores de alguma variabilidade, não se podendo, no entanto, descobrir quais destas fases do processo serão realmente responsáveis pela variabilidade.

A inspecção realizada à saída do forno teve os resultados apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Defeitos encontrados nas câmaras de combustão analisadas.

Câmara de combustão	Defeito encontrado
1	Sem defeito
2	Sem defeito
3	Defeito na serpentina de água fria
4	Sem defeito
5	Defeito na serpentina de água fria
6	Sem defeito
7	Sem defeito
8	Falta de solda
9	Sem defeito
10	Sem defeito
11	Sem defeito
12	Sem defeito
13	Defeito na serpentina de água fria e na serpentina de água quente
14	Sem defeito
15	Sem defeito

Analisando os resultados obtidos, pode dizer-se que existem focos de variabilidade a partir da zona de montagem de serpentinas. Não se pode, no entanto, dizer que a máquina de serpentinas não é uma causa do problema, porque efectivamente já se comprovou que existe uma relação directa entre as alterações das dimensões dos troços rectos e a dimensão das folgas entre as serpentinas e a saia que, por sua vez, levam ao aparecimento de defeitos de brasagem.

4.3 – Improve

4.3.1 – Definição dos critérios de inspecção de soldadura

Já existiam critérios de aceitação para as soldaduras, no entanto, alguns deles não se encontravam bem definidos nem claros o suficiente. O objectivo deste passo foi, acima de tudo, esclarecer alguns pontos, de forma a não restar qualquer tipo de dúvidas. Os critérios já existentes, foram definidos e aprimorados ao longo do tempo recorrendo-se a vários testes que tinham como grande objectivo, determinar qual a dimensão máxima que as falhas de soldadura poderiam ter sem que a qualidade e segurança do produto fosse posta em causa.

Esta nova actualização dos critérios foi feita por comum acordo entre o departamento da qualidade, o departamento do desenvolvimento e a secção de câmaras de combustão.

Desta discussão entre os vários departamentos envolvidos resultou um conjunto de critérios a ser aplicados por todos os colaboradores que efectuem inspecções visuais à saída do forno, não só da linha onde decorreu o projecto, mas também no outro forno, uma vez que o problema de falta de uniformidade de critérios era um problema comum a todas as linhas da secção de câmaras de combustão.

Os principais critérios definidos foram os seguintes:

- As serpentinas não deveriam ter falhas na brasagem superiores a 10mm por troço recto;
- Não deveriam existir mais do que 5 lamelas seguidas por brasar;
- O total do número de lamelas por brasar não deveria exceder as 15 lamelas.

No Anexo B pode ver-se um dossier criado para colocação nos acabamentos finais, no qual constam os critérios definidos.

4.3.2 – Formação sobre critérios de inspecção de soldadura dada aos colaboradores dos acabamentos finais

Durante esta formação foram apresentados, aos colaboradores, todos os critérios definidos anteriormente e esclarecidas todas as dúvidas que os colaboradores pudessem ter. A formação teve como principais objectivos: cimentar os critérios de aceitação, transmitir aos colaboradores a importância do seu trabalho, uma vez que esta inspecção é extremamente importante para garantir a qualidade; e a importância do produto. Um dos aspectos que foi focado na formação foi a importância da brasagem, uma vez que é importante que os colaboradores conheçam as razões pelas quais necessitam de fazer este trabalho de forma correcta e saberem quais as consequências de eventuais erros que possam cometer no produto final.

4.3.3 – Nivelamento da máquina de serpentinas

Durante uma fase anterior do projecto (“Define”) foi observado o desnivelamento entre o desenrolador e a entrada do tubo na máquina de serpentinas. Este desnivelamento provocava uma certa deformação do tubo que inevitavelmente originaria tensões que poderiam ser responsáveis por encravamentos do tubo na máquina. Estes encravamentos podem ser responsáveis por alguma da variabilidade encontrada na máquina.

A solução encontrada para a resolução deste problema foi a adaptação à máquina de novos pés, que proporcionassem um melhor ajuste em altura. Na fotografia da figura 34 pode observar-se o tubo já alinhado, bem como os novos pés utilizados.



Figura 34 – Novo alinhamento do tubo na máquina de dobragem de serpentinas.

4.3.4 – Troca dos rolos de tracção da máquina das serpentinas

Como forma de reduzir o problema do escorregamento do tubo em relação aos rolos de tracção resolveu-se substituir todos os rolos de tracção das máquinas. Os que existiam já se encontravam bastante danificados e desgastados. Desta forma, tentou-se fazer com que o escorregamento diminuísse conseguindo-se assim uma melhoria da precisão com que os troços rectos das serpentinas eram dimensionados. Na figura 35 pode ver-se uma foto dos roletes em questão.



Figura 35 – Rolos de tracção da máquina de dobrar serpentinas que necessitaram de ser substituídos.

É de notar que a máquina de fabrico de serpentinas foi sujeita a um projecto paralelo para implementação de TPM. Uma das primeiras acções relativas à implementação de TPM foi uma limpeza profunda, pintura e reparação de pequenos problemas que a máquina apresentava.

4.3.5 – Ajustes das serpentinas

Existem standards para as dimensões das serpentinas. Estes standards foram corrigidos durante o projecto, na continuação do trabalho que vinha sendo desenvolvido por um dos engenheiros de processo da secção. Os standards consistem nas dimensões que são consideradas ideias para as serpentinas, tendo em conta o posterior ajustamento da serpentina à saia e o grau de dificuldade da colocação da serpentina na saia.

Além deste ajuste dos standards para valores mais adequados, foram também feitas medições que tinham como objectivo determinar se existiam desvios consideráveis entre, as medidas definidas como standards e as medidas com que as serpentinas estavam a ser produzidas. Sempre que surgiam desvios significativos, a máquina era ajustada para que as serpentinas produzidas voltassem a ter as dimensões definidas pelos standards.

4.3.6 – Ajustes da máquina de soldar por pontos

A máquina de soldar por pontos possui vários parâmetros passíveis de ser regulados:

- Intensidade de corrente
- Tempo
- Pressão
- Quantidade de solda

Esta máquina era, também ela, uma máquina problemática, uma vez que apresenta flutuações no seu funcionamento, ou seja, na qualidade da soldadura produzida sem que se conhecessem razões aparentes para tal acontecer. As flutuações do funcionamento desta máquina resultam em saias furadas ou em serpentinas não brasadas à saia. Estas situações são opostas. Quando se aumenta em demasia a intensidade de corrente ou tempo de soldadura, a saia fura. Quando estes parâmetros são diminuídos em demasia, a serpentina não fica brasada à saia.

Sempre que se verificava que um destes cenários começava a aparecer de forma regular procedia-se à afinação da máquina de forma a contrariar o efeito negativo que estava a ocorrer.

4.3.7 – Ajuste da máquina de expansão

A máquina de expansão apresenta, também, vários factores passíveis de ser ajustados. Pode ajustar-se a pressão total da expansão e pode também ajustar-se individualmente a pressão a que é sujeita cada uma das partes móveis da máquina. Desta forma, consegue-se controlar a velocidade de avanço de cada uma das ferramentas. Esta multiplicidade de ajustes servirá para controlar até certo ponto a forma como a saia é expandida, podendo eliminar-se

algumas zonas de excessiva concentração de tensões que podem ser suficientes para danificar a saia ou as serpentinas.

O objectivo principal dos ajustes feitos nas válvulas controladoras de pressão foi minimizar as folgas entre as serpentinas e a saia. A forma de se conseguir melhorar este ajuste é aumentando a expansão da saia, conseguida aumentando-se a pressão total da expansão. No entanto, chega-se a determinada altura em que uma expansão excessiva leva a que se danifique a saia, podendo esta rasgar, ficar com vincos ou com deformações excessivas que modificam substancialmente a sua forma.

O ajuste da expansão deve ser feito tendo em conta esta situação. No entanto, este não é o único problema. A máquina de expansão serve para expandir tipos de câmaras diferentes, com diferentes capacidades e configurações de serpentina. Existem ferramentas diferentes para cada um dos tipos de câmara. No entanto, o grande problema é que o ajuste perfeito para um tipo de câmara poderá não ser o melhor para um dos outros tipos. Deste modo, teve de se chegar a uma situação de compromisso em que se garantiu o melhor resultado no conjunto de todas as câmaras, mas privilegiando as câmaras de combustão de maior cadência produtiva.

4.4 – Control

4.4.1 – Estabelecimento de procedimento para controlar serpentinas

A correcção das dimensões das serpentinas não deve ser realizada apenas quando surgem problemas à saída do forno. Para se poder dizer, que existe um tipo de câmara de combustão, que apresenta problemas de incidência num determinado troço recto, é necessário que se obtenha um número significativo de câmaras de combustão com defeitos. Posteriormente, verificam-se as câmaras na entrada do forno, para se descortinar se existem folgas excessivas entre a serpentina e a saia. Caso as folgas sejam excessivas é necessário verificar as dimensões das serpentinas e, só no caso das dimensões se encontrarem longe do standard, se fazem as devidas correcções. Nessa altura, já existe um elevado número de serpentinas nas várias fases do processo. Poderão existir diversos pontos onde poderá existir acumulação de stock: poderá existir um pequeno stock de serpentinas junto das máquinas de dobrar serpentinas, poderá haver serpentinas a serem lavadas na máquina de lavar, poderá haver serpentinas em stock à saída da máquina de lavar, poderá haver serpentinas no posto de montagem das serpentinas (caso ainda se esteja a produzir a mesma referência de câmara de combustão), poderá haver câmaras de combustão com essas serpentinas montadas em stock à espera de entrarem no forno e poderá ainda existir um grande número de câmaras de combustão no interior do forno. Nada se pode fazer por esta enorme quantidade de serpentinas já produzidas. Resta o conformismo de recuperar câmaras com defeitos.

A forma encontrada para contornar o problema relacionado com a variabilidade das máquinas de dobrar serpentinas foi estabelecer um procedimento de controlo. Sempre que o colaborador programa a máquina para a produção de um novo tipo de serpentinas deve fazer medições dos troços rectos e dos ângulos por eles formados recorrendo a um dispositivo existente para o efeito. Caso os valores medidos ultrapassem os valores standard, o colaborador deve fazer a respectiva correcção no painel de comando da máquina. As medições e as eventuais alterações ao programa relativo à referência de serpentina ajustada

são registadas construindo-se, desta forma, um histórico das medições e das alterações efectuadas ao programa.

Sempre que uma serpentina é medida, é colocada num gancho situado junto da banca de medição. Aqui serão guardadas as últimas serpentinas medidas, podendo verificar-se desta forma se o colaborador está a fazer as medições correctamente.

Além disso, está a ponderar-se uma reunião diária antes do início da laboração das máquinas de dobragem de serpentinas, em conjunto com um dos responsáveis de equipa da célula de montagem de serpentinas, um dos engenheiros de processo da secção e um dos colaboradores responsáveis pelas máquinas. Na posse da informação relativa à incidência verificada à saída do forno no turno anterior e da informação relativa à dificuldade encontrada na montagem das serpentinas define-se, durante a reunião, uma estratégia para a eventual correcção de serpentinas.

4.4.2. – Colocação de dossier com os critérios de aceitação junto dos acabamentos finais

Tendo como base de trabalho os slides da apresentação dos critérios a utilizar nas inspecções visuais de brasagem na zona dos acabamentos finais, elaborou-se um dossier com os critérios que foi colocado junto dos acabamentos finais. Este dossier será consultado por qualquer colaborador sempre que surja uma eventual dúvida sobre algum dos critérios utilizados. Este dossier terá especial relevância sempre que se integre um novo colaborador neste posto. Terá também, uma grande importância sempre que haja um eventual desacordo entre o posto dos acabamentos finais e as linhas finais, a respeito dum eventual defeito ou falha de soldadura que suscite dúvidas.

4.4.3 – Limites de reacção

A introdução de limites de reacção em algumas das máquinas ou postos da linha, apesar de ter sido efectuada antes desta fase do projecto, não deixa de ser uma medida de controlo do processo daqui em diante. Durante o projecto, os limites de reacção foram utilizados como forma de medição dos problemas. Findo o projecto, funcionará como método de controlo do processo, levando a que se actue rapidamente sempre que se detecte um problema numa fase do processo que foi definida como sendo crítica.

4.4.4 – Registo de incidências

Este registo já existia antes do projecto se iniciar, no entanto, está aqui a ser referido, uma vez que a continuação da actualização do registo é o aspecto mais importante para a contínua monitorização e controlo do processo. No decorrer deste projecto, o registo de incidências foi sujeito a uma ligeira reformulação que melhorou a facilidade com que se identificam as incidências relativas a linhas diferentes.

Capítulo 5 – Apresentação e discussão dos resultados encontrados

A evolução da taxa de incidência de defeitos de brasagem durante o decorrer do projecto encontra-se representada no gráfico presente na figura 36.

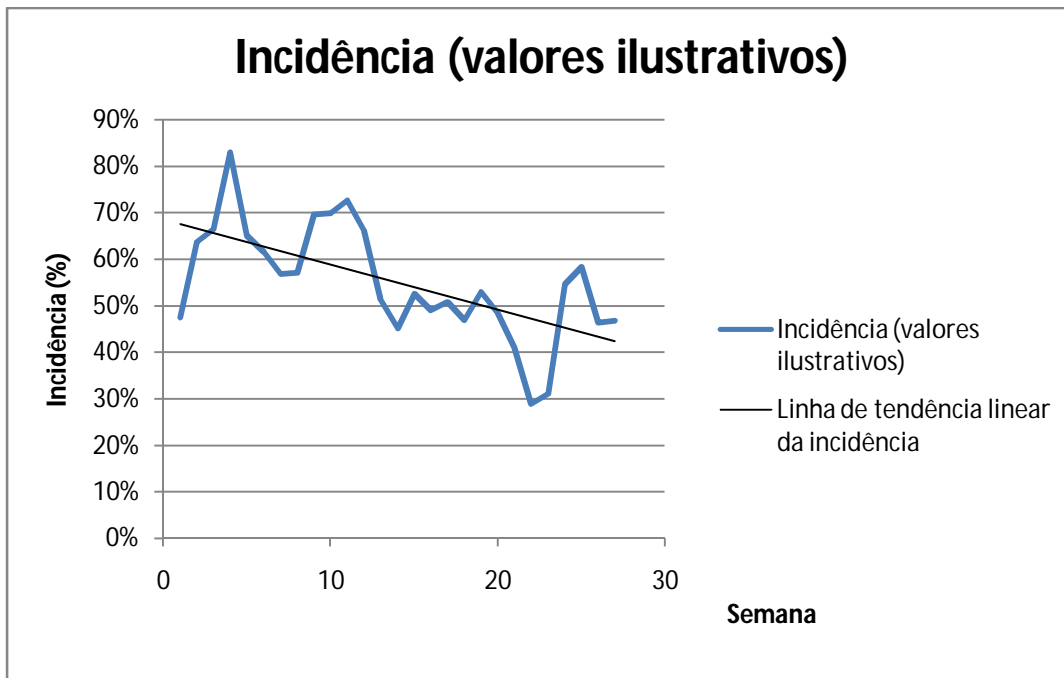


Figura 36 – Gráfico representativo da variação da taxa de incidência e respectiva linha de tendência.

Verifica-se que ao longo do projecto o valor da taxa de incidência de brasagem foi decrescendo de forma sustentada. Esta constatação fica clara analisando a linha de tendência que apresenta um declive negativo.

Entre a vigésima segunda e vigésima terceira semana, a taxa de incidência encontrava-se em valores muito próximos de 30%. No entanto, nas duas semanas que se seguiram deu-se uma subida acentuada da taxa de incidência. Essa subida foi causada por alguns problemas que surgiram na linha. Começaram por surgir problemas na expansão de um tipo de câmara. Durante a expansão, a zona da costura da saia abria, chegando mesmo, a saia, a rasgar nessa zona. Este é um problema grave, uma vez que este tipo de defeitos poderá originar fugas de gases durante o funcionamento do esquentador. Essas fugas só são verificadas durante os ensaios finais realizados a todos os esquentadores produzidos. A forma imediata de resolução deste problema foi a redução da pressão de expansão. Este problema foi minimizado, no entanto, graças a uma expansão menos efectiva. Essa expansão menos efectiva teve como contrapartida o aumento da dimensão das folgas entre as serpentinas e a saia o que levou ao aumento de incidência. Ocorreu ainda, nessa semana, um problema na produção de lamelas o que levou a um aumento acentuado na quantidade de lamelas por brasar.

O problema detectado no fabrico de lamelas foi solucionado, tendo sido um dos motivos da descida de incidência que seguiu, juntamente com os ajustes realizados na máquina de expansão. Quanto ao problema relacionado com o facto de a costura das saias abrir durante a expansão encontra-se, ao momento, a ser solucionado. Como já foi descrito anteriormente, a matéria-prima encontra-se fora das especificações e, em conjunto com o fornecedor, procura-se uma solução para o problema.

A taxa de incidência começa aproximar-se dos valores “record” atingidos na vigésima segunda semana, mesmo sem a completa resolução dos problemas descritos.

No gráfico da figura 37 pode ver-se a evolução da incidência de brasagem para o caso das serpentinas e das lamelas (os principais responsáveis pelos valores da incidência total), bem como a forma como estes valores se reflectem no total da incidência.

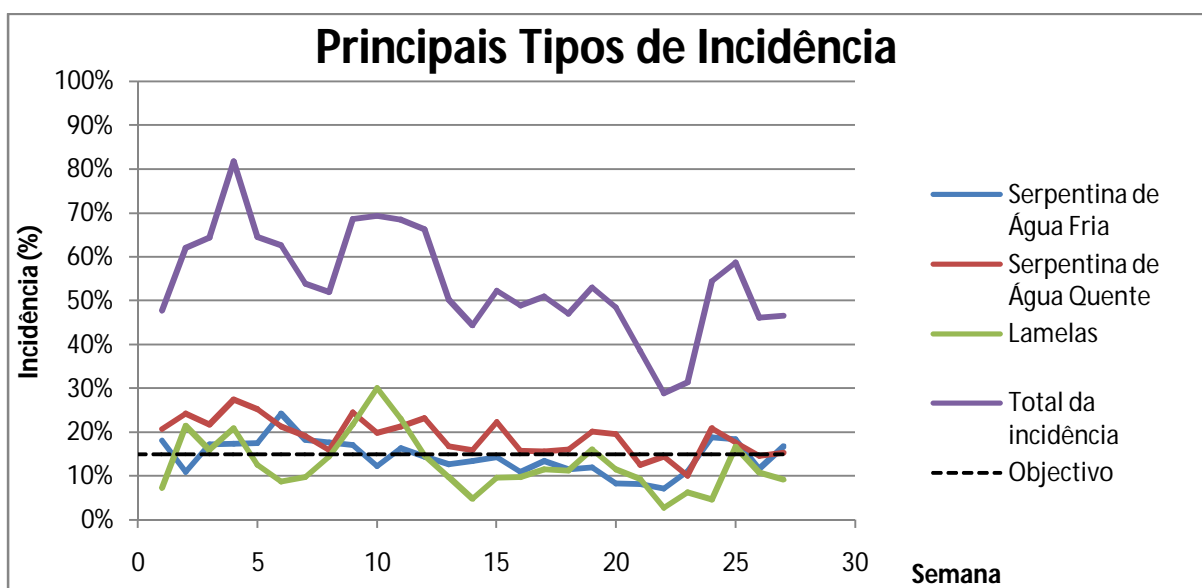


Figura 37 – Evolução da incidência de serpentinas e de lamelas no decorrer do ano de 2009 (valores ilustrativos).

Por análise do gráfico pode ver-se que a variabilidade da incidência de defeitos de brasagem para as serpentinas é relativamente reduzida. Pode ver-se que as amplitudes máximas medidas durante o tempo de projecto foram inferiores a 10%. Já a incidência das lamelas apresentam uma elevada variabilidade, com grandes flutuações na taxa de incidência. Pode observar-se que a amplitude máxima durante o tempo de projecto é próxima de 20%, existindo acentuadas variações de uma semana para a seguinte.

Esta análise vem comprovar que existe algum descontrolo estatístico no processo de produção de lamelas, esta constatação surge reforçada pelo facto de haver uma elevada produção de sucata durante a produção de lamelas. Este problema já existiu na linha 1 da secção e foi consideravelmente minimizado graças a um projecto seis sigma. As soluções a que se chegou nessa linha estão agora a ser transpostas para a linha 2, esperando-se resultados semelhantes, dado que o processo de fabrico de lamelas é muito semelhante em ambas as linhas.

A implementação destas medidas irá reduzir as flutuações nas dimensões e geometria das lamelas, o que irá com certeza reduzir a incidência de brasagem nas lamelas. Está também em estudo uma pequena alteração da geometria da lamela, de forma a que o encaixe das soldas à entrada do forno seja mais eficiente, reduzindo-se assim a possibilidade das soldas saírem do devido local durante a passagem pelo forno.

Na tabela 8 pode ver-se a forma como as correcções de diferentes tipos de serpentina afectou a taxa de incidência das respectivas câmaras de combustão. Encontram-se apresentados os resultados para cinco referências diferentes de câmaras de combustão, analisando-se a influência de dois tipos de correcção:

- Correcção por dificuldade de montagem (DM) das serpentinas;
- Correcção para diminuição da incidência (DI).

Tabela 8 – Influência das correcções das serpentinas na incidência (valores ilustrativos).

Semana	Ref. 1	Ref. 2	Ref. 3	Ref. 4	Ref. 5
1	30.6% DM	39.3%	29.1%	37.5%	128.55%
2	84.2%	48.0%	96.9%	85.7%	-
3	40.8%	62.9%	57.6%	102.0%	56.55%
4	53.6%	60.8%	71.9%	125.0%	85.05%
5	48.3%	62.9%	102.5%	127.2%	143.40%
6	37.8%	65.0%	47.7%	102.8%	100.65%
7	36.8%	57.0%	75.6%	89.0%	-
8	66.9%	66.9%	16.4%	134.7%	-
9	61.1%	64.1%	32.1%	112.8%	27.60%
10	77.0%	61.5%	206.0%	125.7%	56.85%
11	-	100.2%	143.9%	108.8%	64.35%
12	14.4%	45.8%	44.1%	123.0%	143.25%
13	-	40.2%	30.0%	59.1%	131.25%
14	38.0%	38.1%	44.4%	108.5%	29.10%
15	26.4%	46.2%	119.4%	157.5%	-
16	24.3%	66.6%	100.1%	53.7% DI	65.85%
17	32.0%	43.2% DI	60.2%	108.2% DM	-
18	29.3%	32.9%	57.8%	148.2% DI	- DM
19	53.1%	37.8%	197.0%	67.1%	85.20%
20	78.6%	33.0% DI	-	127.1% DI	64.35% DM
21	49.4% DI	36.3%	60.8%	82.7%	60.45% DI
22	21.2%	10.8%	44.6%	50.0%	59.40%
23	9.8%	35.0%	-	108.5%	86.10%
24	26.7%	52.4%	135.0%	101.7%	78.75%
25	43.2%	64.1%	39.9% DI	120.0%	34.05%

As correcções para redução de incidência executavam-se quando começavam a surgir defeitos, de forma sistemática, no mesmo troço recto das serpentinas. As correcções por dificuldade de montagem executavam-se quando existia dificuldade, por parte dos

colaboradores que montam as serpentinas, em montá-las na saia. Pretende-se desta forma que a serpentina não fique tão ajustada à saia, facilitando o trabalho dos colaboradores. Este tipo de correcção tem o aspecto negativo de aumentar as folgas entre a serpentina e a saia, o que geralmente resulta no aumento da incidência.

Analisando os dados presentes na tabela verifica-se que:

- Quando se procedeu a correcções com o objectivo de reduzir a incidência, a incidência diminuiu efectivamente;
- Quando se procedeu a correcções diminuir a dificuldade de montagem de serpentinas, a incidência aumentou.

O facto de, por vezes, a variação motivada pela correcção não ser imediata deve-se ao facto de existir um stock de serpentinas.

No gráfico da figura 38 pretende-se mostrar a forma como a incidência das serpentinas reagiu aos ajustes na máquina de expansão executados com o objectivo de reduzir o problema das saias que abriam na zona agrafada que se começou a agravar por volta da vigésima segunda semana.

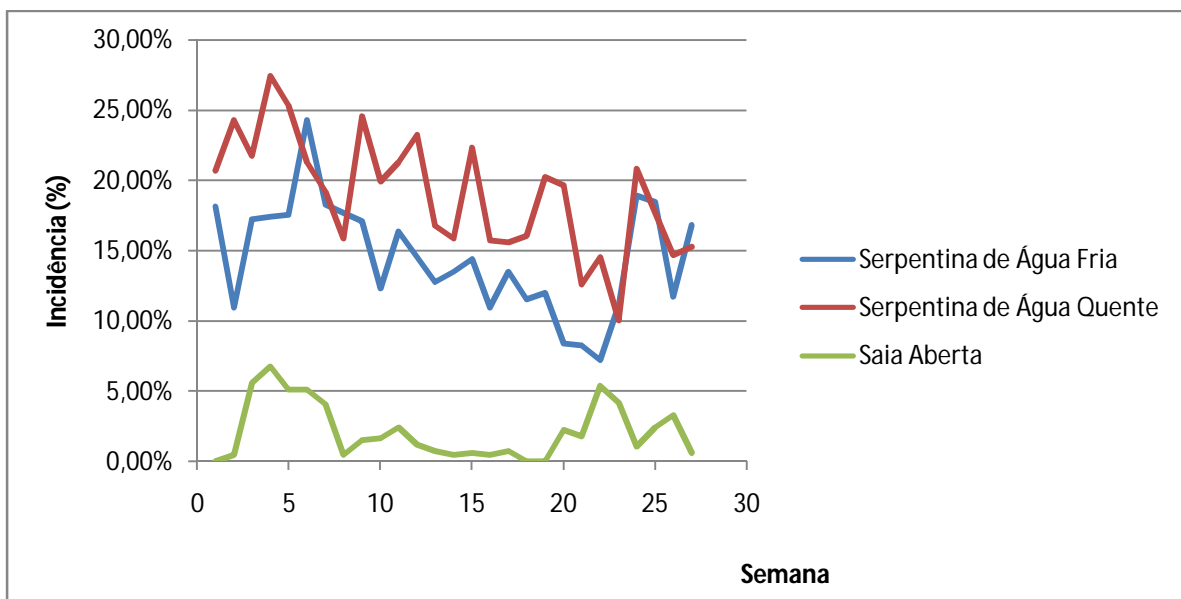


Figura 38 – Influência da incidência “saia aberta” na incidência de serpentinas (valores ilustrativos).

Este gráfico não consegue demonstrar a verdadeira dimensão do problema, dado que apresenta os valores da incidência semanal e o problema das saias que abriam na zona agrafada obrigou a acções correctivas imediatas. Pode, ainda assim, observar-se um pico de 3.6%, na vigésima segunda semana de 2009. Após este pico, este tipo de incidência voltou a descer, ao passo que a incidência nas serpentinas teve um crescimento acentuado.

No gráfico ilustrado na figura 39 pode ver-se a incidência relativa aos restantes tipos de incidência contabilizados.

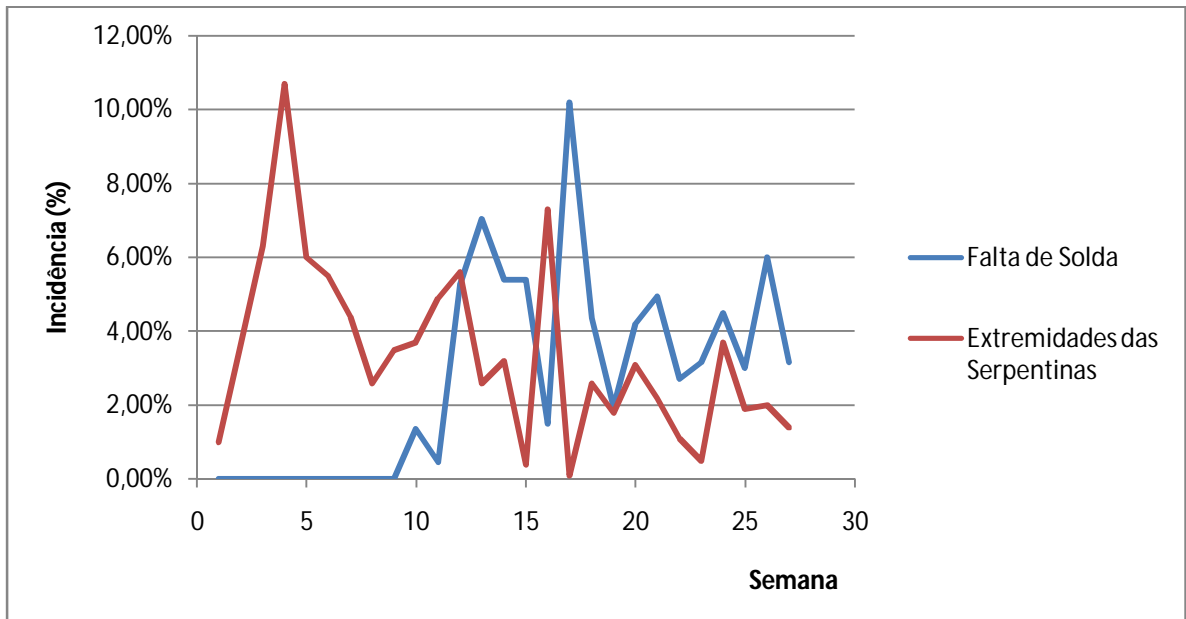


Figura 39 – Incidência de defeitos de brasagem nas extremidades das serpentinas e por falta de solda.

No gráfico pode verificar-se que estes tipos de incidência são marginais quando comparados com os restantes. Apresentaram, a partir da décima oitava semana de 2008, valores razoavelmente estáveis, no entanto, tendo em conta o objectivo que se pretende atingir representam uma contribuição considerável. Para a resolução do problema da falta de solda, já existem acções programadas, como foi explicado anteriormente. Para o caso dos defeitos de brasagem nas extremidades das serpentinas, a solução para a minimização deste problema passará pelo controlo dimensional das serpentinas.

Capítulo 6 – Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

No final deste projecto final de mestrado, pode concluir-se que os objectivos inicialmente definidos foram claramente atingidos. No decorrer do projecto planeou-se e implementou-se um grande número de acções de melhoria e algumas acções de controlo do processo. Apesar de terem surgido alguns imprevistos na parte final do projecto final de mestrado, pode verificar-se uma clara redução na taxa de incidência de defeitos de brasagem, tendo essa redução superado as expectativas iniciais para esta fase do projecto.

Quanto ao projecto seis sigma, a decorrer na empresa, não está ainda totalmente concluído, apresentando-se ainda em fase de implementação e controlo de algumas acções. Quando os imprevistos surgidos no final do quarto mês de projecto estiverem resolvidos e todas as acções definidas para o projecto estiverem implementadas, espera-se que o objectivo delineado seja cumprido.

Uma das principais conclusões retiradas com o decorrer deste projecto foi que um projecto seis sigma não é tão difícil de executar quanto parece à partida. Tem como principais dificuldades as mesmas que qualquer outro tipo de projecto de melhoria tem dentro de uma empresa.

As pessoas e as suas inter-relações têm uma preponderância decisiva no sucesso de um projecto. Se um colaborador não estiver motivado ou não tiver uma mentalidade aberta em relação à mudança pode tornar-se num opositor ao projecto. O trabalho de convencer os colaboradores de que a mudança que está a ser realizada é a melhor forma de fazer o trabalho é um trabalho tão ou mais importante que as conclusões retiradas de um projecto fantástico. Quem põe em prática as conclusões retiradas do projecto e as melhorias conseguidas são os colaboradores, como tal, é fundamental estarem motivados para potenciarem todas as suas capacidades.

Com este projecto conseguiu-se mostrar que nem sempre será necessário recorrer a grandes artefactos para se conseguirem retirar algumas conclusões, por vezes, os processos e as conclusões são claras, para se perder tempo precioso com considerações estatísticas ou com análises excessivas. No entanto, como é evidente, existem alturas em que as ferramentas estatísticas e de análise são ferramentas preciosas e devem ser usadas, caso contrário, poderá não se conseguir encontrar uma solução para o problema ou, caso se encontre, dificilmente será a solução óptima.

Do estudo realizado ao impacto das correcções das serpentinas na incidência conclui-se que, por vezes, a máquina de dobrar serpentinas começa a produzir serpentinas fora do standard e que a medição e correcção (quando as medições a justificam) levam à redução da incidência. O ideal seria eliminar a fonte de variabilidade, mas dado que a implementação dessa medida representaria avultados investimentos que demorariam demasiado tempo a amortizar, a solução encontrada para minimizar o problema foi a implementação do procedimento de controlo diário das serpentinas.

Os pontos-chave para o atingir do objectivo proposto para o projecto seis sigma serão:

- Redução da incidência na brasagem entre as serpentinas e a saia;
 - Maturação do procedimento de controlo da dimensão e geometria das serpentinas;
 - Resolução do problema relativo às propriedades do material;
 - Ajuste da máquina de expandir;
- Redução da incidência na brasagem entre as serpentinas e a saia por falta de solda;
 - Eliminação dos ressaltos existentes no forno;
- Redução da incidência de lamelas;
 - Eliminação dos ressaltos existentes no forno;
 - Implementação de pequena mudança na geometria da lamela que possibilitará um melhor encaixe da solda na lamela;
- Redução da incidência relativa às extremidades das serpentinas;
 - Maturação do procedimento de controlo da dimensão e geometria das serpentinas.

Depois da implementação de todas estas medidas de melhoria e uma vez atingido o objectivo definido, é fundamental deixar bem enraizadas todas as acções de controlo descritas acrescidas de todas as outras que virão a ser definidas, para que os mesmos problemas não voltem a ocorrer.

Futuramente, depois de o projecto estar concluído, é extremamente importante definir como serão resolvidos os problemas relativos ao facto de tanto o processo de fabrico de serpentinas como o processo de expansão não estarem controlados. Muito possivelmente será necessário fazer investimento nas respectivas máquinas podendo mesmo ser necessário substituí-las. Todos estes cenários terão de ser estudados, bem como serão necessários estudos de viabilidade para eventuais soluções que efectivamente reduzam a variabilidade destes dois processos.

Capítulo 7- Referências bibliográficas

1. APCER; “Guia Interpretativo ISO 9001:2000”; Dezembro, 2003; APCER.
2. <http://www.vulcano.pt>, ultima consulta em 30/06/2009.
3. Cabral, José A. Sarsfield; “Cartas de Controlo Shewhart – Publicação Didáctica”; 1999.
4. http://www.profitability.pt/documentos/SixSigma_Oqueparaqueserve.pdf, última consulta em 30/06/2009.
5. Pande, Peter S.; Neuman, Robert P.; Cavanagh, Roland R.; “The Six Sigma Way – How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance”, 2000; McGraw Hill; ISBN: 0-07-135806-4

Capítulo 8 – Bibliografia

- APCER; “Guia Interpretativo ISO 9001:2000”; Dezembro, 2003; APCER.
- Cabral, José A. Sarsfield; “Cartas de Controlo Shewhart – Publicação Didáctica”; 1999.
- http://www.profitability.pt/documentos/SixSigma_Oqueparaqueserve.pdf, última consulta em 30/06/2009.
- Bass, Issa; Lawton, Barbara; “Lean Six Sigma – Using Sigma XL and Minitab”; 2009; McGraw-Hill Companies, Inc; ISBN: 978-0-07-162621-7.
- Sleeper, Andrew D; “Design for Six Sigma Statistics 59 Tools for Diagnosing and Solving Problems in DFSS Initiatives”; 2006; McGraw-Hill Companies, Inc.
- Guimarães, Rui Campos, Cabral, José A. Sarsfield; “Estatística”; 1997; McGraw Hill; ISBN: 972-8298-45-5.
- Chase, Richard V.; Jacobs, F. Robert; Aquilano, Nicholas J.; “Operations Management - for Competitive Advantage with Global Cases”; 2006; McGraw-Hill Irwin; ISBN: 978-0-07-111552-0.
- Pande, Peter S.; Neuman, Robert P.; Cavanagh, Roland R.; “The Six Sigma Way – How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance”, 2000; McGraw Hill; ISBN: 0-07-135806-4.
- Thomsett, Michael C.; “Getting Started in Six Sigma – Comprehensive Coverage”; 2005; John Wiley & Sons, Inc; ISBN: 0-471-66811-7.

Anexo A – Registo das folgas medidas à entrada do forno e respectivo resultado verificado à saída do forno.

	Troço da serpentina	Folgas (mm)	Saída do forno (Defeitos)
1	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
2	AQ 01	0.1	Def
	AQ 02	0.1	
	AQ 03	0.1	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.2	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0.1	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
3	AQ 01	0.1	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0.2	
	AF 03	0.1	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
4	AQ 01	0.1	Def
	AQ 02	0	
	AQ 03	0.1	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.3	
	AF 01	0	
	AF 02	0.2	
	AF 03	0	
	AF 04	0.2	
	AF 05	0.2	
5	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	

	Troço da serpentina	Folgas (mm)	Saída do forno (Defeitos)
21	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.2	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.2	
	AF 05	0.2	
22	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	Falta de solda Def
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.3	
	AF 05	0.2	
23	AQ 01	0.1	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
24	AQ 01	0.1	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.2	
	AF 05	0.2	
25	AQ 01	0	Falta de solda
	AQ 02	0	
	AQ 03	0.1	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.2	
	AF 01	0	Falta de solda
	AF 02	0.1	
	AF 03	0	

	AF 04	0	
	AF 05	0.2	
6	AQ 01	0	Def
	AQ 02	0	
	AQ 03	0.1	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.2	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0	
	AF 04	0.2	
	AF 05	0.2	
7	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.2	
	AF 01	0	Def
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.3	
	AF 05	0.2	
8	AQ 01	0	Def
	AQ 02	0.1	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	Def
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.2	
	AF 05	0.2	
9	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0.1	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.2	
	AF 01	0	
	AF 02	0.2	
	AF 03	0	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.1	
10	AQ 01	0.1	Falta de solda
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.2	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.3	
	AF 05	0.2	
11	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	

	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
26	AQ 01	0.1	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.2	
	AF 05	0.2	
27	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.2	
	AF 05	0.1	
28	AQ 01	0.1	Def
	AQ 02	0	
	AQ 03	0.1	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0.1	
	AF 04	0	
	AF 05	0.2	
29	AQ 01	0.1	Falta de solda
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	1	
	AF 01	0	Def
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0	
	AF 05	0.2	
30	AQ 01	0.1	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0.1	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
31	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	

	AQ 04	0.2	Def
	AQ 05	1	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.2	
	AF 05	0.2	Def
12	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0.1	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
13	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
14	AQ 01	0.1	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
15	AQ 01	0.1	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0.1	
	AF 04	0	
	AF 05	0.2	
16	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0.1	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.2	
	AF 01	0	
	AF 02	0.2	
	AF 03	0.1	

	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0.1	
	AF 04	0.2	
	AF 05	0.2	
32	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0.1	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
33	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0.1	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
34	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0	
	AF 04	0.3	
	AF 05	0.2	
			Def
35	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.2	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
36	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	

	AF 04	0.2	
	AF 05	0.2	
17	AQ 01	0.1	Falta de solda
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0.2	
	AF 03	0	
	AF 04	0.3	
	AF 05	0.1	
18	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0.1	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	1	Def
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	
19	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0	
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0	
	AF 05	0.2	
20	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0	
	AF 04	0.2	
	AF 05	0.2	

	AF 04	0	
	AF 05	0.2	
37	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.3	Def
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0	
	AF 05	0.2	
38	AQ 01	0	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0.1	
	AQ 04	0.1	
	AQ 05	0.2	Def
	AF 01	0	
	AF 02	0	
	AF 03	0	
	AF 04	0.2	
	AF 05	0.2	
39	AQ 01	0.1	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.1	
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0	
	AF 04	0.2	Def
	AF 05	0.2	
40	AQ 01	0.1	
	AQ 02	0	
	AQ 03	0.1	
	AQ 04	0	
	AQ 05	0.3	Def
	AF 01	0	
	AF 02	0.1	
	AF 03	0	
	AF 04	0.1	
	AF 05	0.2	Def

Anexo B – Critérios de Brasagem definidos



Nota: Na empresa, o processo de brasagem é simplesmente chamado da soldadura.

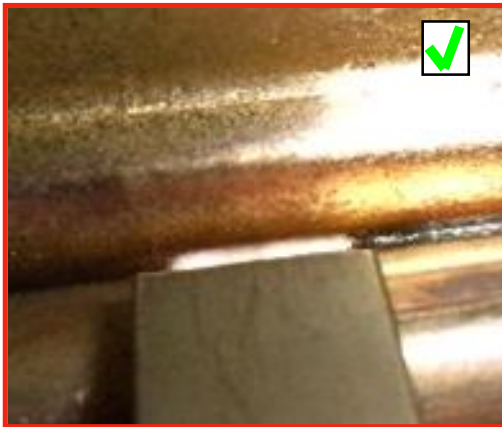
6 Sigma

Inspeção de Soldadura

Critérios de aceitação

→ Troços rectos das serpentinas

As serpentinas não devem ter falhas na soldadura superiores a 10mm por troço recto



Nota: Os troços rectos são definidos pela estampagem da saia

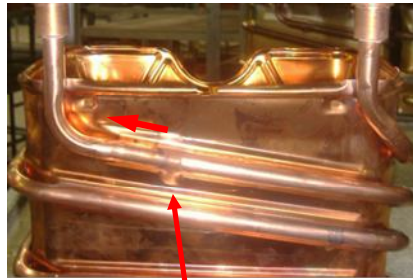


Legenda:  Troços rectos

6 Sigma Inspeção de Soldadura

Excepções ao critério troços rectos

→ Pontos de soldadura



As zonas indicadas pelas setas não necessitam estar soldadas

→ Zona da agrafagem



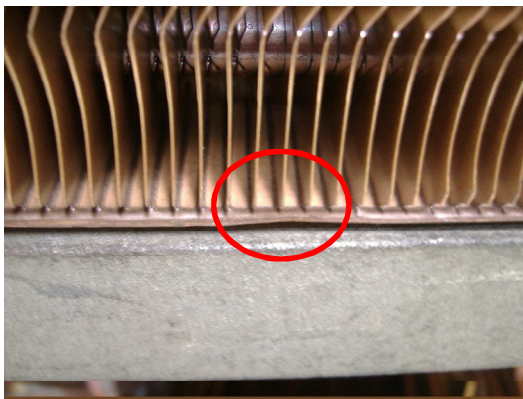
Na zona da agrafagem não é necessário ter a serpentina soldada à saia

6 Sigma

Inspeção de Soldadura

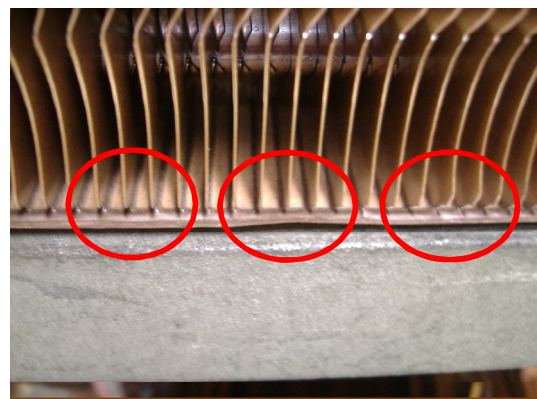
Critérios de aceitação

→ Lamelas



Nº máximo de lamelas seguidas não soldadas:

5 lamelas seguidas



Nº máximo de lamelas não soldadas (total):

15 lamelas (total)

6 Sigma Inspeção de Soldadura

Critérios de aceitação

→ Zona final das serpentinas

É necessário haver pelo menos um contacto pontual de soldadura entre a serpentina e o topo da saia



Exemplos:



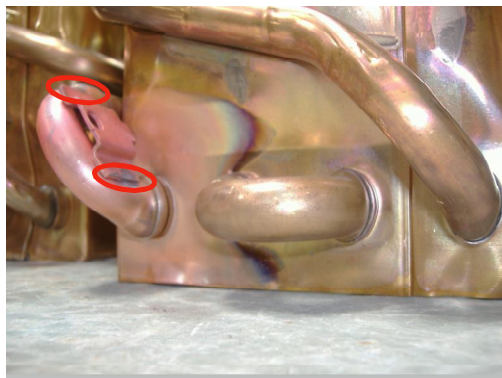
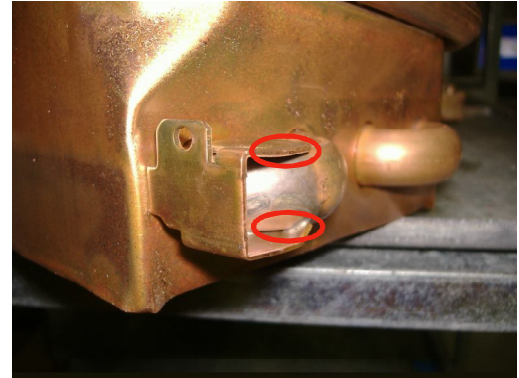
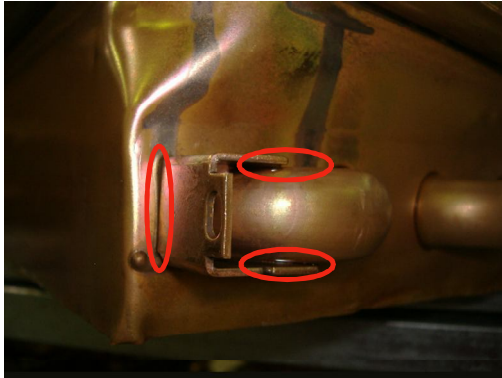
Nota: Excepto as câmaras com tubo extensível (não são soldadas no forno). Estas soldaduras são feitas aquando da soldadura do tubo extensível (soldadura manual).

6 Sigma

Inspeção de Soldadura

Critérios de aceitação

→ Suportes



Zona que é necessário estar soldada