



**I Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem  
Turma 2011 - CTA DEMEC-TC/UFPR**

**ELIO GUSTAVO NOGUEIRA HEIMBECHER**

**REDUÇÃO DE FALHAS NO PROCESSO LASER  
BRAZING PARA A SOLDAGEM DE CARROCERIAS**

**CURITIBA-PR  
2013**

ELIO GUSTAVO NOGUEIRA HEIMBECHER

**REDUÇÃO DE FALHAS NO PROCESSO LASER  
BRAZING PARA A SOLDAGEM DE CARROCERIAS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia da Soldagem do curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Okimoto.

**CURITIBA-PR  
2013**

ELIO GUSTAVO NOGUEIRA HEIMBECHER

**REDUÇÃO DE FALHAS NO PROCESSO LASER  
BRAZING PARA A SOLDAGEM DE CARROCERIAS**

Monografia aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista em Engenharia da Soldagem, área de concentração Fabricação, no Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. Hélio Padilha  
UFPR

  
Prof. Dr. Ramon Sigifredo Cortés Paredes  
UFPR

  
Prof. Dr. Paulo César Okimoto  
UFPR

Curitiba, 31 de outubro de 2013.

Dedico este trabalho à minha esposa **Karen**, à minha filha **Nicole** e à minha mãe **Elisabete**, motivos maiores que me impulsionam.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor Paulo César Okimoto pela oportunidade de participar deste conceituado curso, me permitindo integrar a um seleto grupo de profissionais na área de soldagem. Sua forma simples e direta de transmitir o seu vasto conhecimento foi fundamental para o entendimento dos conceitos de soldagem.

Agradeço ao professor Américo Scotti, que mostrou com sua grande experiência os fundamentos da soldagem MIG-MAG, acrescentando em muito o meu entendimento sobre estes processos vivenciados diariamente em minha profissão.

Agradeço ao professor Ramón Sigifredo Cortés Paredes pela sua orientação nos processos de soldagem TIG e aspensão térmica, bem como pela elucidação no campo dos aços inoxidáveis.

Agradeço a todos os professores que compunham o corpo docente pelos vários conhecimentos inerentes à área de soldagem e metalurgia, fundamentais para o entendimento dos processos como um todo.

Agradeço também a todos os meus colegas de classe, que de uma forma geral contribuíram fortemente com as suas experiências, permitindo conhecer e discutir os vários problemas encontrados diariamente nas empresas da área metal-mecânica.

## RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de demonstrar a busca pelas causas e soluções para as discontinuidades do tipo porosidade e do tipo falta de material de adição nos cordões brasados pelo processo de brasagem a laser para a união das chapas de um veículo. O processo foi mapeado para a definição dos pontos críticos, utilizando os conceitos clássicos da brasagem para a definição das correções necessárias no processo, com uma meta de redução das falhas em 45%. Após a realização das correções, verificou-se que as melhorias implementadas tiveram forte impacto nos resultados das avaliações da qualidade, propiciando a redução nos custos de fabricação do veículo pela redução dos retrabalhos, materiais utilizados para os consertos e redução do tempo de máquina parada para set up.

**PALAVRAS CHAVE:** Descontinuidade. Brasagem a laser. Veículo.

## ABSTRACT

This work aims to demonstrate the search for causes and solutions to the discontinuities of the type porosity and lack the type of filler material in strands brazed by laser brazing process for joining the plates of a vehicle. The process has been mapped to define the critical points, using the classical concepts of brazing for defining the necessary corrections in the process, with a goal of reducing crashes by 45%. After doing the corrections, it was found that the improvements implemented had a strong impact on the results of the quality measurements, providing a reduction in manufacturing costs of the vehicle by reducing rework, materials used for the repair and reduced downtime for set up.

KEYWORDS: Discontinuity. *Laser brazing*. Vehicle.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - POROSIDADE EM CORDÃO BRASADO À LASER.....	14
Figura 2 - FALTA DE MATERIAL EM CORDÃO BRASADO À LASER .....	14
Figura 3 - INDICADOR DE OCORRÊNCIAS DE FALHAS APONTADAS POR SEMANA .....	15
Figura 4 - DIFERENTES TIPOS DE MOLHABILIDADE .....	17
Figura 5 - EFEITO CAPILAR EM DIFERENTES FOLGAS E INFLUÊNCIA DA MOLHABILIDADE .....	18
Figura 6 - FORMAÇÃO DE MENISCO EM MATERIAL COM BOA MOLHABILIDADE .....	19
Figura 7 - TIPOS DE JUNTAS DE BRASAGEM.....	22
Figura 8 - ÓRBITA DO ELÉTRON AO REDOR DO NÚCLEO .....	24
Figura 9 - MUDANÇA DE CAMADA E FORMAÇÃO DO FÓTON.....	26
Figura 10 - FONTE LASER COM PROTEÇÕES FECHADAS.....	27
Figura 11 - LÂMPADA EXCITATRIZ.....	28
Figura 12 - DUAS LÂMPADAS MONTADAS NA TAMPA SUPERIOR DA CAVIDADE.....	28
Figura 13 - CAVIDADES DO GERADOR LASER MONTADAS NA FONTE LASER.....	29
Figura 14 - CABEÇA DE BRASAGEM SCANSONIC .....	30
Figura 15 - PÊNDULO E COMPENSAÇÃO DA CABEÇA DE BRASAGEM .....	31
Figura 16 - LASER E LENTES.....	32
Figura 17 - CP & CPK BAIXOS.....	36
Figura 18 - CP ALTO & CPK BAIXO.....	37
Figura 19 - CP & CPK ACEITÁVEIS.....	37
Figura 20 - CP & CPK ALTOS .....	37
Figura 21 - UNHAS E APOIADORES DA ASA DE INDEXAÇÃO DA LATERAL ESQUERDA .....	41
Figura 22 - VENTOSAS DE BORRACHA DO APOIADOR DO TETO .....	41
Figura 23 - GRAMPO COM UNHAS E APOIADORES DE POSICIONAMENTO .....	42
Figura 24 - TETO E LATERAL POSICIONADOS FORMANDO A JUNTA DE BRASAGEM .....	42
Figura 25 - RETRABALHO DO CORDÃO .....	43
Figura 26 - DIVISÃO DO TETO .....	45
Figura 27 - POROSIDADE NOS CORDÕES BRASADOS.....	46
Figura 28 - FALTA DE MATERIAL NOS CORDÕES BRASADOS .....	47
Figura 29 - ESTRATIFICAÇÃO DAS REGIÕES CRÍTICAS PARA A POROSIDADE .....	47
Figura 30 - ESTRATIFICAÇÃO DAS REGIÕES CRÍTICAS PARA A FALTA DE MATERIAL .....	48
Figura 31 - ÁRVORE DE FALHAS PARA AS REGIÕES CRÍTICAS DOS CORDÕES BRASADOS ..	49
Figura 32 - MATRIZ DE CAUSA E EFEITO PARA POSSÍVEIS CAUSAS.....	50
Figura 33 - DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO PARA OS DESVIOS EM "Y" .....	52
Figura 34 - DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO PARA OS COMPONENTES DA CABINE.....	56
Figura 35 - ALTURA DO TETO .....	62
Figura 36 - NORMALIDADE E CAPABILIDADE LADO ESQUERDO DO TETO .....	64
Figura 37 - NORMALIDADE E CAPABILIDADE LADO DIREITO DO TETO .....	65
Figura 38 - UNHA DE APOIO DO TETO .....	67
Figura 39 - CILINDRO POSICIONADOR.....	68
Figura 40 - PICO NA PEÇA DEVIDO À FERRAMENTA.....	68

Figura 41 - APOIADORES FECHADOS E DEMARCAÇÕES DAS REGIÕES DO TETO .....	69
Figura 42 - CABEÇA DE BRASAGEM E CROSS JET .....	72
Figura 43 - BOBINA E BATENTE EM NYLON .....	73
Figura 44 - MONITORAMENTO DE TRAVAMENTO DA BOBINA.....	73
Figura 45 - TELA DE CONTROLE DO ARAME DE SOLDA PELO SISTEMA CONTROL WIRE .....	74
Figura 46 - VARIAÇÃO DO FOCO DEVIDO À VARIAÇÃO DA ALTURA DO TETO .....	75
Figura 47 - LENTE QUEIMADA .....	76
Figura 48 - LENTE DO CONJUNTO ÓPTICO MANCHADA .....	77
Figura 49 - QUEIMA DAS CHAPAS PELA PERDA DO FOCO DO LASER .....	77
Figura 50 - AJUSTE DO FOCO DO LASER .....	78
Figura 51 - BICO DE CONTATO E CONDUÍTE .....	79
Figura 52 - POTÊNCIA x TEMPO DE EXCITAÇÃO .....	82
Figura 53 - QUALIDADE DO CORDÃO .....	85
Figura 54 - CORTE DO TETO .....	85
Figura 55 - TESTE MACROGRÁFICO DE UM CORDÃO BRASADO PELO PROCESSO LASER .....	86
Figura 56 - META DE REDUÇÃO DE FALHAS ALCANÇADA.....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - SIGNIFICADO DO VALOR DE CP .....	35
Tabela 2 - CRITICIDADE PARA A QUALIDADE .....	45
Tabela 3 - DADOS DE APOIO .....	61
Tabela 4 - MEDIÇÃO DA ALTURA DO TETO .....	63
Tabela 5 - P-VALUE & CAPABILIDADE PARA A ALTURA DO TETO .....	66
Tabela 6 - FOLGAS ENTRE LATERAIS E TETO NA JUNTA DE BRASAGEM .....	70
Tabela 7 - PARÂMETROS ANTES DA AFERIÇÃO .....	81
Tabela 8 - PARÂMETROS APÓS A AFERIÇÃO .....	83
Tabela 9 - ENSAIO DE TRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	87

## LISTA DE SIGLAS

**MIG** - Processo de soldagem utilizando gás de proteção inerte.

**MAG** - Processo de soldagem utilizando gás de proteção ativo.

**CP** - Capabilidade, intervalo de tolerância, limites de especificação.

**CPK** - Capabilidade, centralização do processo.

**CEP** - Controle Estatístico do Processo, cartas de controle.

**TPM** - Manutenção Produtiva Total.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	Tema.....	13
1.2	Descrição do problema .....	14
1.3	Objetivos.....	15
1.3.1	Objetivo Geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos .....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Brasagem .....	16
2.2	Laser.....	23
2.3	Cabeçote de brasagem - Scansonic.....	30
2.4	Laser brazing .....	32
2.5	Brainstorming.....	33
2.6	Índices de capacidade – CP & CPK.....	34
3	FLUXO DO PROCESSO.....	39
3.1	Processo de fabricação de um veículo .....	39
3.2	Ponto do processo analisado.....	40
3.3	Brasagem na cabine laser e clientes internos .....	40
3.3.1	Criticidade para a qualidade .....	44
3.4	Indicador de ocorrências.....	45
4	ESTRATIFICAÇÃO DAS FALHAS.....	46
4.1	Índice de ocorrências.....	46
4.1.1	Árvore de falhas.....	48
5	AValiação DAS POSSÍVEIS CAUSAS.....	50
5.1	Definição dos eixos de referenciamento .....	50
5.2	Matriz de causa e efeito.....	50
5.2.1	Medição da altura do teto .....	51
5.2.2	Desvio das laterais em “Y” .....	51
5.2.3	Componentes da cabine laser .....	56
6	MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS .....	61
6.1	Plano de coleta de dados .....	61
6.2	Medição da variação da altura do teto - Correções no processo.....	62
6.3	Medição do desvio da lateral em “y” - Correções no processo .....	67
6.4	Avaliação dos parâmetros e componentes GEO - Correções no processo ..	71
7	RESULTADOS OBTIDOS.....	85
8	RECOMENDAÇÕES GERAIS .....	88
9	CONCLUSÕES .....	89
10	TRABALHOS FUTUROS .....	90
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Tema

A indústria automobilística tem como objetivo a otimização dos processos de soldagem das partes utilizadas para a montagem da carroceria, de forma a obter o máximo de performance com o menor custo possível, para que se mantenha competitiva frente aos demais concorrentes.

Para que isto ocorra, vários processos de soldagem são utilizados, dentre os quais destacam-se a soldagem por resistência (solda ponto), MIG-MAG e **laser brazing**, conhecido como brasagem a laser, cada qual com a sua devida aplicação no que diz respeito à resistência mecânica, facilidade e velocidade de execução, bem como o custo por veículo produzido.

O processo de soldagem por resistência é amplamente utilizado pelas montadoras por oferecer uma soldagem a baixo custo. Sua aplicação é bastante diversificada, sendo aplicada desde peças mais robustas como longarinas, como também em peças mais frágeis como, por exemplo, a chaparia externa do veículo, sendo um processo que pode ser realizado de forma manual ou automatizada.

O processo de soldagem MIG-MAG também é muito utilizado, sendo que sua aplicação se dá em vários pontos do veículo, complementando a resistência oferecida pela soldagem à resistência. Pode ser aplicada a uma grande gama de espessuras, cada qual com o seu nível de exigência.

No estudo que se segue será avaliado o processo de brasagem utilizando o laser para a união do teto com a lateral de um veículo pelo processo conhecido como *laser brazing* e os cuidados a serem tomados para que o resultado final seja um cordão isento de porosidade e com o preenchimento adequado da junta de brasagem.

Este processo permite que haja a união perfeita das duas peças por um cordão contínuo e que propicia uma excelente resistência mecânica e com ótima estanqueidade, requisitos que são mandatórios para a união de chaparias na indústria automobilística.

## 1.2 Descrição do problema

As premissas para a utilização de cordões brasados para a união de peças na indústria automobilística são a isenção de porosidades superficiais e internas no cordão, bem como o total preenchimento da junta de soldagem pelo metal de adição. Estes fatores são fundamentais para a resistência mecânica das partes unidas, sendo rigorosamente controlados para a garantia da qualidade e confiabilidade no que diz respeito à segurança veicular.

Devido às muitas variáveis do processo eventualmente pode ocorrer a presença de poros, conforme mostrado na Figura 1, ou falta de metal de adição ao longo do cordão brasado, conforme mostrado na Figura 2, sendo consideradas falhas graves e que necessitam de retrabalho imediato.



Figura 1 – POROSIDADE EM CORDÃO BRASADO À LASER



Figura 2 – FALTA DE MATERIAL EM CORDÃO BRASADO À LASER

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

Detectar e eliminar as causas das falhas na brasagem à laser do teto com a lateral de um veículo, reduzindo as ocorrências de poros e principalmente as regiões com falta de material de adição, garantindo a integridade dos cordões e diminuindo os custos com máquina parada e com retrabalhos.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para o acompanhamento oficial da evolução das falhas ao longo do período de estudo será utilizado como base o indicador obtido a partir de uma inspeção minuciosa realizada por especialistas da qualidade, os quais avaliam as falhas atribuindo uma pontuação para cada ocorrência conforme o seu grau de exigência, tomando-se uma amostragem aleatória durante cada turno de trabalho. O objetivo final do projeto é atingir a meta de redução de 45% na média da pontuação atribuída para as falhas, sendo que a média atual é de 10,16 pontos conforme pode ser visto na Figura 3, que mostra a pontuação obtida em cada semana no decorrer de um ano para o acompanhamento da evolução das falhas.

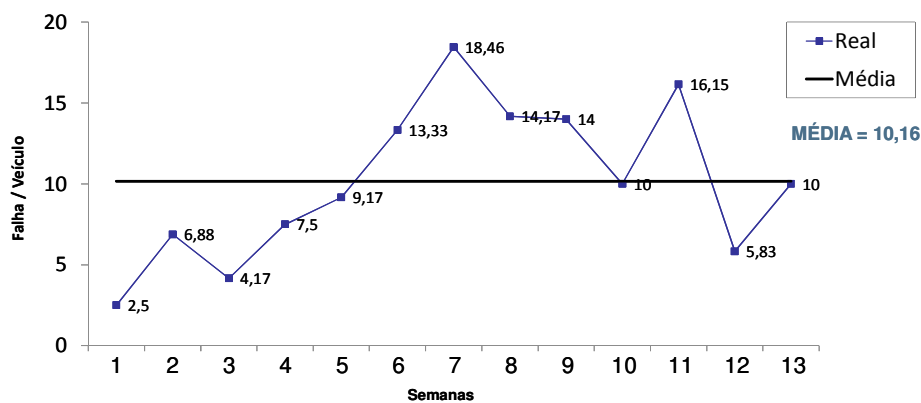


Figura 3 - INDICADOR DE OCORRÊNCIAS DE FALHAS APONTADAS POR SEMANA

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Brasagem

A brasagem é um método de união entre duas ou mais peças utilizando um metal de adição que é aquecido até a sua fusão. Sua grande vantagem frente aos demais processos de união é a capacidade em unir peças de diferentes materiais e com pequena seção transversal, fazendo da brasagem uma técnica muito versátil, sendo aplicada desde a fabricação de jóias até a construção de equipamentos aeroespaciais.

O processo implica na utilização de metal de adição com temperatura de fusão cuja linha Liquidus é superior a 450 °C, mas inferior à linha Solidus do metal de base, onde se encontra a junta de brasagem. A junta de brasagem nada mais é do que a geometria formada para a acomodação do metal de adição que será fundido e que ao se solidificar irá promover a união das peças.

Para que a união ocorra, a superfície desta junta deve estar livre de resíduos de óleos, graxas, óxidos e tintas, sendo utilizado para este fim a aplicação de solventes orgânicos como o tricloroetano, vapor desengraxante, ácidos para a decapagem ou então pela remoção mecânica como o lixamento e o jato de areia.

Para os casos em que as peças precisarem passar por tratamentos químicos, estas deverão ser lavadas e secadas para que não ocorra a corrosão.

Conforme descrito por Machado, 1996, *“a oxidação dificulta o molhamento e não permite que a união se realize perfeitamente, com conseqüente deterioração das propriedades mecânico/metálicas da junta”*.

Para que a adesão possa ocorrer adequadamente, o metal fundido precisa se espalhar sobre a superfície do metal de base, sendo chamado este efeito de molhabilidade, a qual pode ser classificada em três formas distintas:

1. **Molhabilidade inexistente** – O metal de adição permanece em forma de gota, assumindo o seu estado de menor energia devido à tensão superficial e da coesão das suas moléculas. A falta de molhabilidade pode estar ligada à baixa temperatura do metal de base, na região onde se deseja fazer a brasagem, podendo também estar ligada à presença de um filme de óleo ou graxa, sendo necessário neste caso a utilização de um fluxante.

2. **Molhabilidade intermediária** – Neste caso o metal de adição apresenta maior nível de energia, porém, se espalha de forma incompleta, havendo ainda uma resistência no filme externo ao material fundido devido à tensão superficial e à força de coesão. Neste estágio já é possível fazer a união entre as partes e no caso de a superfície estar bem preparada para o processo de brasagem, basta aumentar o calor aplicado de forma a promover o completo espalhamento do metal fundido.

3. **Molhabilidade elevada** – Esta é a condição ideal para a união das partes, havendo total espalhamento do metal de adição, formando uma camada de metal fundido sobre o metal de base. Quando o metal está completamente fluidificado o processo de união fica facilitado, uma vez que o metal fundido tende a penetrar nos espaços vazios da junta de brasagem. A Figura 4 mostra as três formas possíveis de molhabilidade do metal de adição fundido.



Figura 4 - DIFERENTES TIPOS DE MOLHABILIDADE  
TM 116 - SOLDAGEM (OKIMOTO, 2013)

A penetração do metal fundido só é possível devido ao efeito capilaridade, o qual consiste em uma propriedade física que os líquidos possuem de subirem ou descerem por superfícies estreitas, vencendo a força da gravidade. Este efeito se deve a uma combinação da tensão superficial do líquido e da adesão.

A tensão superficial é o efeito de membrana que um líquido apresenta devido à força de coesão pela qual suas moléculas estão unidas. Abaixo desta membrana as moléculas sofrem uma força de atração em todas as direções, sendo que a resultante das forças é praticamente nula. As moléculas que formam a superfície recebem esta força de atração somente das moléculas imediatamente inferiores e das moléculas que estão ao lado, formando desta forma uma película que oferece certa resistência ao seu rompimento, denominando-se como tensão superficial.

Conforme Okimoto, 2013, *“existindo molhabilidade, a fase líquida tende a subir acima do nível normal através do efeito capilar, sendo a altura alcançada tanto*

*maior quanto menor a folga. Em contrapartida, quando não existe molhabilidade, a folga sequer é preenchida, ficando a altura da fase líquida abaixo de seu nível normal”.*

O efeito descrito pode ser visto na Figura 5 abaixo, onde se percebe a variação da altura alcançada pelo fluido acima do seu nível normal em função das folgas dos capilares, bem como a falta de molhabilidade, fazendo com que o líquido seja empurrado para níveis abaixo do seu nível normal devido à tensão superficial e à falta da força de adesão, que é o que permite que ocorra a interação entre a superfície sólida e o fluido e que se constitui pela força de atração intermolecular que ocorre entre os dipolos do fluido e da superfície em contato.

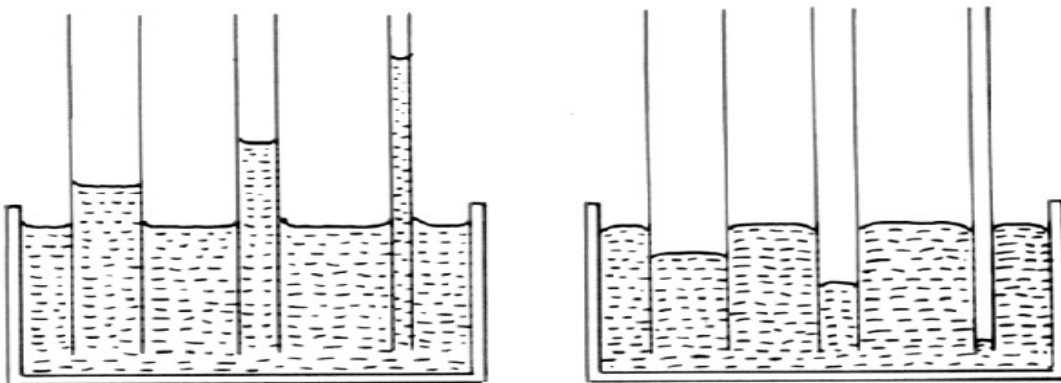


Figura 5 - EFEITO CAPILAR EM DIFERENTES FOLGAS E INFLUÊNCIA DA MOLHABILIDADE  
TM 116 - SOLDAGEM (OKIMOTO, 2013)

Esta força de interação age sobre o líquido na região de contato formando um raio de curvatura, denominado como menisco. Porém, o resto da superfície do líquido que não está em contato permanece plana devido à força gravitacional. A Figura 6 mostra a formação de um menisco em um material que apresenta boa molhabilidade.

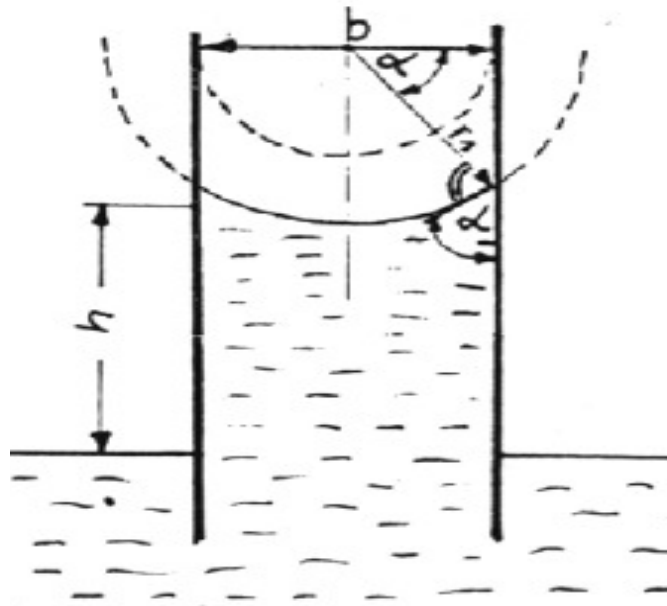


Figura 6 - FORMAÇÃO DE MENISCO EM MATERIAL COM BOA MOLHABILIDADE  
TM 116 – SOLDAGEM (OKIMOTO, 2013)

A fim de entender as equações que regem o efeito capilaridade, tomemos como base os dados da figura acima, sendo que:

- $b$  = Folga entre as partes ou tubo capilar;
- $h$  = Altura atingida pelo fluido para formar o menisco;
- $\alpha$  = Ângulo de contato
- $r_1$  = Raio de curvatura do menisco;
- $r_2$  = Raio de curvatura do fluido no nível de referência.

O resultado desta curvatura que se forma é um diferencial de pressão na superfície do fluido fazendo-o subir na folga entre as duas partes até que a pressão provocada pela energia de superfície se iguale à pressão hidrostática, sendo calculado pela Equação 1 (equação de Laplace).

$$PK = \gamma GL (1/r_1 + 1/r_2) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$r_2$  = Infinito;

$$r_1 = (b/2) \cdot \cos\alpha;$$

$\gamma_{GL}$  = Tensão superficial do metal de adição líquido sob atmosfera de brasagem.

Substituindo-se na equação de Laplace tem-se a Equação 2:

$$\mathbf{PK = (2 \cdot \gamma_{GL} \cdot \cos\alpha)/b} \quad \text{(Equação 2)}$$

A pressão hidrostática PH exercida pelo fluido devido à altura h do nível do menisco pode ser calculada pela Equação 3:

$$\mathbf{PH = \rho_f \cdot g \cdot h} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

$\rho_f$  = Densidade do fluido;

g = Aceleração da gravidade;

h = Altura do menisco.

Para encontrar a altura que o fluido irá atingir deve-se igualar as equações 2 e 3, chegando-se à Equação 4.

$$\mathbf{h = \frac{(2 \cdot \gamma_{GL} \cdot \cos\alpha)}{b \cdot \rho_f \cdot g}} \quad \text{(Equação 4)}$$

A Equação 4 demonstra que a altura que o fluido irá atingir depende de vários fatores, tais como a folga entre as partes e do ângulo de contato na interface sólido/líquido da densidade do fluido. Porém, outros fatores são importantes para que o efeito capilaridade possa ocorrer de forma adequada.

A viscosidade ( $\eta$ ) do metal de adição, que está diretamente ligada ao correto aquecimento, bem como a interação entre os dipolos das superfícies sólido/líquido e a utilização de um elemento fluxante são fatores que influenciam o efeito capilaridade. Para a brasagem utilizando o laser como fonte de calor não se utiliza o fluxo para o desengorduramento das superfícies, porém, estas devem estar igualmente isentas de oleosidade e de outras sujidades.

O tempo (t) que o fluido irá demorar para atingir a altura (h) pode ser obtido por meio da Equação 5.

$$h = \frac{(b \cdot t \cdot \gamma_{GL} \cdot \cos\alpha)^{1/2}}{(3 \cdot \eta)} \quad (\text{Equação 5})$$

Conforme Machado, 1996, estas equações permitem deduzir que:

- Para o líquido preencher a folga, um baixo ângulo de contato é condição necessária, mas não suficiente;
- Se o líquido possuir uma alta tensão superficial, a taxa de preenchimento da folga é maior;
- Baixa viscosidade também acelera o preenchimento da folga, sendo que ligas com pequeno intervalo de solidificação (próximas ao eutético) possuem em geral esta propriedade menor do que aquelas com grande intervalo de solidificação;
- Conforme diminui a folga, o líquido pode alcançar pontos mais altos;
- A taxa com que o líquido preenche a folga decresce proporcionalmente com a redução da mesma.

Conforme Bracarense, 2013, a folga adequada deve ser considerada no projeto da junta de forma a facilitar a penetração do metal fluidificado por meio do efeito capilaridade. A Figura 7 mostra alguns tipos de juntas de brasagem.

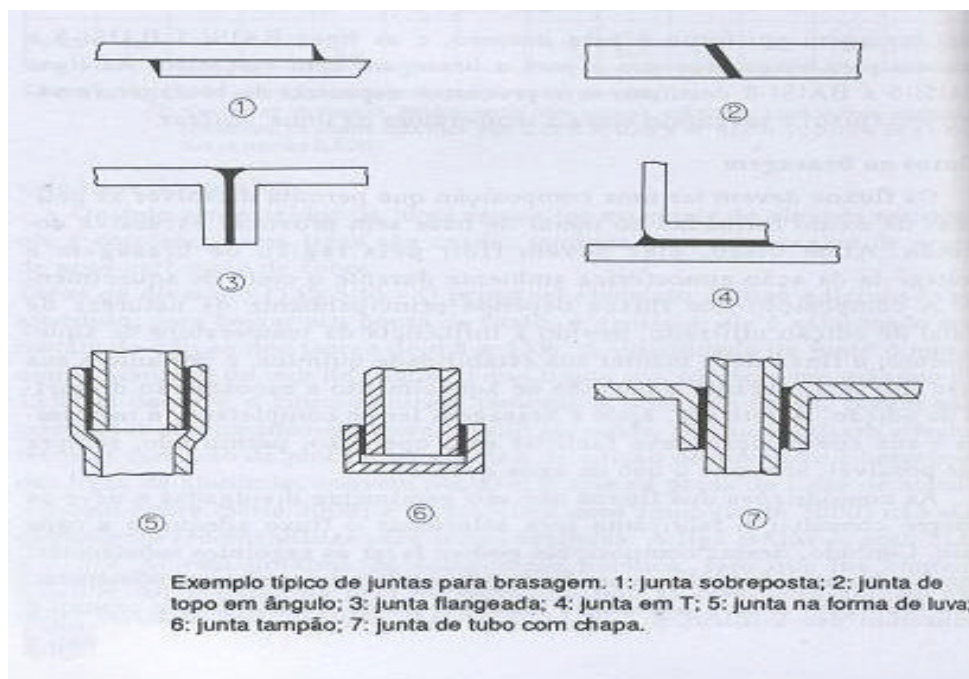


Figura 7 - TIPOS DE JUNTAS DE BRASAGEM  
BRASAGEM, SOLDABRASAGEM E SOLDAGEM BRANDA (BRACARENSE, 2013)

Durante o processo de fusão do metal de adição sobre chapas galvanizadas, como as que formam as juntas estudadas, poderá ocorrer a vaporização do Zinco a partir do calor imposto nas chapas, formando bolhas que podem ficar aprisionadas no cordão durante a fusão e penetração na junta, gerando porosidades. Desta forma, a fim de se evitar a formação de poros, as juntas devem ser projetadas para permitir o escape destes gases, porém, a folga não poderá ser demasiadamente grande de forma que o fluido não consiga penetrar até a altura desejada, ou no caso da união entre o teto e a lateral do veículo, que ocorra o colapso do material por entre a folga, gerando a descontinuidade do tipo falta de material no cordão brasado.

Conforme Okimoto, 2013, na grande maioria das aplicações, as folgas utilizadas estão na faixa entre 0,05 e 0,2mm e a garantia de que a distância da folga se mantenha ao longo da junta é fator primordial para que o cordão apresente a mesma geometria e aspecto visual, principalmente em sistemas automatizados com velocidade de alimentação do arame e deslocamento longitudinal constantes.

De acordo com Bracarense, 2013, estas folgas devem ser previstas em projeto, levando em consideração o tipo de material que será unido, os processos utilizados para a produção das peças, de forma que as superfícies da interface de união apresentem certa rugosidade para que o processo de adesão seja facilitado,

bem como o metal de adição, o comprimento do cordão e a forma de aquecimento para a fusão. Abaixo está descrita uma seqüência de etapas a serem seguidas para se obter uma junta eficiente, unindo todas as variáveis do processo de brasagem, segundo Machado, 1996.

- Dimensionamento e desenho completo da junta, incluindo tolerâncias;
- Projeto e construção do sistema de posicionamento da junta;
- Detalhes do material base, com especificações;
- Determinação da limpeza prévia que será efetuada;
- Estabelecimento do material de adição a ser utilizado, com especificações;
- Decisão sobre o método de brasagem que será empregado;
- Estabelecimento do fluxo e/ou atmosfera de brasagem, com especificações;
- Determinação da limpeza após a brasagem;
- Necessidade de tratamento térmico;
- Necessidade de inspeção (ensaios, etc);
- Cuidados e precauções gerais a serem tomadas.

É importante ressaltar o efeito do aquecimento da superfície de contato e do metal de adição, pois ocorre a difusão atômica entre os dois materiais em uma região muito estreita das superfícies da junta, muitas vezes penetrando nas regiões de contorno de grão do metal de base e esta capacidade que o metal fluidificado tem em penetrar a mais estreita das folgas e se comportar como uma cola é o que confere grande resistência nos ensaios de tração e permitem a sua aplicação em uma série de processos para a união dos mais diversos tipos de peças e em especial às peças em estudo, garantindo a sua estanqueidade.

## **2.2 Laser**

Para que se possa entender o processo de formação do raio laser é necessário que se entenda a física do átomo. O conceito principal para o átomo está relacionado à idéia de porção fundamental da matéria. Este conceito para os antigos consistia em se pegar um bloco de pedra e quebrá-lo de forma a gerar pedaços muito pequenos, onde se pegaria o menor dos pedaços, quebrando-o

novamente e seguindo este processo até que se chegue na menor parte que não poderia mais ser dividida, mantendo as propriedades do material.

A esta parte unitária se dava o nome de átomo. Com o passar do tempo verificou-se que este conceito não era preciso e em 1808 o cientista inglês John Dalton introduziu novos conceitos que embasaram o entendimento que temos hoje sobre o átomo. Dalton acreditava que o átomo era formado por uma partícula diminuta constituída por um núcleo indestrutível, com massa e dimensão inalterável, através do qual todos os outros materiais eram formados, conforme a sua combinação.

Mais tarde, o cientista inglês Ernest Rutherford apresentou novas considerações para o átomo, propondo ser constituído por um núcleo positivo com cargas elétricas circundando o núcleo em trajetórias circulares, como mostra a Figura 8.

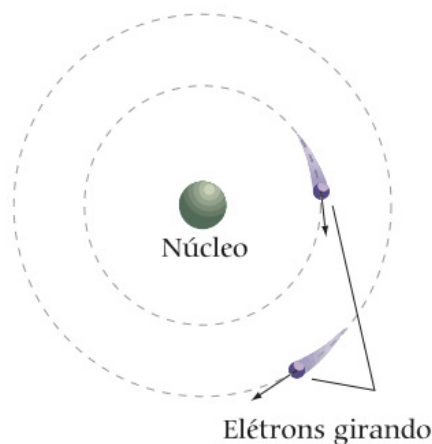


Figura 8 - ÓRBITA DO ELÉTRON AO REDOR DO NÚCLEO  
OS FUNDAMENTOS DA LUZ LASER (BAGNATO, 2013)

Porém, conforme Bagnato, 2013, esta configuração contradiz a teoria do eletro-magnetismo no sentido de que elétrons girando em torno do núcleo emitem energia e com esta diminuição da energia a sua trajetória deveria se aproximar cada vez mais do núcleo a fim de compensar a perda energética, colidindo com o núcleo positivo e desta forma o átomo se auto-consumiria, levando consigo toda a matéria.

O físico Niels Bohr apresentou as suas proposições que explicam os ganhos e perdas energéticas de um átomo, sendo estes conceitos conhecidos como os postulados de Bohr e que tem como base os conhecimentos do físico Max Planck

com a sua teoria Quântica. Planck utilizava o conceito de unidade quântica para descrever as propriedades dinâmicas dos corpos subatômicos, bem como as interações que ocorrem entre a matéria e a radiação. Ele afirmou que a matéria absorve e emite energia em pequenas unidades chamadas **quanta**, que é a quantidade de energia necessária para que ocorra a transição dos elétrons de uma camada para outra, conceito pelo qual se explica a obtenção dos Fótons pela liberação de energia.

Segundo Planck, a energia é emitida em pequenos pacotes energéticos provenientes de partículas oscilantes, proporcionalmente à frequência de oscilação, sendo descrita pela Equação 6.

$$\mathbf{E = h.f} \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde **h** é a constante de Planck e **f** a frequência da radiação.

Desta forma, Bohr afirmou que os elétrons giram ao redor do núcleo em órbitas circulares definidas, sendo que não existe a emissão de energia pelos elétrons. Para que ocorra a emissão de energia, o elétron deve sofrer um ganho de energia tal que o faça mudar para uma órbita mais externa, ficando mais carregado energeticamente e ficando instável devido a não estar em sua órbita fundamental, entrando em um estado de excitação.

De acordo com Bagnato, 2013, esta excitação pode ocorrer pela energização do sistema por meio da aplicação de alta voltagem ou pela exposição do meio por uma fonte de radiação luminosa. Quando o elétron retorna para a órbita mais interna, ocorre a emissão de um pacote energético. Esta energia é emitida na forma de radiação luminosa, denominada como Fóton, como pode ser visto na Figura 9.

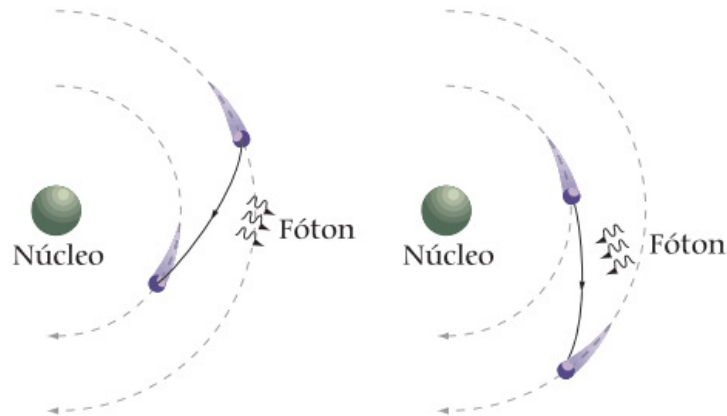


Figura 9 – MUDANÇA DE CAMADA E FORMAÇÃO DO FÓTON  
OS FUNDAMENTOS DA LUZ LASER (BAGNATO, 2013)

O processo de formação do raio laser se dá pelo efeito cascata que ocorre quando um elétron decai energeticamente de uma camada mais externa para uma mais interna. Quando este elétron retorna para a sua camada original ocorre a liberação do Fóton. Este Fóton é absorvido por outro elétron, o qual realiza o mesmo processo de mudança de camada e liberação de energia., ocorrendo a liberação de dois pacotes de energia, seguindo este decaimento e aumentando a energia até que se tenha uma concentração de Fótons que passam a se deslocar no sentido do maior comprimento do meio ativo (cristal). Estes fótons vão se acumulando por meio da reflexão pelo uso de espelhos e vão ganhando potência, até que o sistema libere esta energia para a sua utilização como fonte de calor.

O laser é gerado em um equipamento conhecido como fonte laser, sendo que é neste equipamento que estão montadas as cavidades com o cristal e as lâmpadas, o sistema de espelhos, sistema de refrigeração e controle da potência.

Basicamente uma fonte laser é constituída por três partes fundamentais, sejam elas:

- **Meio ativo;**
- **Gerador laser;**
- **Ressonador.**

O **meio ativo** é o material no qual estão presentes os átomos que contém os elétrons que sofrerão excitação e que irão gerar os fótons. Este meio pode ser sólido, líquido ou gasoso, sendo que o tempo adequado de excitação para a

obtenção do laser deve estar na casa de  $10^{-4}$ s. Para se obter um feixe de laser com determinada cor, deve-se escolher o meio ativo no qual os elétrons emitam Fótons com o comprimento de onda que estejam dentro do espectro desejado. Este meio não poderá ter seus elétrons em seus níveis energéticos mais baixos, caso contrário, o processo de formação do laser não será possível pois a excitação não ocorrerá. O meio ativo utilizado no sistema laser estudado é o cristal YAG.

O **gerador laser** é o responsável em fornecer e controlar a energia das lâmpadas que irão excitar o cristal gerador do laser. É nele que estão montadas as cavidades com as lâmpadas e espelhos. Ele é composto por uma série de circuitos eletrônicos utilizados para monitorar a energia fornecida para as cavidades, fazendo o controle dos espelhos para as saídas da fonte, onde são montadas as fibras ópticas que irão conduzir o feixe laser até a cabeça de brasagem.

Possui um sistema de refrigeração, no qual circula água deionizada dentro de serpentinas dispostas no interior das cavidades para a redução da temperatura elevada que é gerada pelas lâmpadas. É um sistema muito delicado e precisa ser manuseado com extrema cautela, pois qualquer deslocamento no conjunto de espelhos pode fazer com que se perca o alinhamento do feixe, ocorrendo perdas significativas na potência e danificando os componentes do gerador. O laser emitido é altamente prejudicial à visão, podendo causar cegueira em caso de refração e devido a isto o gerador é muito bem selado com portas de proteção. Se alguma proteção for aberta durante o funcionamento os sensores dispostos na fonte irão desarmar o gerador como medida de segurança. A Figura 10 mostra uma fonte laser com as portas de proteção fechadas.



Figura 10 - FONTE LASER COM PROTEÇÕES FECHADAS

O **ressonador**, também conhecido como cavidade óptica, é o responsável por fazer o acréscimo da quantidade de Fótons que circula no meio ativo. É nele que são montadas as lâmpadas e o cristal que formarão o feixe laser. É formado por um encapsulamento, geralmente revestido com uma camada de ouro aplicada a sua superfície interna formando um espelho no entorno do meio ativo, de modo que a luz emitida pelas lâmpadas seja aproveitada de forma mais eficiente pela reflexão. A Figura 11 mostra uma lâmpada utilizada para energizar o cristal.

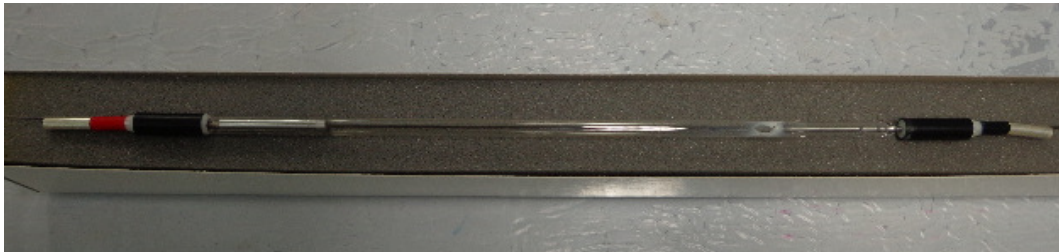


Figura 11 - LÂMPADA EXCITATRIZ

As lâmpadas são montadas aos pares em um suporte que é encaixado sobre o ressonador, ficando cada lâmpada de um lado da barra de cristal para o fornecimento da energia luminosa. A Figura 12 mostra as lâmpadas montadas no suporte, que nada mais é do que a tampa superior do ressonador.

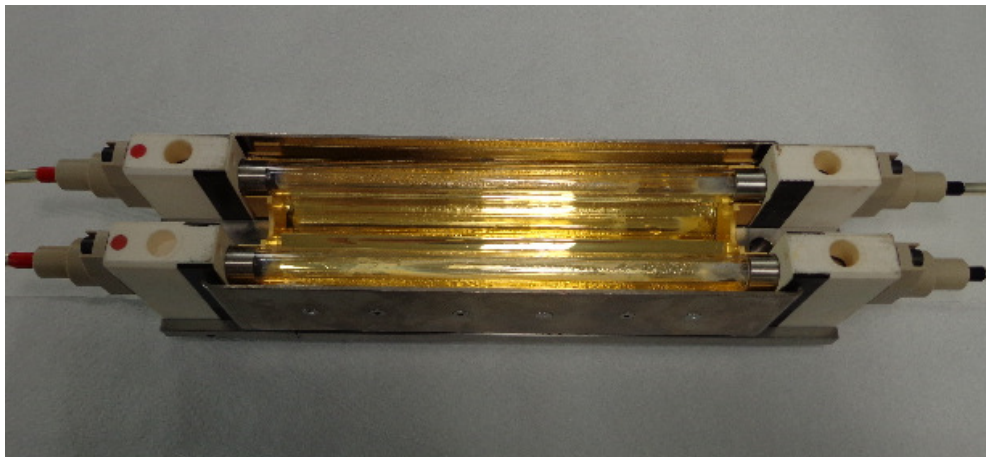


Figura 12 – DUAS LÂMPADAS MONTADAS NA TAMPA SUPERIOR DA CAVIDADE

Desta forma, a luz que incide no meio ativo (cristal) fornece energia para os elétrons para que possa ocorrer a mudança de uma órbita para a outra, sendo que quando todos os elétrons atingem a excitação máxima ocorre o que se chama de inversão da população e assim que o primeiro elétron decai o processo desencadeia

a liberação de Fótons pelos demais elétrons. O feixe laser ganha energia a cada reflexão nos espelhos até que seja liberado para a sua utilização pelo direcionamento até as saídas do gerador, sendo conduzido por meio de fibras ópticas até o ponto de aplicação na cabeça de solda.

A Figura 13 mostra o gerador com as tampas de proteção abertas, sendo possível visualizar duas das cavidades utilizadas neste modelo de gerador para a formação do raio laser.

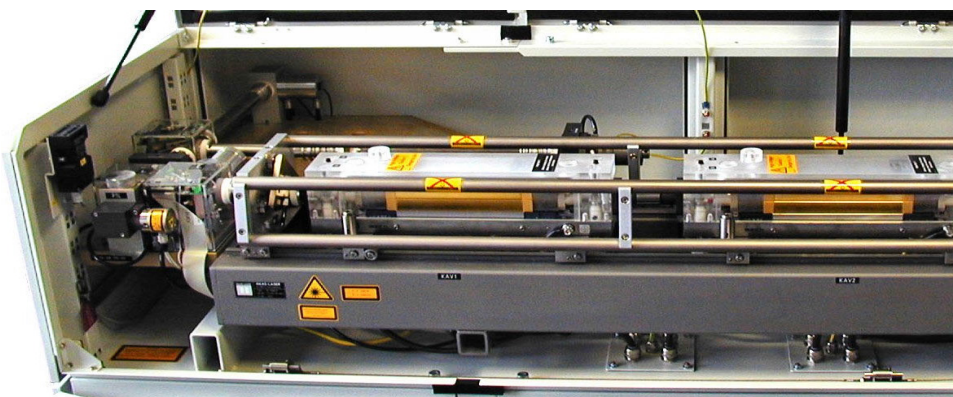


Figura 13 - CAVIDADES DO GERADOR LASER MONTADAS NA FONTE LASER TRUMPF

Após o laser se formar no gerador ele precisa ser enviado para a cabeça de soldagem que fica montada em um robô dentro da cabine laser (estação geométrica). A única forma possível para transportar o laser até o ponto de utilização é por meio de uma fibra óptica, a qual interliga a saída do gerador à entrada da cabeça de brasagem.

Os cordões são brasados em uma junta disposta sobre uma superfície irregular, sendo necessário um amplo deslocamento do conjunto fibra óptica e cabeça de brasagem, ambos fixados à extremidade do braço do robô. Desta forma, a fibra sofre uma série de esforços durante cada ciclo de brasagem, devendo ser muito bem fixada, tomando-se o cuidado de manter folgas suficientes para que os braços do robô possam articular sem danificar a fibra, a qual possui um raio de curvatura mínimo de 250 mm e podendo vir a quebrar caso seja submetida a um raio menor, impossibilitando a passagem do laser e necessitando de troca.

Para a obtenção da máxima potência, os feixes transportados pela fibra passam por lentes dentro da cabeça de brasagem que convergem para um único ponto, o qual se denomina como ponto focal e é direcionado para a superfície do

arame em sua máxima potência para a fusão do metal de adição sobre a junta de brasagem. Este ajuste do ponto ótimo pode ser feito controlando-se a distância do cabeçote (Scansonic) até o ponto de aplicação do laser por meio da aproximação ou afastamento do robô em relação à carroceria.

### 2.3 Cabeçote de brasagem - Scansonic

Devido às variações de altura encontradas entre o teto e as laterais, bem como sinuosidades ao longo da junta é preciso que o sistema de deposição do arame se adapte às oscilações existentes, sejam estas advindas do próprio projeto do veículo como também de possíveis variações no processo.

Um dos equipamentos mais utilizados na indústria automobilística para a brasagem de grandes trechos e que atende a estes requisitos é fornecido pela empresa **Scansonic**, sendo mostrada na Figura 14.

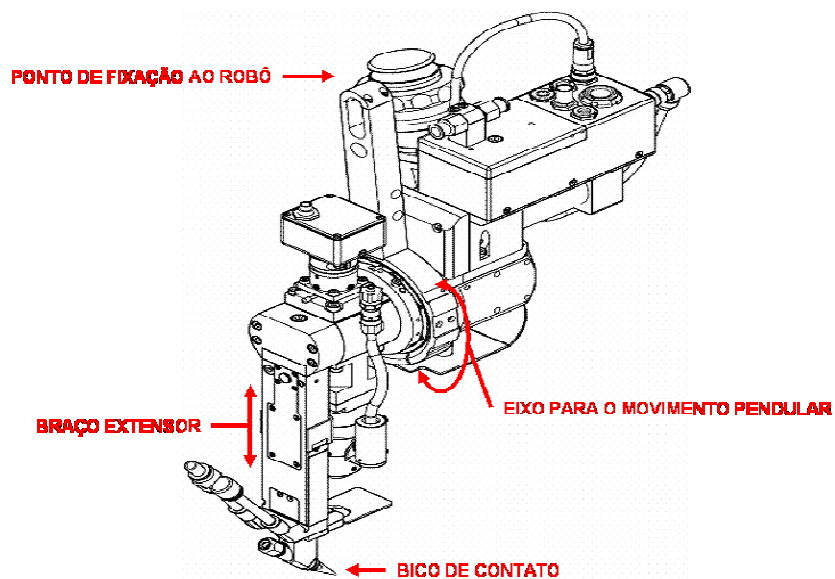


Figura 14 – CABEÇA DE BRASAGEM SCANSONIC  
SCANSONIC

O conjunto é fixado ao robô por meio de um suporte, de forma que o conjunto fique suspenso, permitindo que possa ser feita a programação da trajetória do robô tomando como base o arame que é direcionado sobre a junta por meio do

bico de contato. Para fazer a compensação de possíveis sinuosidades ao longo da junta a cabeça de brasagem é dotada de um eixo de articulação que permite ajustes na sua angularidade, dando liberdade para que o arame que será depositado possa sofrer variações para os lados com um movimento pendular. Este recurso permite fazer brasagens em trechos sinuosos sem qualquer dificuldade.

A altura de deposição do metal de adição também pode ser ajustada por meio de um sistema de compensação que avança ou recua pela ação do contato do arame com a junta de brasagem. À medida em que ocorrem variações na altura do teto, um sistema de mola faz com que o braço extensor onde o bico de contato é fixado se desloque para cima ou para baixo.

A Figura 15 mostra à esquerda o movimento pendular que permite a brasagem em juntas com sinuosidades transversais à junta e ao lado direito pode ser visto o movimento de compensação da altura devido aos desníveis na peça.

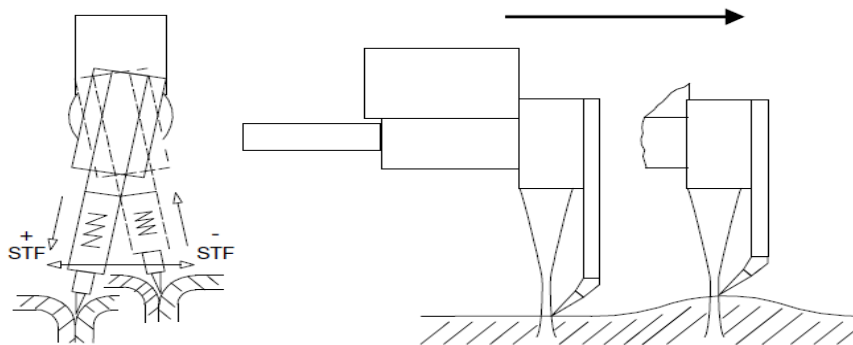


Figura 15 - PÊNDULO E COMPENSAÇÃO DA CABEÇA DE BRASAGEM  
SCANSONIC

A fibra óptica que vai acoplada na saída do gerador laser se conecta pela outra extremidade na entrada deste dispositivo. Uma série de lentes que ficam no interior da cabeça direcionam e convergem o feixe de laser até o bico de contato, sendo o ponto onde o foco deverá ser ajustado. A Figura 16 mostra o caminho do laser pelas lentes internas até o seu ponto focal no bico de contato, que é por onde o arame (metal de adição) sai, diretamente sobre a junta de brasagem.

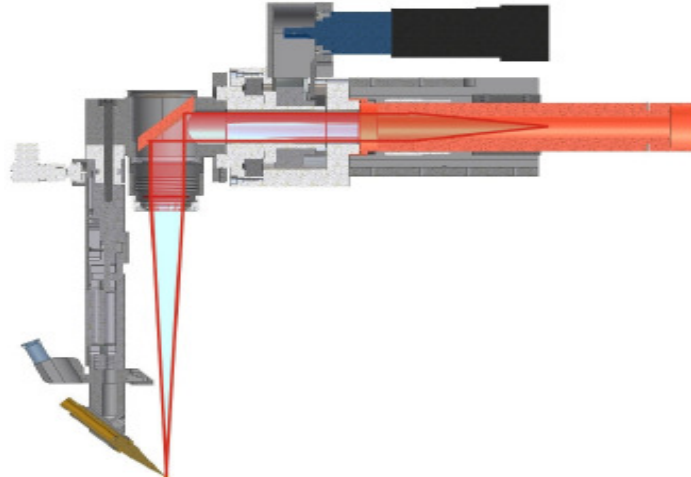


Figura 16 - LASER E LENTES  
SCANSONIC

## 2.4 Laser brazing

O processo **laser brazing**, conhecido como brasagem a laser, nada mais é do que a união de peças utilizando todas as características de uma brasagem convencional, porém, utilizando o laser como uma forma mais controlada de fornecimento de energia térmica, podendo desta forma fazer o aquecimento das partes a serem unidas em uma região muito estreita, próxima à medida do diâmetro do arame utilizado e sem perdas significativas de calor, causando menor deformação nas peças unidas.

Este processo pode ser utilizado também com o auxílio de uma segunda fonte de calor, formando um sistema híbrido. Este sistema auxiliar, conhecido como Hot Wire, impõe uma corrente significativa no arame, entre 100 e 150 ampéres, gerando o aquecimento do arame pelo efeito Joule. Este pré-aquecimento faz com que o arame chegue ao ponto de aplicação do laser com uma temperatura elevada e amolecido, o que faz com que o tempo de exposição ao laser para que se alcance a fusão seja reduzido. Desta forma, o processo pode atingir maiores velocidades para a brasagem de juntas com grandes extensões.

O processo foi desenvolvido para se realizar brasagens com uma velocidade bastante alta quando em comparação ao método de brasagem por chama, envolvendo a utilização de equipamentos com alta tecnologia e precisão, não sendo necessária a utilização de fluxos. Sendo assim, requerem uma série de ajustes e cuidados para que o resultado seja a obtenção de cordões muito bem brasados e

que ofereçam uma repetibilidade que atenda à demanda do volume de fabricação da montadora.

De fato, os parâmetros abaixo devem ser combinados para que ocorra uma união sem descontinuidades e que atendam ao padrão de qualidade requerido, sejam eles:

- Potência do laser aplicado;
- Velocidade de alimentação do arame de metal de adição;
- Trajetória do robô ao longo da junta;
- Velocidade de deslocamento do cabeçote laser;
- Corrente de pré-aquecimento do arame;
- Diâmetro do foco sobre o arame;
- Folga da junta de brasagem;
- Isenção de sujeira, óleo e outros contaminantes nas chapas.

Além disto, é preciso que as manutenções preventivas do equipamento sejam muito bem realizadas, assim como as ações de TPM para a troca dos consumíveis e limpeza da estação de trabalho.

## **2.5 Brainstorming**

Consiste em uma rodada de idéias destinada à busca de sugestões através do trabalho em grupo. Esta técnica será utilizada para o apontamento das possíveis causas dos desvios que geram as descontinuidades nos cordões brasados, tomando como base a experiência das pessoas que estão envolvidas no processo. A técnica apresenta dois princípios básicos:

- Suspensão do julgamento - O pensamento crítico deve ser deixado de lado, sendo que o objetivo é possibilitar a geração de idéias. Somente depois de um número de idéias considerado como suficiente é que serão feitos julgamentos.
- Quantidade gera qualidade - Quanto maior o número de idéias geradas, maiores serão as chances de se encontrar soluções para os problemas.

Para que o **brainstorming** seja eficaz, deve-se eliminar as críticas para que os integrantes não se sintam inibidos e para que ocorra o maior número de idéias.

As idéias devem ser anotadas da forma como surgem, sem qualquer consideração e o grupo deve sentir-se à vontade e sem medo de dizer o que pensa.

Normalmente as idéias iniciais levam a outras mais específicas, que serão as que realmente deverão ser consideradas. O procedimento de realização do *brainstorming* se dá pela reunião de um grupo de até 10 participantes. A sessão começa com a orientação dos integrantes sobre o funcionamento da técnica, a origem e o motivo do problema a ser solucionado.

Para a realização de um *brainstorming* mais organizado, pode-se adotar uma seqüência ou sentido em que os participantes irão dar as suas idéias.

Desta forma, cria-se a tendência de que todas as pessoas do grupo se envolvam e contribuam com alguma idéia. Após a filtragem das idéias mais pertinentes pode-se utilizar a ferramenta dos 5 porquês, a qual consiste em perguntar cinco vezes o porquê que um problema está acontecendo, até que se chegue à causa raiz, podendo então ser tomada a medida corretiva e preventiva para o problema.

## **2.6 Índices de capacidade – CP & CPK**

Os processos de fabricação em série normalmente são acompanhados por cartas de controle denominadas por cartas CEP, sendo utilizadas como indicadores para possíveis variações ou tendências às possíveis variações dentro de um processo, tomando-se como base as tolerâncias superiores e inferiores da medida em questão.

O procedimento consiste em efetuar-se uma série de medições da peça ou produto na medida em que se deseja obter o controle, apontando em uma planilha os dados obtidos que serão tratados posteriormente para indicar se o processo está estável ou se estão ocorrendo variações fora dos limites especificados.

Uma das formas de se definir se o processo está ou não fora da normalidade é utilizar softwares que auxiliam a visualizar numericamente as medidas coletadas, evidenciando estas variações ou tendências e permitindo que os engenheiros possam avaliar e implementar os devidos ajustes na linha de produção para que o processo se estabilize.

Normalmente estes softwares utilizam-se de Índices de Capacidade (IC) para comparar o processo com os limites pré-estabelecidos, sendo que dos IC's

existentes os mais utilizados são o CP e CPK. A utilização destes índices podem servir tanto para apontar os problemas em uma linha de produção como também para a homologação de um processo ou de um equipamento.

O índice CP serve para comparar a amplitude da variação da medida avaliada dentro dos limites superior e inferior de especificação e pode ser calculado utilizando se a Equação 7.

$$CP = \frac{LSE-LIE}{6\sigma} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

LSE: Limite Superior de Especificação;

LIE: Limite Inferior de Especificação;

$\sigma$  : Desvio-padrão calculado a partir da amostragem de medições.

Conforme Silveira, 2013, quanto maior for o valor resultante do cálculo da Equação 7, menor será a chance de que a medida avaliada esteja fora da especificação. A Tabela 1 mostra a relação entre o valor de CP e a quantidade de produtos defeituosos.

Tabela 1 - SIGNIFICADO DO VALOR DE CP

Valor de CP	Fora da tolerância
<1,0	$\geq 5\%$
1	0,30%
1,33	64 ppm
1,63	1 ppm

O índice CP indica a dispersão das amostras dentro dos limites de especificação, não fornecendo informações suficientes para a correção do processo, sendo necessário utilizar o índice CPK para definir em que pontos as variações estão ocorrendo em relação ao centro da curva de distribuição estabelecida pelos limites superior e inferior especificados, podendo ser calculado utilizando-se a Equação 8.

$$CPK = CP \cdot (1-k) \quad (\text{Equação 8})$$

Onde  $K$  representa a centralização dos valores medidos no processo e pode ser calculado utilizando-se a Equação 9.

$$K = \frac{|m - \mu|}{(LSE - LIE)/2} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde  $\mu$  é a média dos valores medidos e  $m$  a medida central entre LSE e LSI.

Da mesma forma que CP, quanto maior for o valor obtido para CPK, melhor será a centralização das medidas obtidas em relação à  $(LSE - LIE)/2$ .

A seguir serão demonstradas algumas possibilidades de interpretação da dispersão das amostras utilizando o conceito CP e CPK. A Figura 17 mostra o pior caso para o processo, onde CP é baixo e com os valores ultrapassando os limites de especificação e CPK também baixo, com distribuição centrada, porém fora dos limites e fazendo com que este processo seja considerado como incapaz.

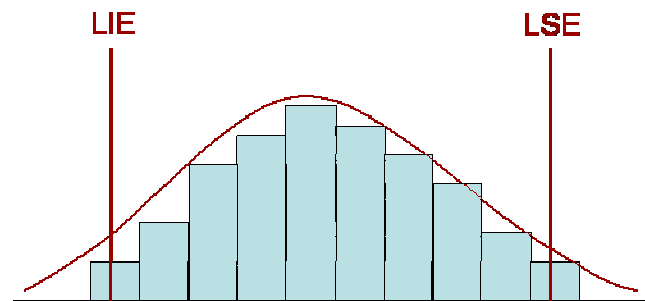


Figura 17 - CP & CPK BAIXOS

A Figura 18 Mostra um processo com CP alto em que as amostras apresentam pequena variação, porém com um CPK baixo, com as amostras fora dos limites de especificação e fazendo com que o processo seja considerado como incapaz. Neste caso, a correção do processo pode ser mais facilmente realizada por um ajuste mais específico, uma vez que a variação entre a característica estudada nas amostras é pequena.

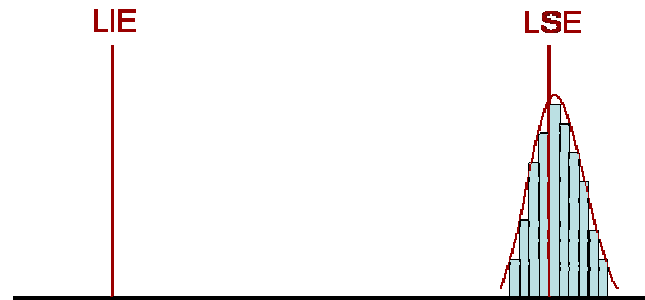


Figura 18 - CP ALTO &amp; CPK BAIXO

A Figura 19 mostra um processo onde a variação é satisfatória com CP e CPK aceitáveis, com uma variação menor do que os limites de especificação e mais centralizada.

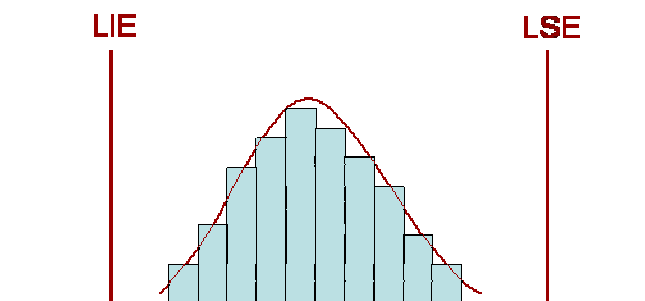


Figura 19 - CP &amp; CPK ACEITÁVEIS

A Figura 20 mostra um processo ideal com CP e CPK altos, fazendo com que as variações sejam mínimas e com a estabilização da característica avaliada muito bem centralizada em relação aos limites de especificação.

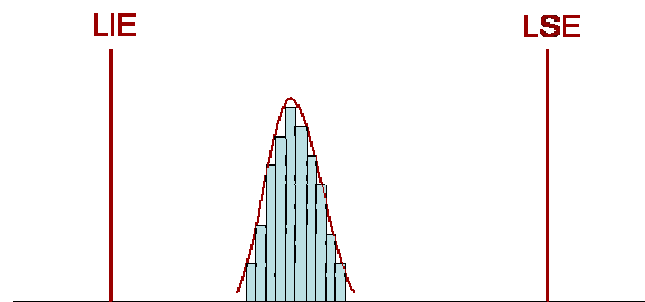


Figura 20 - CP &amp; CPK ALTOS

Desta forma, é possível perceber a importância de se fazer um acompanhamento contínuo do processo utilizando a estatística para o direcionamento das ações de correção, fazendo ajustes precisos naquilo que é mais impactante para a garantia da qualidade e evitando gastos com retrabalhos. Esta técnica será utilizada para a definição da correlação da possível flutuação da altura do teto em relação às laterais e também em relação às áreas que apresentaram maior incidência de falhas.

### **3 FLUXO DO PROCESSO**

#### **3.1 Processo de fabricação de um veículo**

O processo de fabricação de uma carroceria consiste na união de diversas chapas unitárias que vão se juntando para formar sub-conjuntos e conseqüentemente conjuntos cada vez maiores, até que a carroceria esteja completamente montada. Devido ao volume de trabalho envolvido, muitas empresas adotam a sistemática de aquisição de peças confeccionadas em fornecedores terceirizados, sendo entregues em lotes, conforme a necessidade do cliente e é de fundamental importância que estas peças estejam em conformidade com as especificações de material e dimensionamento estabelecidos pela montadora.

Estas peças podem vir somente estampadas para que a união seja feita dentro da montadora ou então já soldadas umas às outras, sendo que qualquer variação ocorrida no processo da terceirizada pode afetar o resultado final. Desta forma, a garantia da qualidade se inicia nos processos externos à montadora com o processo de garantia assegurada, onde o fornecedor se compromete a entregar peças de qualidade, sendo acompanhadas com auditorias de qualidade até o final do processo, onde é realizado o teste de rodagem em 100% dos veículos fabricados.

A montagem de uma carroceria se inicia pela plataforma do veículo, também conhecida como chassi. Nela estão presentes peças como longarinas dianteiras e traseiras e também os assoalhos. Na plataforma são utilizadas as soldagens MIG-MAG e solda à resistência na medida que a plataforma avança de uma estação para outra. Assim que a plataforma está pronta ela segue para a montagem das estruturas que formam o painel dianteiro do carro, caixas de rodas e chaparia traseira. Em seguida a linha é alimentada com as laterais esquerda e direita, cada qual com as suas sub-operações e sub-conjuntos. Após a montagem das laterais sobre a plataforma é colocado o teto sobre as laterais. Neste ponto é feita a união entre as laterais e a plataforma e entre as laterais e o teto, sendo que a união do teto é realizada pelo processo de brasagem a laser.

A partir daí a carroceria segue para as demais estações onde o restante das soldagens são realizadas, passando na seqüência para a área de montagem das portas, pára-lamas, tampas frontal e traseira, seguindo para a área de acabamento

final para a pintura. Após a pintura estar com a tinta curada, a carroceria segue para a área de montagem onde o carro será finalizado com a instalação do motor, instalação de faróis e lanternas, tapeçaria, instrumentos e demais componentes, indo finalmente para os testes de rodagem e funcionamento dos equipamentos.

### **3.2 Ponto do processo analisado**

O objeto do estudo será realizado na estação de trabalho onde é realizada a brasagem do teto às laterais por meio do processo de brasagem a laser. Esta brasagem ocorre dentro de uma cabine fechada, sendo efetuada com o auxílio de robôs nos quais as cabeças de brasagem são fixadas, percorrendo trajetórias pré-estabelecidas a fim de realizar a união das partes seguindo a geometria das suas juntas. O estudo para a redução das falhas ocorridas na brasagem dos cordões será realizado avaliando-se as peças envolvidas e suas possíveis deformações, bem como possíveis falhas de equipamento, evidenciando e atuando na solução das possíveis causas.

### **3.3 Brasagem na cabine laser e clientes internos**

Após terem sido montadas as laterais sobre a plataforma, o teto é colocado sobre as duas laterais e a carroceria entra na cabine geométrica (cabine laser) por meio de uma mesa de transporte. Ao chegar na posição ideal a plataforma é levantada até a posição de brasagem, sendo posicionada por meio de pinos centralizadores. Na seqüência, dois dispositivos conhecidos como asas fecham a carroceria pelos lados direito e esquerdo, fazendo o apoio das laterais por meio de grampos e apoiadores, como pode ser visto na Figura 21, que mostra o conjunto da asa esquerda.



Figura 21 – UNHAS E APOIADORES DA ASA DE INDEXAÇÃO DA LATERAL ESQUERDA

Assim que a lateral está indexada um conjunto de apoiadores desce sobre o teto para que este seja pressionado contra as laterais a fim de manter a sua posição. Estes apoiadores são formados por duas fileiras de ventosas de borracha para que não ocorra o amassamento do teto, como pode ser visto na Figura 22.



Figura 22 – VENTOSAS DE BORRACHA DO APOIADOR DO TETO

Quando as ventosas chegam na posição final vários grampos com unhas de fixação são acionados para que o teto se aproxime da lateral de forma a garantir que o correto espaçamento entre o teto e laterais seja atingido, formando o canal que será a junta de soldagem. A Figura 23 mostra a parte interna do veículo onde o teto

está apoiado sobre a lateral, sofrendo a ação de fechamento de um grampo que faz com que as unhas e apoiadores posicionem as chapas na posição correta.



Figura 23 – GRAMPO COM UNHAS E APOIADORES DE POSICIONAMENTO

A Figura 24 mostra o conjunto teto e lateral esquerda posicionados pelo apoiador do teto e pela asa esquerda, sendo que a mesma operação ocorre do lado direito.



Figura 24 – TETO E LATERAL POSICIONADOS FORMANDO A JUNTA DE BRASAGEM

Após todos os dispositivos de fixação estarem fechados o processo de brasagem se inicia com o movimento do robô levando a cabeça de soldagem até o ponto de início do cordão, iniciando-se a alimentação do arame pré-aquecido pela máquina Hot Wire. A cabeça de brasagem é então alinhada com a junta pelo arame

que sai do bico de contato e enquanto o robô se movimenta a fonte laser aciona os espelhos do gerador, sendo transferido o feixe laser pela fibra óptica até a cabeça de brasagem, onde as lentes do conjunto direcionam o foco para o arame, ocorrendo a fusão do metal de adição sobre o canal.

Após os cordões terem sido realizados e as demais partes da carroceria terem sido soldadas, as asas de fixação das laterais se abrem e a carroceria desce até a mesa transportadora, saindo da estação de trabalho e dando início a um novo ciclo. A fim de se evitar maiores transtornos, um funcionário deve verificar cada carroceria que sai da cabine laser, identificando possíveis discontinuidades e impedindo que a carroceria passe para as próximas estações de soldagem, evitando o processo de retrabalho.

Em caso de ocorrência de pequenos poros, a linha continua produzindo normalmente e os retrabalhos são realizados antes de se enviar a carroceria para a pintura. Carrocerias que apresentem discontinuidades do tipo falta de material devem ser removidas da linha para o retrabalho, passando pelo processo de lixamento e por nova brasagem na cabine laser. O lixamento para o retrabalho utilizando um disco de desbaste é mostrado na Figura 25.

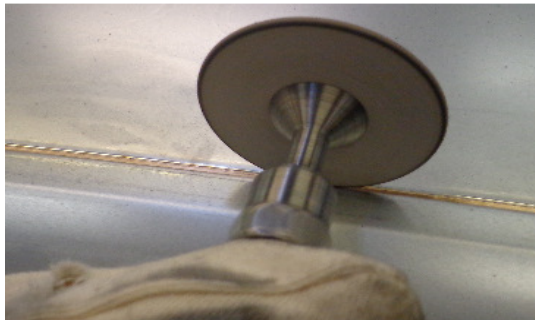


Figura 25 - RETRABALHO DO CORDÃO

Eventualmente uma pequena falha de porosidade pode acabar passando despercebida, sendo identificada no final do processo pela área de preparação.

As carrocerias são verificadas ao longo de uma linha onde estão dispostas sobre uma esteira em movimento, onde cada operador deve ser treinado para efetuar a tarefa de inspeção visual e tátil nas superfícies das chapas, bem como em todas as soldas que unem as partes da carroceria, efetuando os retrabalhos e

eliminando quaisquer imperfeições que possam afetar o processo de pintura, seu cliente interno.

Após ter passado pela área de preparação a carroceria é enviada para a área da qualidade, a qual inspeciona com maior rigor a existência de irregularidades na superfície, brasagem ou na soldagem em geral. Em caso de não conformidade com o padrão exigido é feita uma pontuação para cada tipo de falha, conforme o seu grau de criticidade.

Se ainda houver qualquer falha, por menor que seja, o veículo é retirado da linha para reparação, caso contrário, segue para o departamento de pintura. Aqui se determina que os clientes internos do processo de soldagem da carroceria são justamente as áreas de **Preparação e Qualidade**, uma vez que são nestas áreas que os problemas são identificados e quantificados, sendo necessário conhecer e mapear quais pontos geram maior índice de retrabalho e que regiões mais impactam na qualidade do veículo.

### **3.3.1 Criticidade para a qualidade**

Avaliando-se as necessidades dos clientes internos bem como o que mais apresenta criticidade para a qualidade (CQ), foi possível definir os indicadores a serem utilizados para o apontamento das regiões com maior incidência de falhas, permitindo avaliar no processo as possíveis causas geradoras de porosidades e falta de material de adição nos cordões.

A criticidade para os clientes internos foi definida com base nos questionamentos realizados com os operadores da área de preparação e com os inspetores da qualidade. A Tabela 2 mostra a criticidade das falhas para estes processos, sendo que a falta de material de adição é considerada como a falha mais grave pois necessita que a carroceria seja retirada da linha.

Tabela 2 - CRITICIDADE PARA A QUALIDADE

CLIENTE	NECESSIDADE	CQ	INDICADOR
Preparação	Carrocerias com solda laser do teto isentos de poros e cordões interrompidos.	Cordão uniforme e isento de falhas.	Quantidade de falhas retrabalhadas na área de preparação.
Qualidade	Carrocerias com solda laser do teto isentos de poros e cordões interrompidos.	Amostras avaliadas devem estar OK, mesmo as retrabalhadas.	Deméritos por carroceria (ocorrências por carroceria).

### 3.4 Indicador de ocorrências

Para definir em quais pontos ocorrem as maiores quantidades de poros e cordões interrompidos, inicialmente foi necessário dividir o teto em 8 regiões para o lado esquerdo e 8 regiões para o lado direito, como mostra a Figura 26.

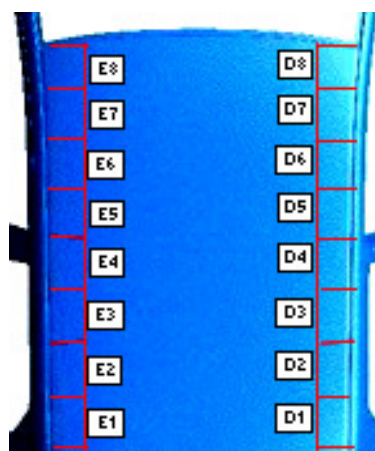


Figura 26 - DIVISÃO DO TETO

A seguir, foi elaborada uma planilha de acompanhamento para que os operadores responsáveis pela preparação do veículo pudessem apontar durante o período de duas semanas e ao longo de três turnos de trabalho todas as ocorrências de porosidade e falta de material encontradas nas seções do teto, sendo estratificadas e analisadas com o auxílio do software **MINITAB**.

## 4 ESTRATIFICAÇÃO DAS FALHAS

### 4.1 Índice de ocorrências

Com base na planilha de acompanhamento foi possível quantificar as falhas, discriminando as regiões mais críticas. A Figura 27 mostra um gráfico de Pareto com a quantidade de ocorrências de poros apontadas pela área de preparação durante o período de acompanhamento, onde verifica-se que houveram 143 ocorrências de porosidade nos cordões do lado esquerdo e 75 ocorrências no lado direito.

O gráfico mostra que 65,5% de todas as ocorrências foram no lado esquerdo e 34,4% no lado direito, o que indica que o lado esquerdo apresenta maior criticidade e deverá ter prioridade nos ajustes para que seja atingido o objetivo de redução de 45% na média dos apontamentos da qualidade.

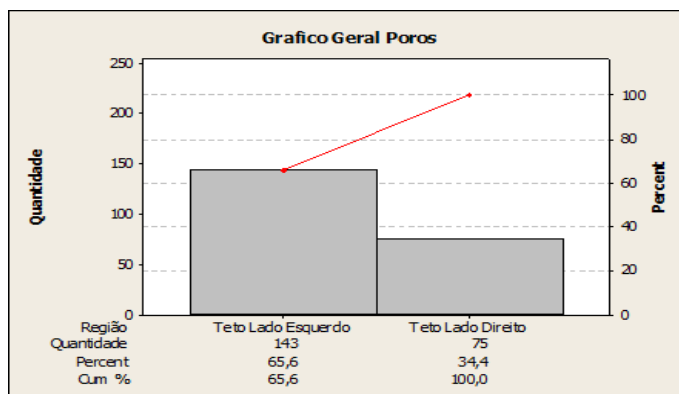


Figura 27 – POROSIDADE NOS CORDÕES BRASADOS

Da mesma forma, a Figura 28 mostra a quantidade de ocorrências para a descontinuidade do tipo falta de metal de adição apontadas pela área de preparação neste período, com 107 ocorrências para o lado direito e 89 para o lado esquerdo.

O Lado direito apresentou 54,6% das falhas e o lado esquerdo apresentou 45,4%, o que não representa uma grande diferença, devendo portanto ser tratadas com a mesma prioridade.

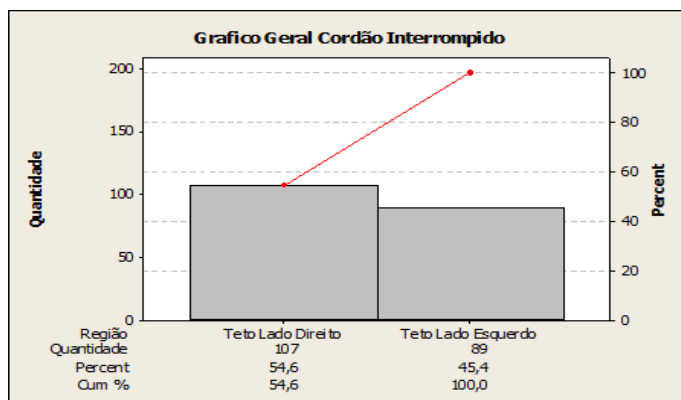


Figura 28 - FALTA DE MATERIAL NOS CORDÕES BRASADOS

Para facilitar a visualização foi utilizado o gráfico de Pareto para a estratificação das regiões mais críticas, conforme mostra a Figura 29 para a porosidade, onde as maiores incidências para o lado esquerdo ocorreram nas regiões E3, E7 e E8, representando 57,3% de todas as ocorrências para este lado e para o lado direito as maiores incidências foram nas regiões D1, D3 e D4, somando 68% de todas as ocorrências. As três regiões mais críticas de cada lado serão tratadas de forma prioritária.

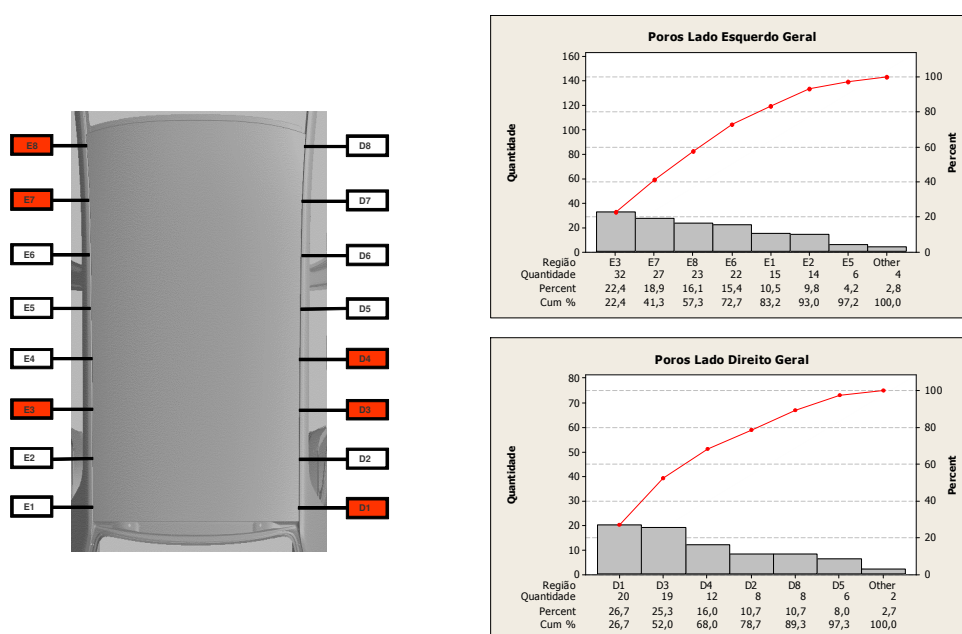


Figura 29 – ESTRATIFICAÇÃO DAS REGIÕES CRÍTICAS PARA A POROSIDADE

Da mesma forma, a Figura 30 mostra as ocorrências para a descontinuidade do tipo falta de material de adição nos cordões brasados do lado esquerdo e do lado direito. De acordo com o gráfico, as regiões do lado esquerdo E1, E3 e E8 apresentaram os maiores índices de falta de material, totalizando 66,3% das ocorrências para este lado e as regiões D1, D2 e D3 do lado direito totalizaram um percentual de 79,4% de ocorrências em relação às demais regiões, sendo estas as seis regiões que serão tratadas prioritariamente.

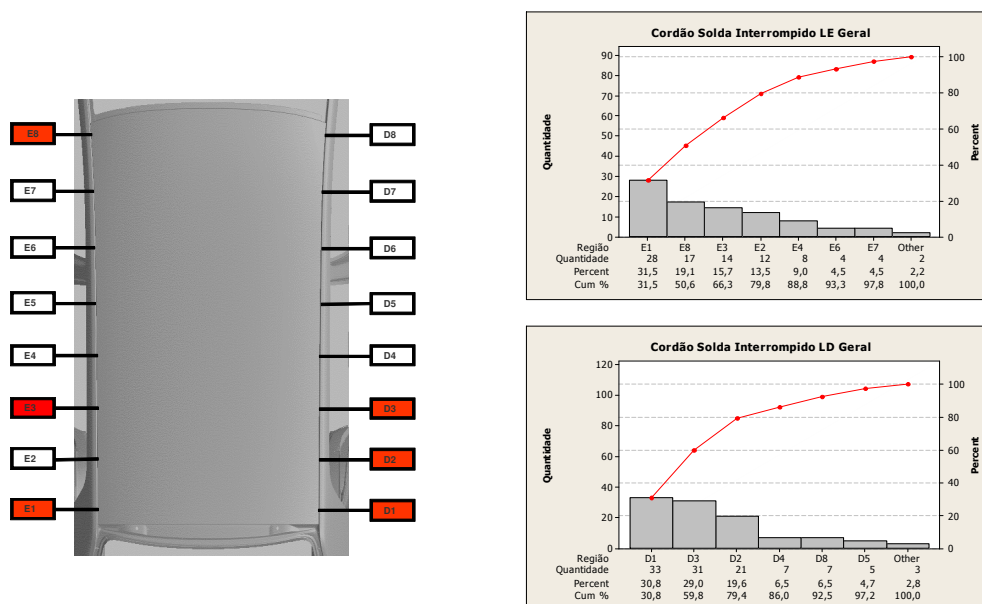


Figura 30 – ESTRATIFICAÇÃO DAS REGIÕES CRÍTICAS PARA A FALTA DE MATERIAL

#### 4.1.1 Árvore de falhas

A partir das informações obtidas dos gráficos de falhas foi possível montar uma árvore de falhas, permitindo visualizar as principais regiões que deverão ser tratadas, como pode ser visto na Figura 31.

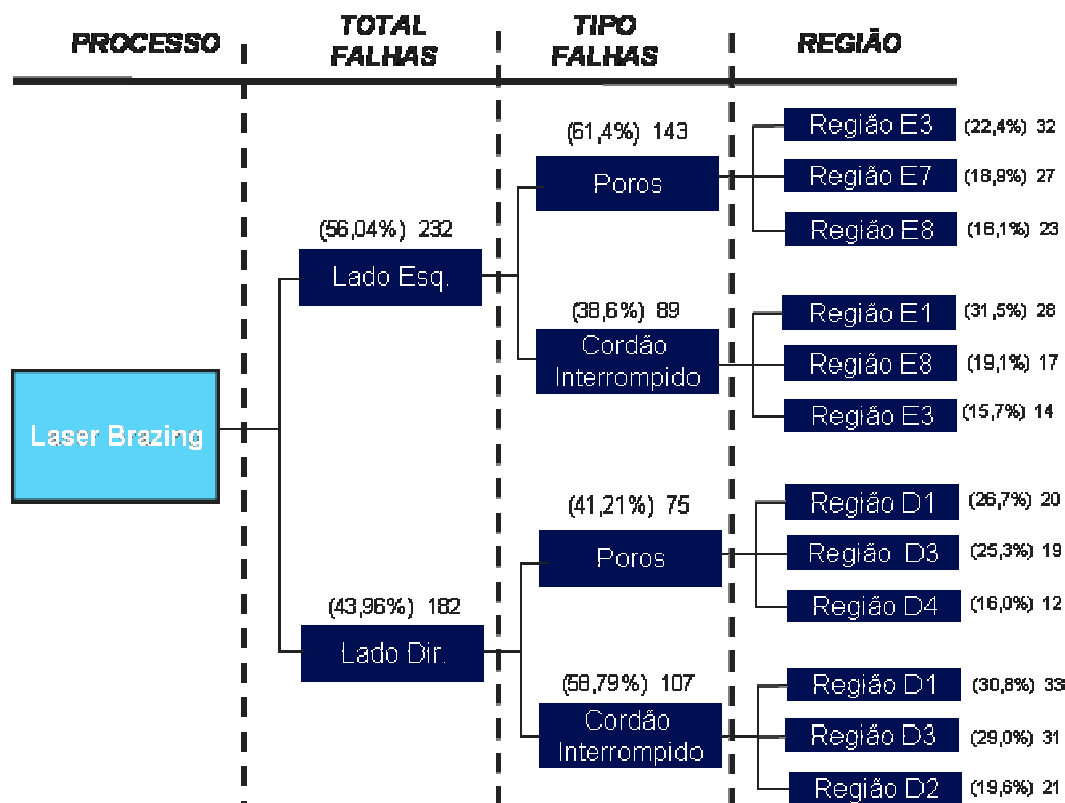


Figura 31 - ÁRVORE DE FALHAS PARA AS REGIÕES CRÍTICAS DOS CORDÕES BRASADOS

A árvore de falhas reúne as informações obtidas nos dois gráficos de estratificação e facilita a visualização das regiões mais críticas dos dois cordões de acordo com o tipo de descontinuidade, sendo que as regiões E3 e E8 do lado esquerdo e também as regiões D1 e D3 para o lado direito coincidem para os dois modos de falha.

Entretanto, de forma a maximizar o resultado final, todas regiões principais de cada lado foram avaliadas, sejam elas: E1, E3, E7, E8, D1, D2, D3 e D4.

Para estas regiões foi feita uma investigação das possíveis causas geradoras das descontinuidades, sendo definidas as ações para a sua correção, como é mostrado no capítulo 5.

## 5 AVALIAÇÃO DAS POSSÍVEIS CAUSAS

### 5.1 Definição dos eixos de referenciamento

O sistema de referenciamento da carroceria adota os eixos X, Y e Z como base, sendo o eixo X utilizado no sentido do comprimento do veículo, o eixo Y no sentido da largura e o eixo Z adotado como referência para a altura. Estes eixos serão importantes para o entendimento das distâncias que serão avaliadas mais à frente.

### 5.2 Matriz de causa e efeito

Para a identificação das possíveis causas foi realizado um *brainstorming* reunindo um grupo formado por operadores, técnicos de manutenção, engenharia de processos, engenharia de manutenção, qualidade, estamparia e sala de medidas.

Os itens apontados foram inseridos em uma matriz onde o time atribuiu pontos conforme a sua criticidade para os problemas mostrados, conforme pode ser visto na Figura 32.

		Efeitos (Y)		TOTAL
		Falta de material	Soldas com Pontos	
Variáveis de Entrada		Variáveis de Saída		
Importância para o Cliente		10	8	
Causas (X)	Variação na Altura do Teto em "Z"	9	9	162
	Deslocamento da Lateral em "Y"	9	9	162
	Componentes GEO - lentes, bicos, condutas e parâmetros	9	9	162
	Parametrização incorreta das máquinas Fronius	1	1	18
	Alimentador de Arames travando	4	1	48
	Qualidade do Arame - Fornecedor	1	1	12
	Sujeira no Teto (Óleo/Poeira)	4	9	112
	Posicionamento da Plataforma	1	1	18
	Aterramento Ineficiente	4	7	96

Figura 32 - MATRIZ DE CAUSA E EFEITO PARA POSSÍVEIS CAUSAS

As possíveis variações de dimensional na altura do teto e da lateral bem como os componentes do sistema de brasagem por laser receberam maior pontuação, conforme o entendimento e experiências das pessoas envolvidas e serão tratados inicialmente como as potenciais causas das discontinuidades. As demais causas serão tratadas posteriormente no caso de serem complementares para que o objetivo seja alcançado.

### **5.2.1 Medição da altura do teto**

A variação da altura do teto em relação às laterais no eixo Z aparentemente representa um forte indício para a ocorrência de discontinuidades do tipo falta de material. Caso as flutuações sejam superiores às tolerâncias do projeto ocorrerá uma ineficiência no sistema de compensação da cabeça em avançar e recuar para realizar o depósito do arame corretamente sobre a junta de brasagem, gerando uma variação excessiva na distância entre o arame e o ponto focal ótimo do sistema laser e a probabilidade de ocorrência de falhas será grande.

### **5.2.2 Desvio das laterais em “Y”**

Seguindo para o próximo item da matriz de causa e efeito, o deslocamento das laterais em Y aparenta ter forte influência nos casos de falta de material, uma vez que esta variação pode fazer com que o espaçamento entre a lateral e o teto fique maior que a distância máxima recomendada de 0,2 mm, ficando demasiadamente grande e fazendo com que o metal de adição escorra para dentro da junta.

Esta distância existente entre teto e lateral é justamente o que forma a junta de brasagem, muito próxima ao tipo 3 mostrado na figura 7 (capítulo 2.1, página 25), sendo que será este o caminho por onde o arame será depositado pela Scansonic com o movimento do robô e o fornecimento de arame pelo alimentador da máquina de solda. Para avaliar as causas de um possível desalinhamento em y nas laterais, foi realizada uma reunião com a mesma equipe que realizou o *brainstorming* para a matriz de causa e efeito, onde foram levantadas várias possibilidades de causas que poderiam ocasionar as falhas na brasagem. Os apontamentos foram dispostos no diagrama de causa e efeito mostrado na Figura 33.

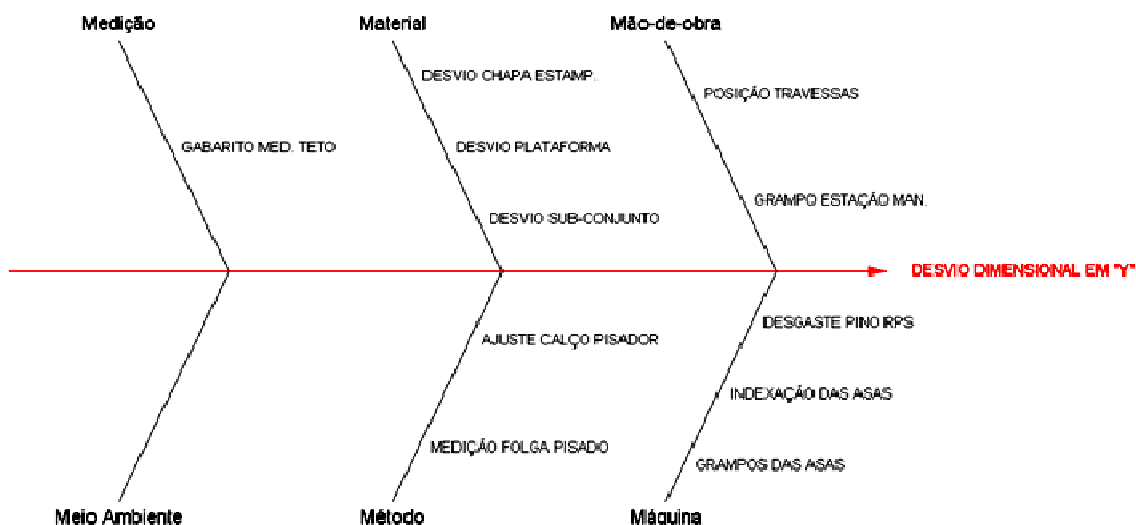


Figura 33 - DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO PARA OS DESVIOS EM "Y"

A seguir será apresentada uma explanação a respeito das possíveis causas apontadas e a sua relevância para as falhas.

Para o **meio ambiente** não houveram indicações por se tratar de uma cabine onde a carroceria entra por uma mesa de transporte, sendo levada até a posição para a brasagem por meio de uma mesa elevatória. O ambiente é comum ao ambiente externo, sendo isolado por meio de portas de proteção apenas para impedir que o reflexo dos feixes de laser possam machucar os operadores. O ambiente é contaminado pelo particulado presente no ar devido aos processos de soldagem da área, não sendo significativo para desvios nas laterais.

Para o **método**, no que se diz respeito à medição das folgas dos pisadores, percebe-se que em um processo de uma montadora automobilística onde se produz o máximo de carros possíveis no menor tempo possível, a melhor forma de se medir a geometria e conferir se as posições da carroceria estão corretas seria a utilização de um sistema de medição à laser, porém, dentro da cabine laser não é possível a instalação deste equipamento devido ao espaço físico ser limitado, sendo necessário fazer a medição das folgas por meio de um calibre de folgas, o que se torna um processo demorado e que prejudica a demanda da produção. Para o acompanhamento efetivo de possíveis variações nos lotes recomenda-se uma reavaliação na periodicidade de inspeção, devendo ser realizada ao menos uma vez por dia como rotina de trabalho e sempre que for detectada a falta de material.

Os ajustes dos calços estão relacionados à possibilidade de existirem problemas na soldagem dos subconjuntos que formam a lateral. Os subconjuntos são formados por peças estampadas por fornecedores terceirizados, sendo que o processo vai variando ao longo do tempo devido a muitos fatores que podem ir desde a uma variação na velocidade e força da prensa até os problemas de pontos de solda à resistência, causando distorções das peças nos eixos x, y e z. Estas distorções, mesmo que mínimas, ao se juntar com as distorções das demais peças podem ser suficientes para causar um grande desvio na peça final, gerando uma abertura excessiva na junta de brasagem, causando a descontinuidade do tipo falta de material.

A fim de minimizar este problema, em cada estação de trabalho onde as peças unitárias advindas dos fornecedores são unidas, existem grampos posicionadores que servem para fixar uma peça à outra, forçando as peças que apresentem alguma variação até a posição ideal para a garantia da geometria esperada. Caso estes grampos estejam com o aperto final nas superfícies de contato demasiadamente frouxos, corre-se o risco de as peças ficarem desalinhadas ou então com espaçamentos entre as chapas, o que é comumente conhecido como “gap”. Desta forma, torna-se imprescindível que exista uma equipe de técnicos para o acompanhamento destas possíveis flutuações nas peças, atuando em uma sala de medidas e conferindo em um aparelho tridimensional todas as medidas das peças unitárias e soldadas. Estas medidas podem ser comparadas com o projeto utilizando softwares como o Catia, Unigraphics e afins, de modo a servir como direcional para uma segunda equipe de técnicos que atua na linha de produção efetuando o ajuste das folgas entre as peças por meio de calços, que aproximam ou afastam os mordentes dos grampos.

Este se torna um grande potencial para a falha de falta de material, pois qualquer variação que ocorra nas laterais se reflete diretamente no conjunto que se forma com o teto, dentro da cabine laser. Desta forma, recomenda-se a inspeção e registro de alterações em cada um dos grampos, de forma a se intervir rapidamente para a correção da falha retornando-se as distâncias anteriores à geração da descontinuidade.

No quesito **máquina**, é necessário que seja feita menção ao fato de a cabine laser serve para fazer outras soldagens que garantem a geometria da carroceria, além de fazer a brasagem dos cordões do teto. Desta forma, a cabine

laser é normalmente chamada de estação geométrica (Geo). Dentro da cabine laser, ou Geo, existem também grampos de fixação que servem para manter as laterais na sua posição ideal, sendo que podem estar sujeitos ao mesmo tipo de folgas dos grampos das demais estações, sendo remendada a sua inspeção sempre que ocorrer a mudança de lote das peças.

Na estação geométrica existem dois dispositivos que são responsáveis em manter as laterais na posição para a brasagem e recebem o nome de **asa**, sendo uma para o lado direito e o outro para o lado esquerdo. No momento em que o carro é posicionado pela mesa de elevação, as duas asas se aproximam das laterais e se encaixam em furos de referenciamento existentes na chaparia das laterais por meio de pinos centralizadores, os quais são fixados na face da asa. Estes pinos são conhecidos como pinos RPS e o seu desgaste pode gerar deslocamentos indesejados nas direções x e z das laterais sobre a plataforma. Neste caso, a inspeção da sua integridade é fundamental para o processo e recomenda-se a inspeção semanal, devendo ocorrer a sua troca em caso de desgaste. Após este posicionamento é que ocorre o fechamento dos grampos descritos acima.

Para a **medição**, o item apontado como gabarito para a medição da altura do teto se refere ao fato de que o departamento de qualidade não dispõe de um dispositivo que seja colocado sobre o teto para a medição das amostras sempre no mesmo ponto, sendo este apenas um item a ser tratado por meio de uma carta CEP para o acompanhamento do processo. Desta forma, para uma medição mais correta é aconselhável que seja confeccionado um gabarito, o qual poderá ser feito em fibra, contendo as posições de medição conforme as oito regiões adotadas para o estudo. Este item não será considerado como causa e sim como um meio auxiliar de controle.

No quesito **matéria-prima**, a hipótese apontada para possíveis desvios dimensionais da chapa unitária estampada se refere ao fato de que a ferramenta de estampagem utilizada para a conformação da chapa externa da lateral pode apresentar alguma variação causada por desgaste e que pode estar influenciando no fechamento final da chapa externa com os subconjuntos de peças mencionados anteriormente. Este é um problema passível de estar correlacionado devido ao fato de a ferramenta de estampagem realizar várias conformações diariamente para o atendimento à demanda da produção. Para este ponto o acompanhamento é realizado por meio de relatórios emitidos pela sala de medidas, os quais evidenciam

as variações nas peças, sendo reportado diretamente à área de estamparia com a solicitação das correções. Desta forma, à medida em que surgem descontinuidades nos cordões, recomenda-se a avaliação destes relatórios como direcional para as ações de acréscimo ou retirada de calços nos grampos de fixação das peças.

No item apontado para os possíveis desvios dimensionais da plataforma, desconsidera-se a correlação com as falhas, pois existindo uma correta indexação das laterais as asas da estação geométrica, é possível efetuar a brasagem até mesmo sem a plataforma. Em outras palavras, seria possível recuar a mesa elevatória com a plataforma, ficando as laterais e o teto na posição de brasagem, uma vez que o processo de união das laterais à plataforma se dá de forma independente do sistema à laser, existindo um sistema de mordentes pneumáticos que levam as abas da plataforma até a posição correta, onde serão unidas às abas das laterais, as quais já estão presas às asas. Desta forma, esta possível causa não apresenta grande potencial para a falha.

No caso dos desvios dimensionais dos subconjuntos das laterais, foi mencionado anteriormente que as variações podem ser advindas dos fornecedores, somando-se às possíveis folgas nos dispositivos de fixação das peças. Sendo assim, mantém-se a recomendação de verificação e ajuste dos grampos de fixação.

Para o item **mão-de-obra** foi considerado o procedimento realizado antes de o carro entrar na estação geométrica, onde primeiramente os operadores fazem a montagem das laterais sobre a plataforma, sendo então montadas travessas que interligam uma lateral à outra, sendo então depositado o teto sobre o conjunto. A travessa nada mais é do que uma estrutura formada por uma chapa conformada com nervuras e que serve para dar resistência à carroceria, sendo unidas às colunas das laterais. No entanto, foi verificado que em momento algum ocorre o contato do teto com a travessa, sendo esta hipótese descartada como causa pois não tem qualquer influência em desvios no eixo “Y” das laterais.

Ainda para a questão mão-de-obra foi apontada a possibilidade de o operador estar soldando as peças nas estações com grampos com folgas. Neste caso o operador tem a responsabilidade de solicitar a verificação das folgas dos mordentes dos grampos sempre que perceber qualquer variação no dimensional das peças. Porém, reforça-se a recomendação de inspeção apontada no quesito Método, com a adoção de uma sistemática de medição a cada novo lote de peças e registro das alterações dos calços.

### 5.2.3 Componentes da cabine laser

A seguir serão mostradas as hipóteses para a falhas na brasagem, referentes ao equipamento laser. Da mesma forma que o estudo de desvio das laterais, as possíveis causas foram apontadas pela equipe inicial com base na sua experiência e histórico de falhas. As causas foram listadas e distribuídas no diagrama de causa e efeito mostrado na Figura 34.



Figura 34 - DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO PARA OS COMPONENTES DA CABINE

No item **meio ambiente**, o item apontado como impregnação de óleo está relacionado às peças unitárias do teto, as quais são estampadas com o auxílio de óleo para melhorar a conformação pela ferramenta da estamparia.

Este óleo também tem a função de proteger as chapas até o momento da montagem na carroceria, mas como qualquer substância gordurosa, impede a correta adesão do material de adição ao metal de base, ainda mais em um processo onde o tempo em que o calor necessário para a brasagem é muito pequeno. A alta temperatura imposta pelo laser faz com que os resíduos de óleo se evaporem, podendo formar bolhas que ficam aprisionadas no cordão, vindo a formar porosidades durante o processo de solidificação da porção de metal fundido, imediatamente após o foco do feixe de laser se deslocar. Por isto o projeto da junta deve prever folgas adequadas para o escape dos gases formados pela evaporação dos resíduos, bem como pela queima do zinco presente nas chapas.

Porém, um bom projeto de junta não garante a isenção de poros provenientes dos vapores, pois mesmo que o óleo se evapore ainda permanece

uma crosta de óleo queimado na superfície e que isola o contato do metal de adição com o metal de base. Assim, antes de ser realizada a montagem do teto sobre a lateral é preciso que seja feita a remoção com o auxílio de estopas e no caso de persistir a formação de porosidade a adoção de um solvente é recomendada.

A poeira também é um fator importante pois a sua presença pode causar inclusões no cordão e precisa ser eliminada manualmente antes de o conjunto plataforma, laterais e teto entrarem na cabine laser, pois não existe a possibilidade de limpeza manual em seu interior. A única forma de se fazer uma limpeza no interior da cabine é aplicando-se um jato de ar imediatamente antes de se fazer a fusão do metal de adição na junta de soldagem.

Este processo é denominado como cross jet e não é nada mais do que um tubo por onde passa um fluxo de ar comprimido no caminho por onde o arame será depositado para a brasagem. Este tubo é fixado na Scansonic e se movimenta conforme o sistema de compensação da altura do bico de contato trabalha, removendo o restante da poeira que possa ter ficado após o processo de limpeza manual. Desta forma, recomenda-se que o sistema seja verificado durante as manutenções preventivas e durante as ações de **TPM**, quando deverá ser realizada também a limpeza da estação para evitar o acúmulo de particulados na cabine, sendo dispersada no ambiente pelo fluxo de ar.

No quesito **método**, foi apontada como possível causa a periodicidade de troca da lente de proteção, bico de contato e conduíte. A lente de proteção nada mais é do que um disco muito fino de um vidro translúcido, montado na saída da Scansonic e que tem a função de proteger o conjunto óptico, que é o conjunto de lentes que ficam internas na Scansonic e que são as responsáveis pela convergência do feixe laser, formando o foco.

Estas lentes acabam sujando com o tempo devido ao fato de estarem expostas à poeira do ambiente mencionado anteriormente, bem como a possíveis respingos que possam ocorrer no processo de fusão. À medida em que vai se formando esta crosta na superfície da lente, outro fator acaba por comprometer a sua vida útil é a própria ação do laser sobre o metal de adição que está aderido à lente. Com o superaquecimento causado ocorre a queima da lente de proteção, prejudicando o processo de fusão, uma vez que a energia imposta pelo feixe acaba sendo reduzida, além de provocar a reflexão do feixe, que acaba por desviar para os lados, fugindo do foco e acertando as laterais da junta de soldagem. Este efeito

promove a queima da superfície da lateral e do teto, ficando um aspecto escurecido, com a fuligem que forma a poeira mencionada anteriormente. Este processo de reflexão pode danificar também as lentes internas, gerando manchas em sua superfície e requerendo maior tempo de parada de linha para a sua substituição.

Outro resultado negativo que ocorre com a perda do foco pela crosta de material sobre a lente é uma brasagem incompleta, onde alguns trechos do cordão ficam fundidos e outros ficam com o arame ainda sem fundir depositado sobre a junta. Desta forma, a lente se torna um consumível do processo e aconselha-se a sua inspeção a cada parada para a realização de manutenção preventiva e TPM.

O bico de contato também é um fator de grande importância e que requer um cuidado especial no acompanhamento da sua integridade. O bico de contato é o responsável por direcionar o arame que está sendo mandado para a junta e com o tempo vai ocorrendo o seu desgaste devido ao atrito com o arame e pela força imposta pelo sistema de compensação da Scansonic, promovendo a ovalização do furo do bico de contato.

Esta irregularidade pode fazer com que o arame seja direcionado de forma errada à junta se brasagem, fugindo do foco do laser e gerando a mesma falha de trechos com o arame sem fundir. O bico de contato também é o responsável em fechar o circuito da corrente imposta pela máquina de solda Hot Wire, a qual aplica algo em torno de 130 ampéres no arame. Com esta corrente transitando no arame ocorre o efeito Joule, fazendo com que o arame amoleça, permitindo que o tempo de aplicação do laser para a fusão do metal de adição seja reduzido devido ao pré-aquecimento. Devido ao atrito que sofre, recomenda-se que seja verificado a cada troca de turno para garantir a sua integridade e reduzir as chances de falha.

Outro ponto importante a ser considerado é o conduto que faz a ligação entre o alimentador e a Scansonic. Da mesma forma que o bico de contato, este componente está sujeito ao atrito constante com o arame e com o tempo a superfície interna vai formando um canal no qual o arame vai se prendendo. Isto gera um aumento da força de tração necessária para o envio do arame, forçando todo o sistema do alimentador com uma sobre-corrente no motor do alimentador e um desgaste excessivo das roldanas de tração, podendo sofrer um escorregamento sobre o arame durante a alimentação.

Isto implica diretamente na falta de material para ser fundido pelo laser, gerando regiões na junta de soldagem que ficam sem o material de adição e que

são queimadas pelo feixe de laser. O desgaste do conduíte pode ser agravado no caso de o arame apresentar estricções provenientes do seu processo de fabricação, formando pequenas ranhuras na superfície do arame e que cortam o conduíte.

Desta forma, recomenda-se o treinamento dos operadores para que seja feita a inspeção das bobinas a cada troca, segregando-se o material e informando o fornecedor sobre o problema para a correção imediata em seu processo, buscando por irregularidades dimensionais advindas do processo de trefilação, falhas no bobinamento que possam gerar o problema de espiras entrelaçadas ou por possíveis oxidações na superfície do arame por problemas nas embalagens das bobinas.

Outro ponto a ser mencionado sobre a vida útil do conduíte diz respeito ao processo de passagem do arame a cada troca de bobina. Como a ponta do arame apresenta uma aresta, ao ser passado o arame dentro do conduíte este canto vivo vai arranhando e removendo material do tubo interno, sendo mais um agravante no que diz respeito ao atrito, pois o arame poderá travar neste canal e este conjunto de possibilidades aumenta fortemente a chance de ocorrerem falhas e por isto um plano de inspeção deve estar previsto para garantir que os consumíveis sejam trocados na hora certa. Ter uma forma de medir o travamento do arame é algo que pode facilitar o controle dos consumíveis.

Para o quesito **máquina**, o desgaste mencionado anteriormente do bico de contato e do conduíte, bem como a queima das lentes de proteção foram amplamente discutidos, não sendo necessária nova abordagem.

No entanto, o item parâmetros do laser deve ser muito bem avaliado, pois qualquer variação na potência influencia diretamente no calor aplicado sobre o arame, sendo de extrema importância que o equipamento esteja com a sua manutenção e aferição em dia para que os possíveis problemas de desajuste não sejam mascarados por outras falhas mais comuns do sistema. Os principais fatores a serem considerados são o controle dos espelhos, a energia luminosa aplicada na barra de cristal, corrente da máquina Hot Wire, velocidade de translado do robô, velocidade de alimentação do arame.

Para a **medição** foi apontada a inexistência de uma forma de medir o travamento do arame que está sendo alimentado. Este travamento pode ser decorrente de um entrelaçamento de espiras causados por uma queda, o que desmontaria a alma de espalhamento da bobina, talvez por um problema no

equipamento de bobinamento do fornecedor ou ainda pela falta de atenção ao colocar a bobina no suporte, deixando que as espiras se soltem no processo de passagem pelo conduíte. O travamento também pode ser proveniente do desgaste das roldanas, bico de contato e conduíte.

Independente da causa, torna-se necessário o desenvolvimento de um sistema de controle da tração do alimentador para que se faça a medição constante de pequenas variações que possam ocorrer na quantidade de arame enviado, de forma que seja possível atuar preventivamente antes que as discontinuidades comecem a ocorrer.

Para o quesito **matéria-prima**, foi apontada novamente a estrição do arame e espiras sobrepostas como possíveis causas, porém, fica mantida a recomendação para o treinamento de inspeção visual, bem como o cuidado na preparação para a brasagem com a remoção dos resíduos de óleos e poeiras.

No que se diz respeito à **mão-de-obra**, o principal fator recai sobre o setup de máquina, no momento de troca da bobina de arame. O arame do material CuSi-3, utilizado na brasagem, vem em bobinas de 15 Kg, as quais duram em média um turno de produção, precisando ser trocadas manualmente.

A bobina é colocada em um suporte, sendo feita a passagem pelo alimentador e enviada para o cabeçote de brasagem e durante este processo pode ocorrer o afrouxamento das espiras da bobina, fazendo com que a tensão de bobinamento imposta pelo bobinador no processo do fornecedor seja perdida, fazendo com que as espiras da bobina se soltem e se entrelacem umas sobre as outras, causando travamentos na alimentação durante a brasagem e que podem causar a falha de cordões interrompidos.

Isto se deve ao fato de que o suporte da bobina apresenta um batente em nylon menor que a largura da bobina e que fica tensionado sobre as espiras por meio de uma mola com o intuito de não permitir que a bobina se desenrole, porém, é ineficaz pois a tensão da mola não é suficiente para fazer o travamento, sendo aconselhada a troca deste batente por outro com um comprimento próximo da medida da largura da bobina de forma a ter uma maior área de contato com o arame.

## 6 MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Com base nas possibilidades de causas apresentadas e com a verificação das condições reais da linha de produção, serão apontadas as falhas encontradas e as suas soluções para posterior medição no gráfico apontamento de falhas por veículos.

### 6.1 Plano de coleta de dados

A partir da matriz de causa e efeito e das análises realizadas sobre as correlações da altura do teto, desvio da lateral e componentes do sistema laser, foi elaborado um plano de coleta de dados para fundamentar as ações que deverão ser tomadas para a redução das falhas.

A Tabela 3 mostra os indicadores utilizados pelas áreas e que serão adotados como base para as correções.

**Tabela 3 - DADOS DE APOIO**

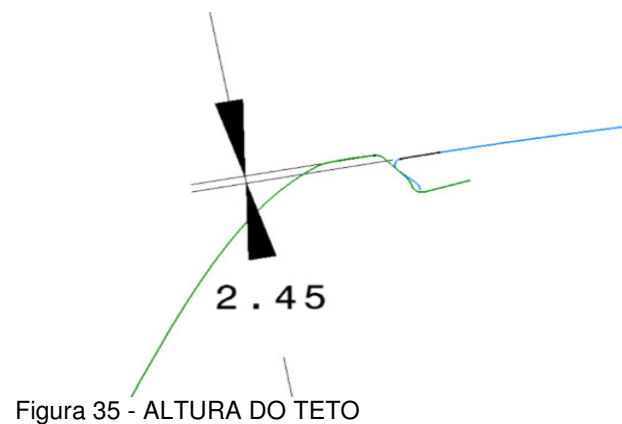
Indicador	Descrição	Forma de medição	Onde é medido?	Quem mede?	Frequência?	Sistema de gerenciamento?	Segmentação
Estabilidade de Altura do Teto.	Medir o posicionamento do teto em relação as Laterais.	Gabarito de posicionamento e Relógio Comparador.	Área de Preparação.	Inspetores da qualidade.	20 amostras por turno.	Formulário de registros.	Manufatura
Dimensional da Lateral.	Monitoramento do processo.	Máquina de medição por coordenadas.	Sala de Metrologia.	Inspetores de Medidas.	1x Turno.	Relatório Dimensional.	QA Metrologia.
Parâmetros do processo.	Medição dos parâmetros da fonte laser.	Teach pad (on line).	Estação Laser Brasing.	Técnico de Manutenção.	1x dia.	Formulário de Parâmetros.	Manutenção.
Geometria da carroceria Laterais e Teto.	Avaliação de carroceria na sala de montabilidade.	Maquina de medição por coordenada.	Sala de Metrologia.	Técnico da Qualidade.	Amostras.	Relatório Dimensional.	QA Metrologia.

## 6.2 Medição da variação da altura do teto - Correções no processo

A fim de verificar a flutuação da altura no eixo Z do teto estampado em relação às laterais e medir a correlação com as falhas, foram realizadas medições tomando como base as 8 regiões definidas, sendo confeccionado um gabarito para o correto posicionamento de um relógio comparador para a obtenção das medidas.

O relógio foi zerado e a cada início de turno foram tomadas amostras seqüenciais, onde a medição foi feita do início do cordão até o final, tanto para o lado esquerdo quanto para o lado direito.

Estas medidas foram tomadas ao longo das duas semanas em que foram feitos os apontamentos pela área de preparação a fim de poderem ser correlacionadas as falhas às possíveis variações nas dimensões do teto. A Figura 35 mostra esquematicamente a diferença da altura entre o teto e a lateral.



A Tabela 4 mostra algumas medidas obtidas da diferença entre o teto e as laterais durante o período de acompanhamento. As medidas apresentam uma variação característica do projeto ao longo do trecho brasado, porém, devem ser muito próximas as medidas dos dois lados quando efetuada a medição em regiões equivalentes, como por exemplo, as regiões E2 e D2 devem estar com uma distância do teto até a lateral de aproximadamente 2,5 mm.

Tabela 4 - MEDIÇÃO DA ALTURA DO TETO

QUINTA			SEXTA			SÁBADO		
PTO	ESQ	DIR	PTO	ESQ	DIR	PTO	ESQ	DIR
	<b>1º Turno</b>			<b>2º Turno</b>			<b>3º Turno</b>	
1	2,91	2,88	1	2,82	2,73	1	2,9	2,94
2	2,59	2,49	2	2,5	2,53	2	2,48	2,6
3	3,23	3,12	3	3,37	3,19	3	3,28	3,13
4	3,11	3,14	4	3,23	3,3	4	3,12	3,31
5	3,31	3,24	5	3,38	3,49	5	3,2	3,31
6	3,13	3,1	6	3,11	3,1	6	3,02	3,14
7	2,54	2,42	7	2,42	2,49	7	2,53	2,5
8	2,46	2,48	8	2,57	2,45	8	2,58	2,43

As tolerâncias do processo para as distâncias entre o teto e as laterais são descritas abaixo:

- Mínimo afastamento – 2,5 mm
- Afastamento nominal – 1 mm
- Máximo afastamento – 3,5 mm

As medições realizadas foram agrupadas e para elas foram gerados gráficos com o teste de normalidade e capacidade do processo. O valor adotado para **P-value** como referência para a normalidade de um processo deve ser maior ou igual a **0,05**. Esta é a garantia de que o processo trabalha com uma confiabilidade de no mínimo 95% de peças dentro dos limites de projeto. Para a capacidade do processo em produzir peças boas, o índice adotado deve ser maior do que **1,33**, o que significa um nível de garantia de que dentro de um universo de um milhão de peças apenas 64 peças podem apresentar defeito ou variação.

A Figura 36 mostra os estudo da altura do lado esquerdo do teto.

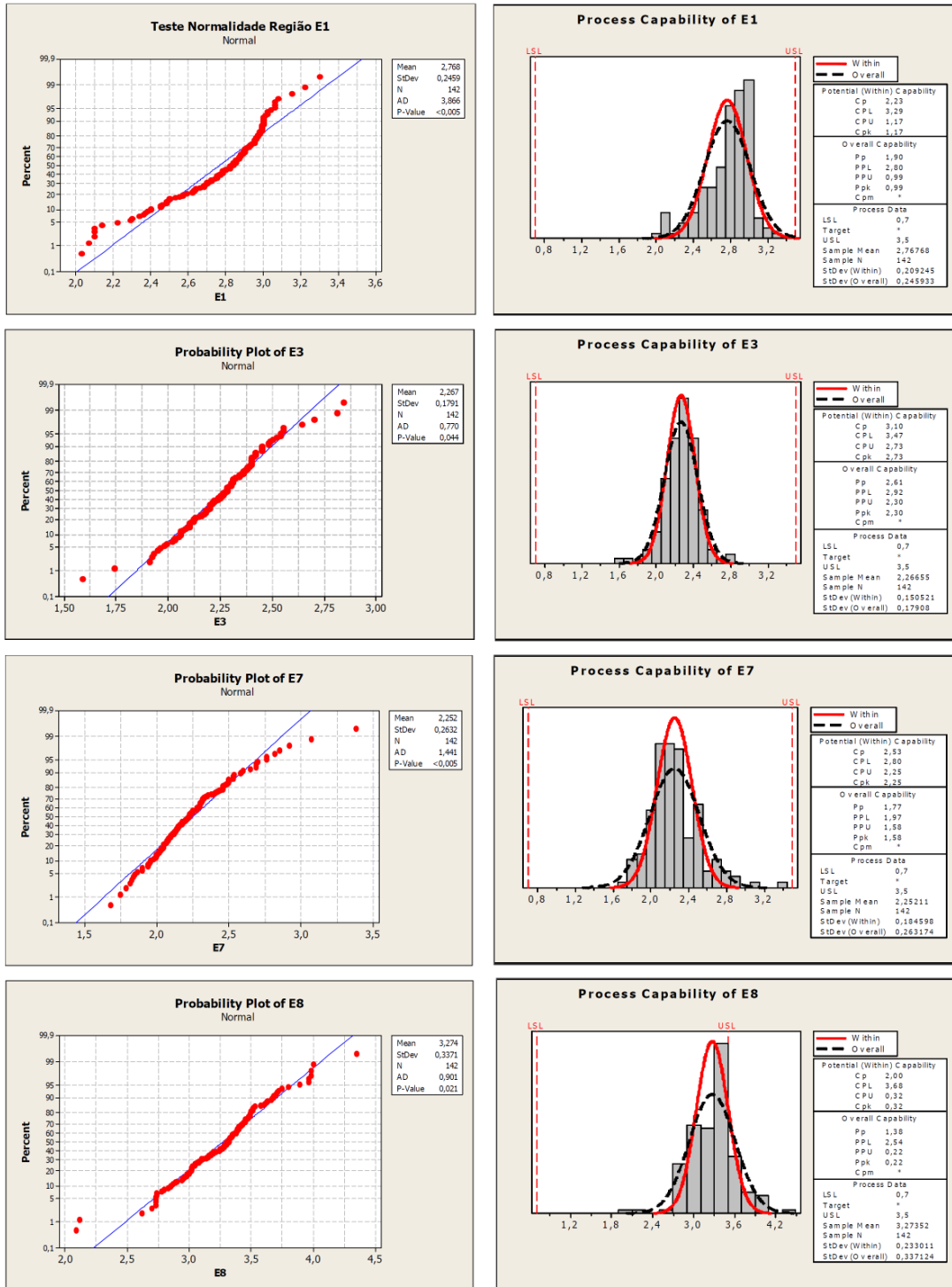


Figura 36 - NORMALIDADE E CAPABILIDADE LADO ESQUERDO DO TETO

Da mesma forma, a Figura 37 mostra o estudo para o lado direito do teto.

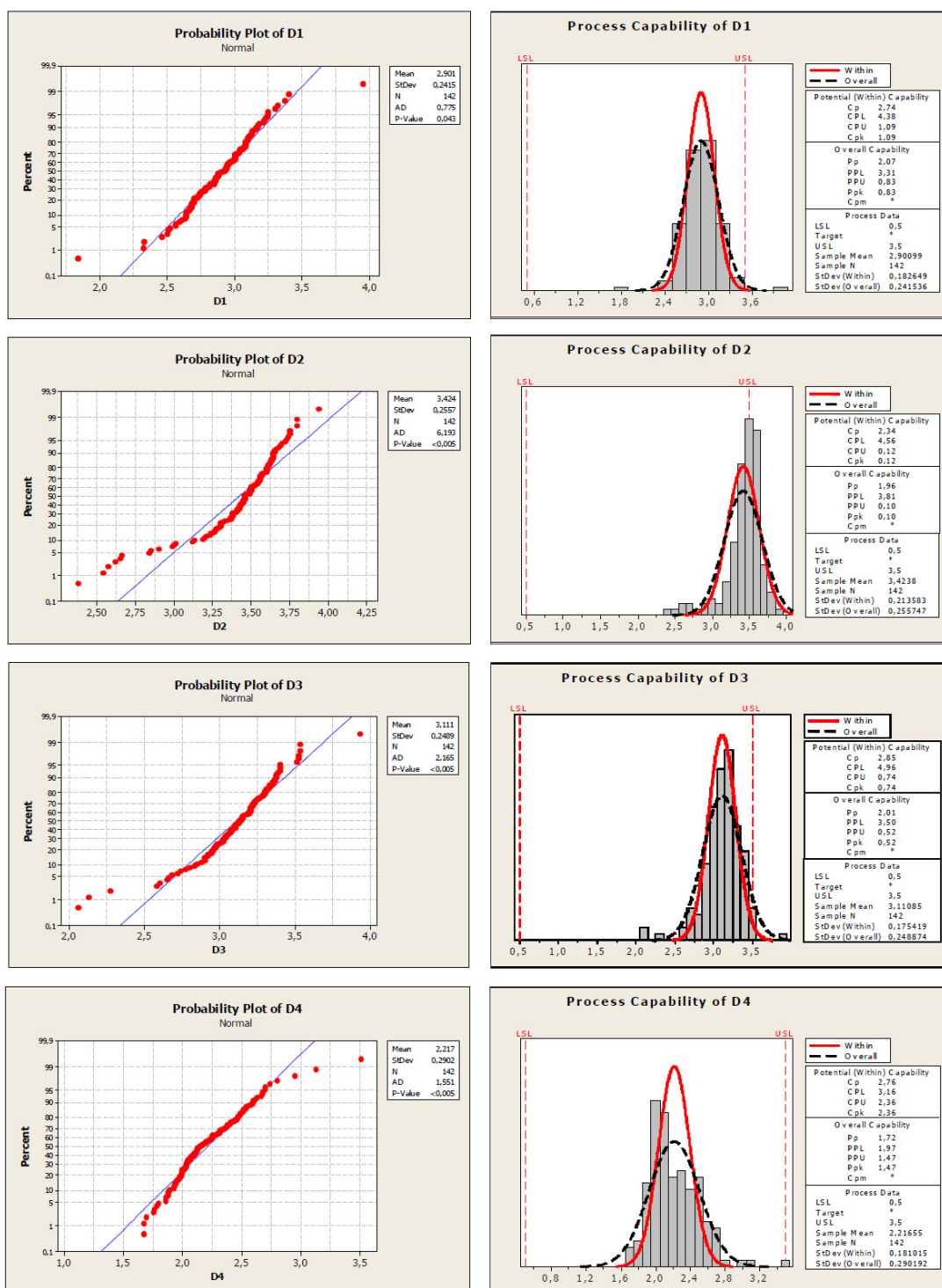


Figura 37 - NORMALIDADE E CAPABILIDADE LADO DIREITO DO TETO

O resultado dos estudos das regiões mais críticas para as falhas é apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5 - P-VALUE & CAPABILIDADE PARA A ALTURA DO TETO**

REGIÃO	P-value $\geq 0,05$	CP > 1,33	ANALISE DOS RESULTADOS
E1	0,005	2,23	FORA DA NORMALIDADE – ALTA CAPACIDADE
E3	0,044	3,10	PRÓX. DA NORMALIDADE - ALTA CAPACIDADE
E7	0,005	2,53	FORA DA NORMALIDADE – ALTA CAPACIDADE
E8	0,021	2,0	FORA DA NORMALIDADE – ALTA CAPACIDADE
D1	0,043	2,74	PRÓX. DA NORMALIDADE - ALTA CAPACIDADE
D2	0,005	2,34	FORA DA NORMALIDADE – ALTA CAPACIDADE
D3	0,005	2,85	FORA DA NORMALIDADE – ALTA CAPACIDADE
D4	0,005	2,76	FORA DA NORMALIDADE – ALTA CAPACIDADE

Analisando os resultados para cada região estudada e possível chegar às seguintes conclusões para a normalidade e para a capacidade do processo:

Apenas as regiões E3 e D1 estão próximas da normalidade e todas as regiões apresentaram um valor para CP superior a 1,33 indicando que o processo é bastante robusto em reproduzir as dimensões.

Para que o processo se normalize e seja minimizada a flutuação das regiões em relação aos limites de dimensões de projeto é necessário que todas as regiões tenham um incremento na altura em + Z, isto significa dizer que o teto precisa subir um pouco como um todo, ou seja, diminuir a distância entre a altura do teto e as laterais.

Sendo assim, foi feita a recomendação à área de acompanhamento da produção para que realizasse o ajuste das unhas que são responsáveis por afastar ou aproximar o teto da lateral. A Figura 38 mostra uma das várias unhas de ajuste que são dispostas ao longo das asas da estação geométrica. Os testes de brasagem foram executados após os ajustes solicitados.



Figura 38 - UNHA DE APOIO DO TETO

Desta forma, a área de metrologia da sala de medidas deverá fazer o acompanhamento da evolução dos ajustes realizados na estação geométrica para a estabilização da altura do teto.

Entretanto, a cabeça de brasagem Scansonic possui um range de compensação de 10 milímetros, sendo 5 para cima e cinco para baixo e para que o sistema de compensação possa trabalhar corretamente é necessário que seja feita a conferência da programação da trajetória percorrida pelo robô, onde a cabeça de brasagem está fixada. Isto servirá para deixar o braço de compensação trabalhando na posição central, garantindo que variações ate 5 mm para cima ou para baixo possam ser absorvidas.

### **6.3 Medição do desvio da lateral em “y” - Correções no processo**

Seguindo na análise do diagrama de causa e efeito no que se refere às possíveis folgas nos grampos, foi realizada uma inspeção geral nas estações de soldagem manuais e automáticas, identificando que existia um problema no posicionamento de uma das peças que forma o reforço interno da parte traseira das laterais, interferindo na distância da folga das chapas que formam a junta de brasagem na região de inicio dos cordões brasados, nas regiões E1 e D1.

Para a solução do problema, foi recorrido à área de acompanhamento da produção para que fizesse alterações no dispositivo de fixação, sendo que e a peça que antes era apenas apoiada nos suportes passou a ser fixada com o auxilio de um cilindro pneumático com um pino centralizador. O cilindro instalado pode ser visto na Figura 39, eliminando esta possível causa.



Figura 39 - CILINDRO POSICIONADOR

Durante a inspeção das peças unitárias das chapas externas das laterais foi identificado um ponto não conforme na face de contato da lateral direita com o teto na região D1, sendo esta uma das regiões críticas para a descontinuidade do tipo falta de material. Este pico foi gerado a partir de um retrabalho na ferramenta de estampagem, tendo sido feito o preenchimento com solda, ficando levemente acima da linha de corte da peça. O pico formado na peça poder ser visto na Figura 40.

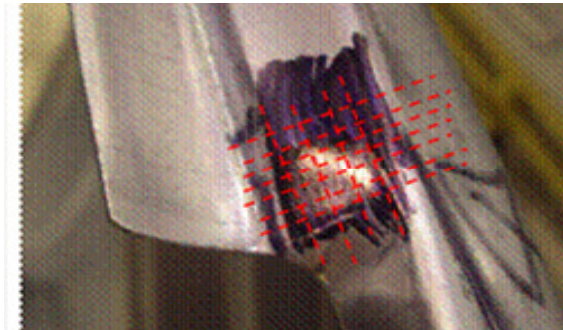


Figura 40 – PICO NA PEÇA DEVIDO À FERRAMENTA

A informação foi tratada imediatamente pelo departamento de ferramentaria, fazendo a correção do pico por meio do lixamento da ferramenta.

Este apontamento já havia sido realizado pela área de metrologia ao mesmo tempo em que os estudos estavam sendo realizados, mostrando a confiabilidade do acompanhamento das peças pela sala de medidas. Esta é uma operação de rotina para a garantia da qualidade das peças estampadas, sendo o parâmetro de controle para as possíveis variações das peças unitárias e subconjuntos, não tão somente

nas peças que formam as laterais como toda e qualquer peça que faça parte da montagem do veículo.

A precisão dos equipamentos utilizados para este fim são da casa de milésimos e sua aferição e certificação é semestral, garantindo a sua confiabilidade e não necessitando de nenhuma recomendação para o departamento da sala de medida. Para os testes de brasagem foram utilizados lotes de peças já com a correção do pico. Porém, por mais que as peças individuais estejam dentro do especificado, é possível que o conjunto sofra desvios devido à ação de desajustes nos sistemas de apoio das peças dentro da estação geométrica.

Desta forma, a fim de conferir possíveis oscilações da lateral que pudessem estar causando uma abertura excessiva na junta de brasagem e causando o escorrimento do material, foi montada uma carroceria na estação com todos os dispositivos de fixação fechados, sem ser feita a brasagem, sendo então marcadas as oito regiões no teto e feito a verificação das folgas entre as chapas do teto e laterais com um calibre de folgas. A Figura 41 mostra os apoiadores fechados e as regiões demarcadas.



Figura 41 - APOIADORES FECHADOS E DEMARCAÇÕES DAS REGIÕES DO TETO

Os valores obtidos para as folgas nas 16 regiões são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 - FOLGAS ENTRE LATERAIS E TETO NA JUNTA DE BRASAGEM**

REGIÃO	FOLGA (mm)	ANÁLISE EM RELAÇÃO À ÁRVORE DE FALHAS
<b>E1</b>	0,95	Crítico falta de material / poros – folga muito grande
E2	0,2	Não apresenta criticidade
<b>E3</b>	0,7	Crítico falta de material / poros – folga muito grande
E4	0,2	Não apresenta criticidade
E5	0,2	Não apresenta criticidade
E6	0,1	Não apresenta criticidade
<b>E7</b>	0,05	Crítico poros – folga no limite inferior
<b>E8</b>	0,75	Crítico falta de material / poros – folga muito grande
<b>D1</b>	0,85	Crítico falta de material / poros – folga muito grande
<b>D2</b>	0,65	Crítico falta de material – folga muito grande
<b>D3</b>	0,75	Crítico falta de material / poros – folga muito grande
<b>D4</b>	0,05	Crítico poros – folga no limite inferior
D5	0,2	Não apresenta criticidade
D6	0,1	Não apresenta criticidade
D7	0,2	Não apresenta criticidade
D8	0,4	Não apresenta criticidade – folga muito grande

Desta forma, com base na recomendação de que as folgas devem estar entre 0,05mm e 0,2mm, foi solicitado à área de acompanhamento da produção para que fizesse os seguintes ajustes nos apoiadores das laterais:

#### **Lado esquerdo**

Regiões E1, E3 e E8 - Aproximação em Y para até 0,2 mm do teto;

Regiões E6 e E7 - Afastamento em Y a até 0,2 mm do teto;

Regiões E2, E4 e E5 - Manter o afastamento atual.

#### **Lado direito**

Regiões D1, D2, D3 e D8 - Aproximação em Y para até 0,2 mm do teto;

Regiões D4 e D6 - Afastamento em Y a até 0,2 mm do teto;

Região D5 e D7 – Manter o afastamento atual.

Esta variação foi detectada graças à utilização do calibre de folga, devendo ser esta uma ação de controle a ser realizada na estação geométrica a cada troca de lote de peças a fim de minimizar as chances de erros. Esta medição deve ocorrer também nas demais estações manuais e automáticas, buscando e eliminando folgas

nos grampos de fixação, bem como em pinos centralizadores, podendo ser realizada preventivamente a cada semana. Os testes de brasagem foram realizados somente após a correção dos deslocamentos.

#### **6.4 Avaliação dos parâmetros e componentes GEO - Correções no processo**

As avaliações das condições reais de trabalho serão demonstradas a seguir conforme a sua criticidade. Inicialmente trataremos a situação da oleosidade do teto, advindo do processo de estampagem. Este óleo serve para facilitar o processo de conformação do metal durante os ciclos de batidas da ferramenta na prensa. Foi identificada que a quantidade de óleo residual estava muito grande, podendo vir a ser um problema para o processo de brasagem.

O ideal para a remoção completa dos resíduos seria efetuar a aplicação de um solvente para a remoção, porém, as peças deveriam passar por um processo de lavagem posterior, o que ficaria inviável devido à logística e aos custos envolvidos, sendo então feita a recomendação à área de estamparia para que efetue a secagem das peças após saírem da prensa. Apesar desta limpeza ser teoricamente insuficiente, foram realizados testes com os tetos que passaram pelo processo de secagem, observando-se uma redução na incidência de porosidades. Este procedimento de secagem deverá ser continuado para que a condição se mantenha dentro da qualidade esperada.

A poeira também é prejudicial para este processo, uma vez que a qualidade que se espera de um cordão brasado à laser nesta aplicação requer a completa isenção de inclusões ou imperfeições. Para garantir que o mínimo da poeira presente no ambiente contamine a brasagem, é realizada a limpeza superficial do teto e da lateral antes da entrada da carroceria na cabine laser, ficando ao encargo do jato de ar comprimido (cross jet) presente na cabeça de brasagem remover o restante do particulado que possa estar sobre a junta. O sistema de limpeza cross jet pode ser visto na Figura 42, pintado em marrom.

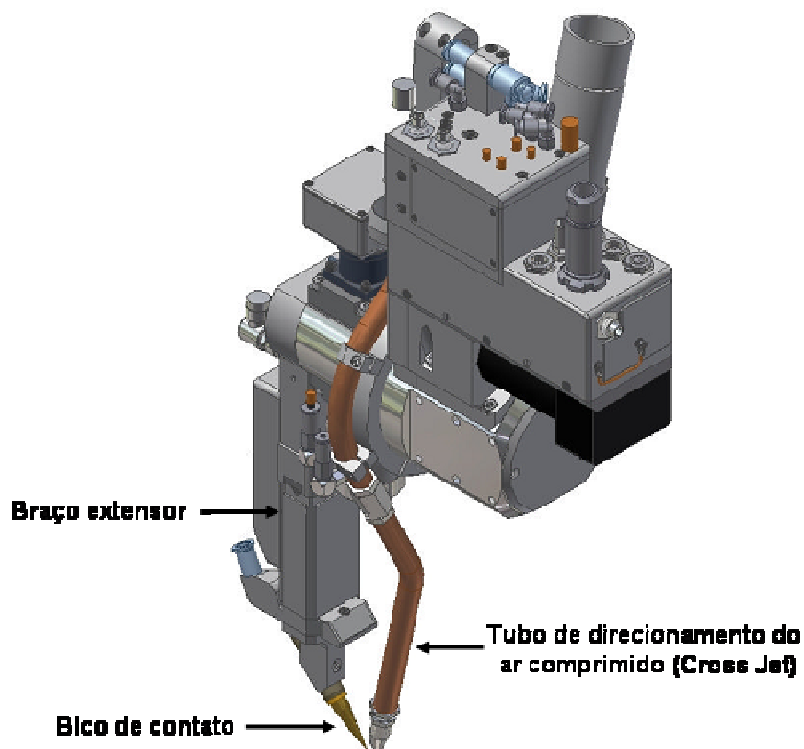


Figura 42 – CABEÇA DE BRASAGEM E CROSS JET  
SCANSONIC

Devido à sua importância o item foi colocado na rotina de inspeção preventiva para a garantia de que o fluxo de ar comprimido esteja sempre direcionado para o ponto correto, que é imediatamente à frente do arame que está sendo depositado, garantindo também que não existe nenhuma dobra na mangueira de alimentação de ar comprimido.

Paralelamente a isto, as ações de TPM devem garantir a limpeza da estação para a remoção do excesso de poeira e fuligem. Ressalta-se que durante o período de avaliação não foi encontrado problema neste sistema.

A utilização de bobinas de 15 Kg apresenta uma série de inconvenientes no que diz respeito ao seu manuseio, pois a cada turno de trabalho precisa ser substituída, havendo a necessidade de interrupção do processo, além de todos os problemas de sobreposição de espiras e desgaste do conduto que ocorrem, conforme relatado anteriormente.

A Figura 43 mostra uma bobina montada no suporte e o sistema de travamento feito por um batente em nylon sobre a pressão de molas, o qual é ineficaz.



Figura 43 - BOBINA E BATENTE EM NYLON

A fim de eliminar todos estes problemas, foi recomendada a descontinuidade do uso de bobinas de 15 Kg, passando a utilizar barricas de arame com 200 Kg. Desta forma foi extremamente reduzida a necessidade de parada de linha para a troca das bobinas e o conduíte teve a sua vida útil aumentada, uma vez que a passagem de nova ponta de arame é feita somente depois de vários turnos de produção. O problema de travamento do arame por espiras sobrepostas também foi reduzido pois não existe a possibilidade de entrelaçamento no tonel que fica parado no chão.

Como forma preventiva para a identificação de eventuais travamentos foi desenvolvido um sistema de monitoramento para o arame, permitindo visualizar em tempo real a variação na velocidade de alimentação por meio de um conjunto de roldanas ligadas a um encoder, cujos sinais são tratados e enviados para um gráfico de acompanhamento. A Figura 44 mostra o conjunto de monitoramento montado entre o suporte da bobina e o alimentador.



Figura 44 - MONITORAMENTO DE TRAVAMENTO DA BOBINA

Além de monitorar e gerar um gráfico em tempo real, o sistema também permite que sejam feitos incrementos de velocidade com a linha em movimento, o que antes era impossível pois a programação da velocidade do arame só podia ser feita com a interrupção do processo, durante a programação da trajetória do robô. O antigo procedimento consistia em programar um trecho a ser brasado, depois outro trecho e assim por diante até o final do cordão, combinando a velocidade de deslocamento do robô com a velocidade de alimentação.

Esta melhoria permitiu fazer ajustes na quantidade de material que está sendo aplicado na junta de soldagem, aumentando ou diminuindo a espessura do cordão brasado, conforme a necessidade de preenchimento do canal, seja para correções estéticas como para reforço para adequação aos testes de tração da junta brasada. Assim, tornou-se possível alterar estes dois parâmetros de forma independente um do outro, aumentando o controle do processo. Também foi possível fazer o ajuste da corrente aplicada no arame pela máquina Hot Wire para o seu pré-aquecimento na mesma tela de controle.

A Figura 45 mostra a tela de controle da velocidade, indicando a quantidade de material que está sendo aplicado em cada trecho de brasagem, bem como a corrente aplicada no arame para o seu pré-aquecimento. Através desta tela é possível verificar a velocidade programada e a velocidade real, identificando os travamentos do arame e fazendo as correções necessárias de forma on line. A fim de correlacionar os trechos brasados com os testes destrutivos de qualidade e corrigir os problemas pontuais, foi desenvolvido o programa de acordo com as 14 regiões de corte do teto.

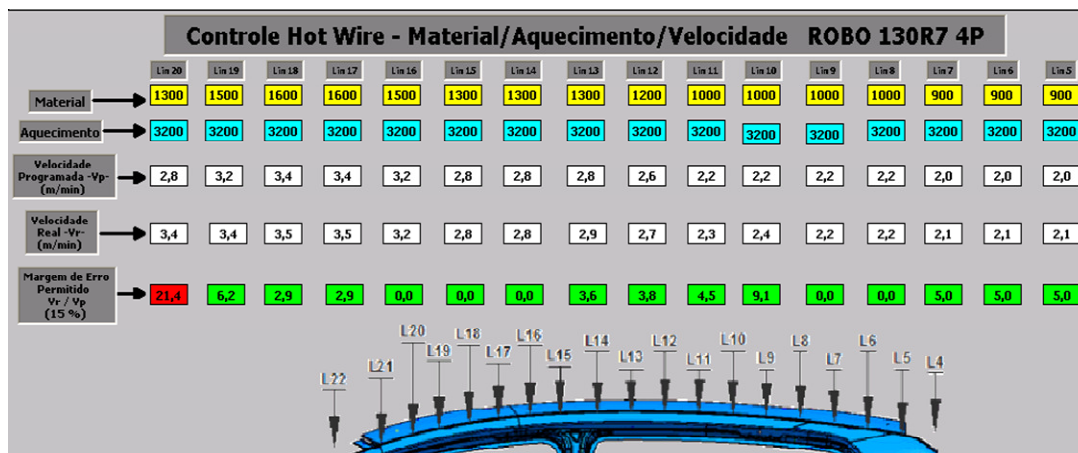


Figura 45 - TELA DE CONTROLE DO ARAME DE SOLDA PELO SISTEMA CONTROL WIRE

A necessidade de se programar vários trechos para a brasagem completa do cordão ainda se faz necessária pois a cabeça de brasagem (Scansonic) não faz a correção automática do foco do laser devido ao fato de que suas lentes internas são fixas. Uma vez que a altura do teto varia ao longo do trecho de brasagem, torna-se necessário fazer o programa da trajetória durante vários trechos pequenos, aproximando ou afastando a Scansonic da carroceria para corrigir o foco. Para o teste brasagem todas as trajetórias foram reprogramadas, considerando-se 14 trechos.

A Figura 46 mostra duas situações freqüentemente encontradas para este modelo de cabeça de brasagem (ALO-1). Do lado esquerdo da figura pode-se observar que o foco está ajustado de acordo com a altura imposta pela trajetória do robô (ponto 1), enquanto que do lado direito houve uma variação da altura da superfície, onde o sistema de compensação fez a correção da altura do bico de contato em relação à peça (ponto 2), fugindo do ponto focal ótimo, o qual permanece ajustado pela altura imposta pela trajetória do robô.

Neste caso, deverá ser feito um novo trecho de programa com a altura mais baixa para que o foco seja corrigido. Este é um dos fatores que propiciam as falhas de falta de fusão do metal de adição, pois o arame foge constantemente do ponto focal ótimo, saindo fora da zona de máxima potência do laser.

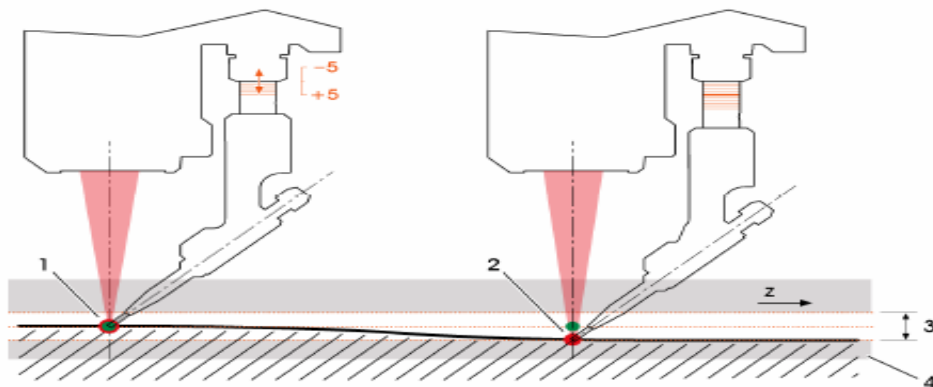


Figura 46 - VARIAÇÃO DO FOCO DEVIDO À VARIAÇÃO DA ALTURA DO TETO SCANSONIC

Neste caso recomenda-se que seja feito um estudo de viabilidade para a substituição das cabeças de brasagem ALO-1 pelo modelo ALO-3, onde o braço do sistema de compensação possui um sistema de posicionamento que faz a correção

das lentes internas automaticamente à medida que ocorrem variações na altura da peça.

As lentes de proteção da cabeça de solda também precisam de constante verificação, pois servem para proteger o conjunto óptico de possíveis respingos e poeiras. A Figura 47 mostra uma lente de proteção queimada devido à presença de um particulado que ficou aderido à superfície, gerando um superaquecimento. Para o teste de brasagem foi feita a substituição da lente.

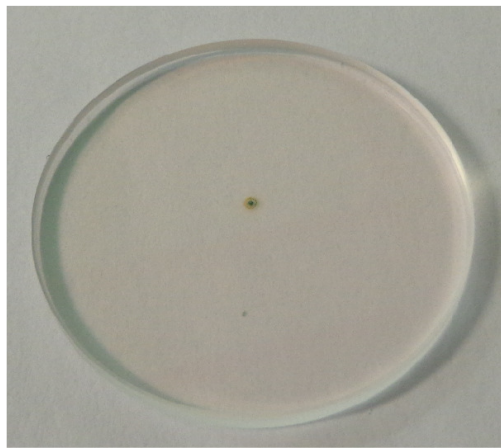


Figura 47 - LENTE QUEIMADA

Durante a troca da lente de proteção é preciso tomar cuidado para que nenhum corpo estranho entre em contato com as lentes do conjunto óptico, pois com a ação do laser ocorre a formação de manchas na lente e conseqüentemente a sua queima, fazendo com que ocorra a perda do foco do laser. A Figura 48 mostra uma lente do conjunto óptico manchada. A queima também pode ocorrer devido à uma falha na refrigeração, vindo a derreter o anel de vedação, o qual se esfarela e cai sobre a lente. Para o teste de brasagem foi efetuada a troca da lente por nova.

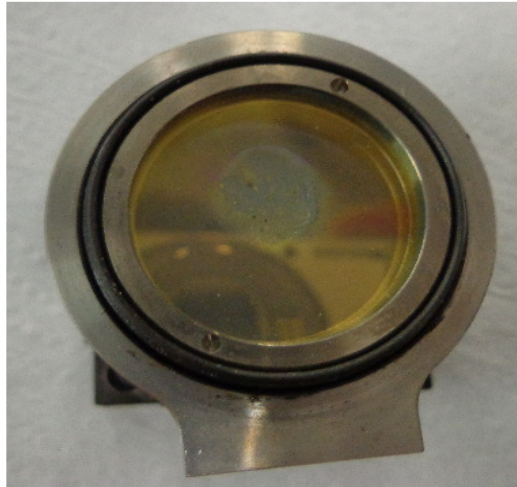


Figura 48 - LENTE DO CONJUNTO ÓPTICO MANCHADA

Com a perda do foco ocorre a fusão incompleta do arame e a queima da região lateral da junta de soldagem, como pode ser visto na Figura 49.

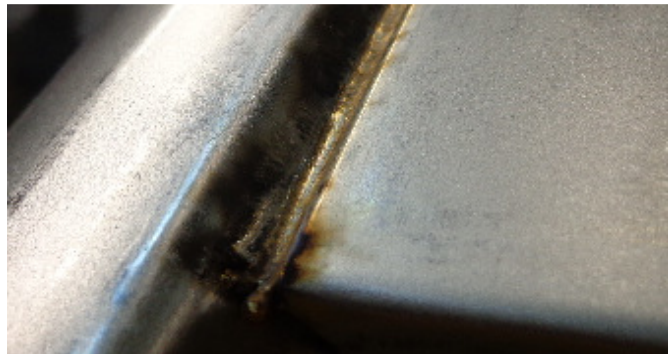


Figura 49 – QUEIMA DAS CHAPAS PELA PERDA DO FOCO DO LASER

A fim de evitar este problema, recomenda-se fortemente que seja feita a inspeção da lente de proteção a cada turno de trabalho, evitando a queima da óptica, cujo valor é muito mais elevado que o valor da lente. O tempo que será perdido para fazer a inspeção ficará compensado pelo tempo ganho com a utilização da barrica de arame com 200 Kg.

Outro fator que precisa ser considerado para que se mantenha o foco laser ajustado é o cuidado no manuseio da cabeça de brasagem. Como mencionado anteriormente, este conjunto não faz a correção automática do foco, sendo necessário que se efetue o ajuste manualmente, podendo ficar fora do recomendado pelo fabricante. Normalmente é utilizado um arame CuSi-3 com diâmetro de 1,6mm para a brasagem do teto e o diâmetro do foco indicado para esta bitola é de 3,2 mm.

Esta é na verdade a medida aproximada que ficará a largura do cordão após a fusão e o aumento do diâmetro do foco causará a queima da carroceria e a falta de fusão do arame, uma vez que a potência esta sendo distribuída em uma área maior. Sendo assim é muito importante que o sistema de ajuste do foco esteja ajustado e travado. Para este estudo foi realizada a verificação do foco das duas cabeças, estando levemente desajustadas. Para os testes de soldagem foi feita a correção do foco e feito a reprogramação da trajetória do robô, mantendo a compensação no centro. A Figura 50 mostra o sistema de ajuste do foco na cabeça de solda modelo ALO-1.

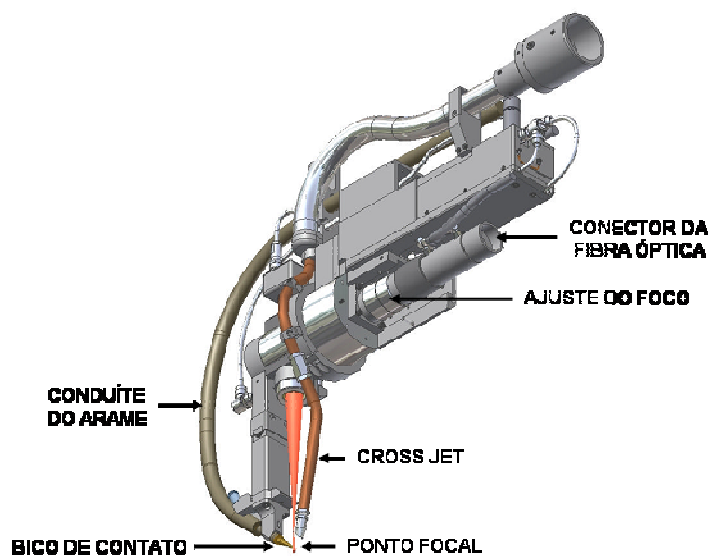


Figura 50 - AJUSTE DO FOCO DO LASER SCANSONIC

O bico de contato é o responsável por fazer o direcionamento do arame na junta de soldagem, sofrendo diretamente o esforço imposto pelo sistema de compensação e também a ação direta do atrito com o arame. Com o tempo de uso o furo se desgasta, ficando ovalizado e gerando um mau contato entre o arame e o bico, o que prejudica a passagem da corrente para o pré-aquecimento, podendo também causar o travamento do arame.

Desta forma, a sua inspeção se faz necessária a cada turno de trabalho, podendo ser acompanhada também pelo sistema Control Wire à medida em que o sistema acusar variações na velocidade de alimentação. A inspeção deverá ser realizada também no conduíte. A Figura 51 mostra o conjunto bico de contato e

conduíte, ambos fixados na ponteira do braço de compensação da cabeça de brasagem Scansonic.

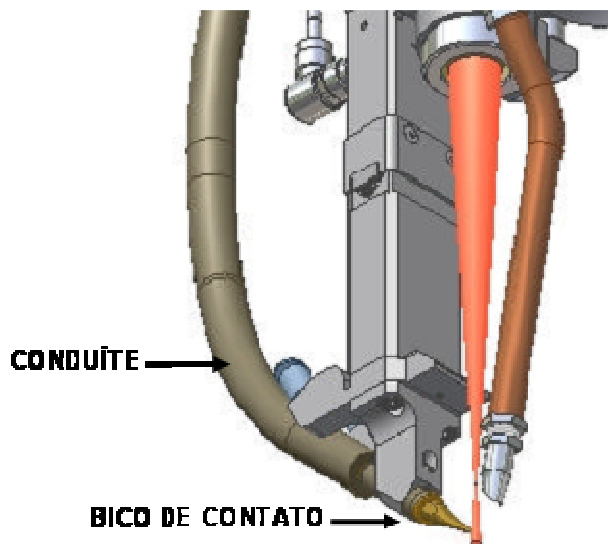


Figura 51 - BICO DE CONTATO E CONDUÍTE  
SCANSONIC

Para a execução dos testes de brasagem foi solicitada a troca do conduíte e do bico de contato para garantir que estas possibilidades de falha fossem eliminadas. Adicionalmente foi solicitada a inspeção dos cabos de corrente das máquinas Hot Wire, sendo verificado que havia sinais de desgaste por corrosão, o que afeta a passagem da corrente elétrica. Neste caso, foi feita a substituição dos cabos por novos, reduzindo a possibilidade de formação de respingos e poros.

A fonte laser, responsável por gerar e fornecer o feixe laser para a fusão do metal de adição requer certos cuidados para que a operação possa ser realizada de forma controlada, em resposta à programação realizada previamente.

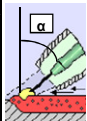
O sistema funciona como um periférico do robô, sendo acionado conforme a programação realizada para cada trecho e dependendo da folga da junta de brasagem e da quantidade necessária de arame para o preenchimento da junta, aliado à velocidade de translado do robô, é que será determinada a potência do laser necessária para a fusão. O sistema funciona como escravo do robô, sendo controlado remotamente, por isto, é de extrema importância que os parâmetros sejam mantidos para a repetibilidade da qualidade da solda. Porém, vários fatores podem influenciar na geração do laser, os quais devem ser observados atentamente.

O laser é gerado a partir da radiação luminosa que incide na barra de cristal que fica alojado na cavidade do ressonador. A cada 2400 horas as lâmpadas que excitam o cristal precisam ser substituídas e esta operação precisa ser feita com muita cautela. A tampa da cavidade onde as lâmpadas são montadas e a cavidade onde o cristal está montado precisam ser muito bem limpas, removendo qualquer umidade presente. A umidade é formada por vazamentos nas borrachas de vedação da tampa da cavidade, interferindo na luz que incide na barra de cristal, reduzindo a potência do laser, sendo necessário efetuar a troca das vedações a cada troca de lâmpadas como precaução.

As lâmpadas geram uma intensidade muito forte de luz e o cuidado durante a troca das lâmpadas deve ser redobrado, pois caso ocorra o contato do bulbo com as mãos, a oleosidade da pele irá manchar a lâmpada e com a ação da luz ocorrerá a sua queima em um período inferior às 2400 horas de vida útil previstas. No momento em que a tampa vai ser montada, novamente é preciso ter cuidado para não causar impactos que possam causar o desalinhamento da cavidade, o que pode gerar um desvio no feixe emitido, causando o que é conhecido como luz difusa, o que significa que parte da energia está sendo perdida e a potência que seria usada para fundir o arame terá que ser maior para compensar a perda. Isto implica em forçar mais as lâmpadas excitatrizes.

A fim de corrigir possíveis variações na geração do laser, é preciso que seja realizada uma aferição anual do gerador, medindo a energia fornecida para o cristal e a potência real do laser emitido. Os parâmetros antigos referentes a potência do laser aplicado, corrente de solda da máquina Hot Wire e velocidade de arame (quantidade de metal de adição) aplicado em cada trecho do cordão brasado podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 - PARÂMETROS ANTES DA AFERIÇÃO

Cordão /campo	Programa do Robô	Potência do Laser b01-02-03 4000 -20%(KW)	Veloc. De Solda		Corrente de solda 100 mV robô = 3,3A Corrente A01		Tensão	Velocidade do Arame 100 mV robô = 0,21m/ min A00			Distância Focal 200mm +-4mm
			50mm/s +-20% Lin:(Robô)	300 (cm/min.) +- 20%	Robô 4000 mV +-20%	132(A) +-20%		Robô 1600mV +-20%	3,5(m/min.) +-20%		
Robô8 D1	P5	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
	P6	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
Robô8 D2	P7	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
	P8	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
Robô8 D3	P9	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
	P10	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
Robô8 D4	P11	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
	P12	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
Robô8 D5	P13	3300	50	300	3200	106	2,7	1200	2,6	3°	3,2
	P14	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
Robô8 D6	P15	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
	P16	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
Robô8 D7	P17	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
		3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
Robô8 D8	P18	3300	50	300	3200	106	2,7	1100	2,4	3°	3,2
	P19	3300	50	300	3200	106	2,7	1000	2,2	3°	3,2
Robô7 E1	P5	3700	50	300	3200	106	3,0	1100	2,4	3°	3,2
	P6	3700	50	300	3200	106	3,0	1100	2,4	3°	3,2
Robô7 E2	P7	3700	50	300	3200	106	3,0	900	2,0	3°	3,2
	P8	3700	50	300	3200	106	3,0	900	2,0	3°	3,2
Robô7 E3	P9	3700	50	300	3200	106	3,0	900	2,0	3°	3,2
	P10	3700	50	300	3200	106	3,0	1300	2,9	3°	3,2
Robô7 E4	P11	3700	50	300	3200	106	3,0	1400	3,1	3°	3,2
	P12	3700	50	300	3200	106	3,0	1400	3,1	3°	3,2
Robô7 E5	P13	3700	50	300	3200	106	3,0	1400	3,1	3°	3,2
	P14	3700	50	300	3200	106	3,0	1350	3,0	3°	3,2
Robô7 E6	P15	3700	50	300	3200	106	3,0	1300	2,9	3°	3,2
	P16	3700	50	300	3200	106	3,0	1300	2,9	3°	3,2
Robô7 E7	P17	3700	50	300	3200	106	3,0	1300	2,9	3°	3,2
		3700	50	300	3200	106	3,0	1300	2,9	3°	3,2
Robô7 E8	P18	3700	50	300	3200	106	3,0	1200	2,6	3°	3,2
	P19	3700	50	300	3200	106	3,0	1200	2,6	3°	3,2

A Figura 52 mostra o trabalho de aferição realizado no gerador, mostrando que existia uma variação na potência aplicada, tendo sido feita uma correção da curva de potência gerada pelo tempo de excitação. A linha verde mostra a curva de potência antes do ajuste e a linha vermelha mostra a curva corrigida.

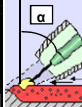


Figura 52 - POTÊNCIA x TEMPO DE EXCITAÇÃO  
 FONTE: O AUTOR

Acreditava-se, por exemplo, que a potência aplicada era de 3500W para determinado trecho enquanto na verdade estava sendo aplicado em torno de 3.200W. Este problema estava fazendo com que a potência real do laser estivesse muito abaixo da potência indicada, fazendo com que houvesse a falta de temperatura para a fusão do arame.

Após os ajustes foi possível diminuir a intensidade do laser, diminuir a corrente aplicada pela máquina Hot Wire e aumentar a quantidade do arame fornecido para um melhor preenchimento da junta, tendo como resultado cordões de ótima qualidade. Os novos parâmetros utilizados podem ser vistos na Tabela 8 onde pode se observar que a potência para o lado direito caiu de 3.300W para 3.000W e para o lado esquerdo caiu de 3.700W para 3.100W. A corrente caiu de 106A para 102A e a quantidade de arame subiu de 2,4m/min para 2,9m/min para o lado esquerdo e se manteve na mesma faixa para o lado direito.

Tabela 8 - PARÂMETROS APÓS A AFERIÇÃO

Cordão/ca mpo	Programa do Robô	Potência do Laser	Veloc. De Solda		Corrente de solda 100 mV robô = 3,3A Corrente A01			Tensão	Velocidade do Arame 100 mV robô = 0,21m/ min A00			Distância Focal 200mm +- 4mm
			50mm/s +-20% Lin:(Robô)	300 (cm/min.) +- 20%	Robô 3000 mV +-20%	132(A) +-20%	2,9(V) +-20%		Robô 1300mV +-20%	2,9(m/min.) +-20%		
Robô8 D1	Lin 6	3000	50	300	2900	96	2,7	1500	3,3	3°	3,2	
Robô8 D2	Lin 7	3000	50	300	3000	99	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D3	Lin 8	3000	50	300	3100	102	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D4	Lin 9	3000	50	300	3100	102	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D5	Lin 10	3000	50	300	3100	102	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D6	Lin 11	3000	50	300	3100	102	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D7	Lin 12	3000	50	300	3100	102	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D8	Lin 13	3000	50	300	3100	102	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D9	Lin 14	3000	50	300	3100	102	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D10	Lin 15	3000	50	300	3100	102	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D11	Lin 16	3000	50	300	3100	102	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D12	Lin 17	3000	50	300	3100	102	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D13	Lin 18	3000	50	300	3000	99	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 D14	Lin 19	3000	50	300	3000	99	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 E1	Lin 6	3100	50	300	3000	99	2,7	1450	3,2	3°	3,2	
Robô8 E2	Lin 7	3100	50	300	3000	99	2,7	1100	2,4	3°	3,2	
Robô8 E3	Lin 8	3100	50	300	3100	102	2,7	1100	2,4	3°	3,2	
Robô8 E4	Lin 9	3100	50	300	3100	102	2,7	1100	2,4	3°	3,2	
Robô8 E5	Lin 10	3100	50	300	3100	102	2,7	1200	2,6	3°	3,2	
Robô8 E6	Lin 11	3100	50	300	3100	102	2,7	1400	3,1	3°	3,2	
Robô8 E7	Lin 12	3100	50	300	3100	102	2,7	1550	3,4	3°	3,2	
Robô8 E8	Lin 13	3100	50	300	3100	102	2,7	1550	3,4	3°	3,2	
Robô8 E9	Lin 14	3100	50	300	3100	102	2,7	1200	2,6	3°	3,2	
Robô8 E10	Lin 15	3100	50	300	3100	102	2,7	1200	2,6	3°	3,2	
Robô8 E11	Lin 16	3100	50	300	3100	102	2,7	1200	2,6	3°	3,2	
Robô8 E12	Lin 17	3100	50	300	3100	102	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 E13	Lin 18	3100	50	300	3000	99	2,7	1300	2,9	3°	3,2	
Robô8 E14	Lin 19	3100	50	300	3000	99	2,7	1300	2,9	3°	3,2	

No que diz respeito ao equipamento utilizado, de um modo geral este sistema apresenta uma alta complexidade de operação e uma grande gama de possíveis falhas, apresentando um alto custo de manutenção com a troca de lâmpadas e com a necessidade de aferição anual, sem contar os demais gastos envolvidos com o sistema de refrigeração.

Desta forma, recomenda-se um estudo de viabilidade para a substituição deste equipamento, cuja tecnologia já está ultrapassada, adotando-se a nova

geração de geradores laser, conhecida como TruDisk, desenvolvida pela Trumpf, onde se utiliza a tecnologia do diodo ao invés do cristal YAG. Esta tecnologia permite uma redução drástica no tamanho do gerador, poupando espaço físico para as instalações, sem o alto custo de manutenção com a troca das lâmpadas excitatrizes e sem a complexidade envolvida no sistema utilizado atualmente.

Entretanto, seguindo as recomendações descritas no capítulo 9 é possível conseguir ótimos resultados na qualidade da brasagem a laser com o sistema atual.

## 7 RESULTADOS OBTIDOS

Após as correções realizadas nos parâmetros do laser, troca dos consumíveis, ajustes das folgas, implementação do controle do arame e reprogramação da trajetória do robô, foi realizada a brasagem de uma carroceria onde os dois cordões apresentaram uma qualidade excelente, sem qualquer porosidade aparente e sem falta de material, como pode ser visto na Figura 53.

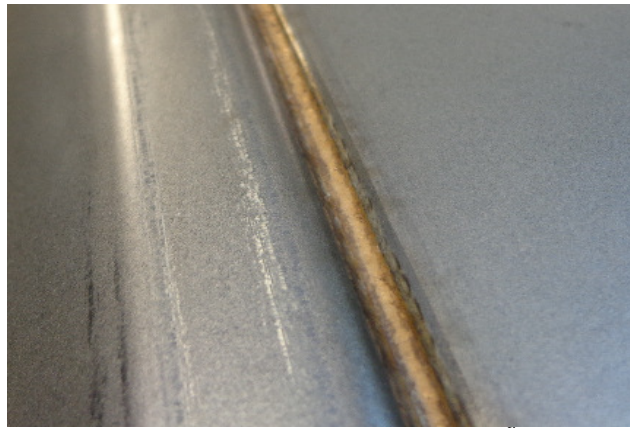


Figura 53 - QUALIDADE DO CORDÃO

A fim de validar as alterações realizadas no sistema e comprovar a integridade dos cordões internamente, foi efetuada a análise macrográfica das 14 regiões de corte do teto, em concordância com os trechos de brasagem efetuados pelos robôs do lado esquerdo e direito, conforme mostra a Figura 54.

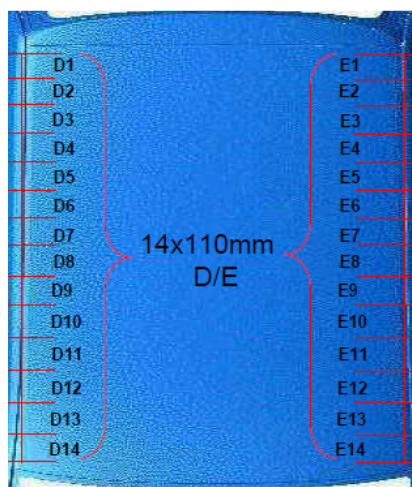


Figura 54 - CORTE DO TETO

Os corpos de prova foram lixados e embutidos em baquelite para a análise em microscópio, buscando identificar possíveis falhas de penetração, porosidade interna e falta de adesão.

No entanto, a Figura 55 mostra um corpo de prova, onde se percebe que houve uma boa penetração do metal de adição e uma boa adesão às superfícies das chapas e sem a presença de porosidade.

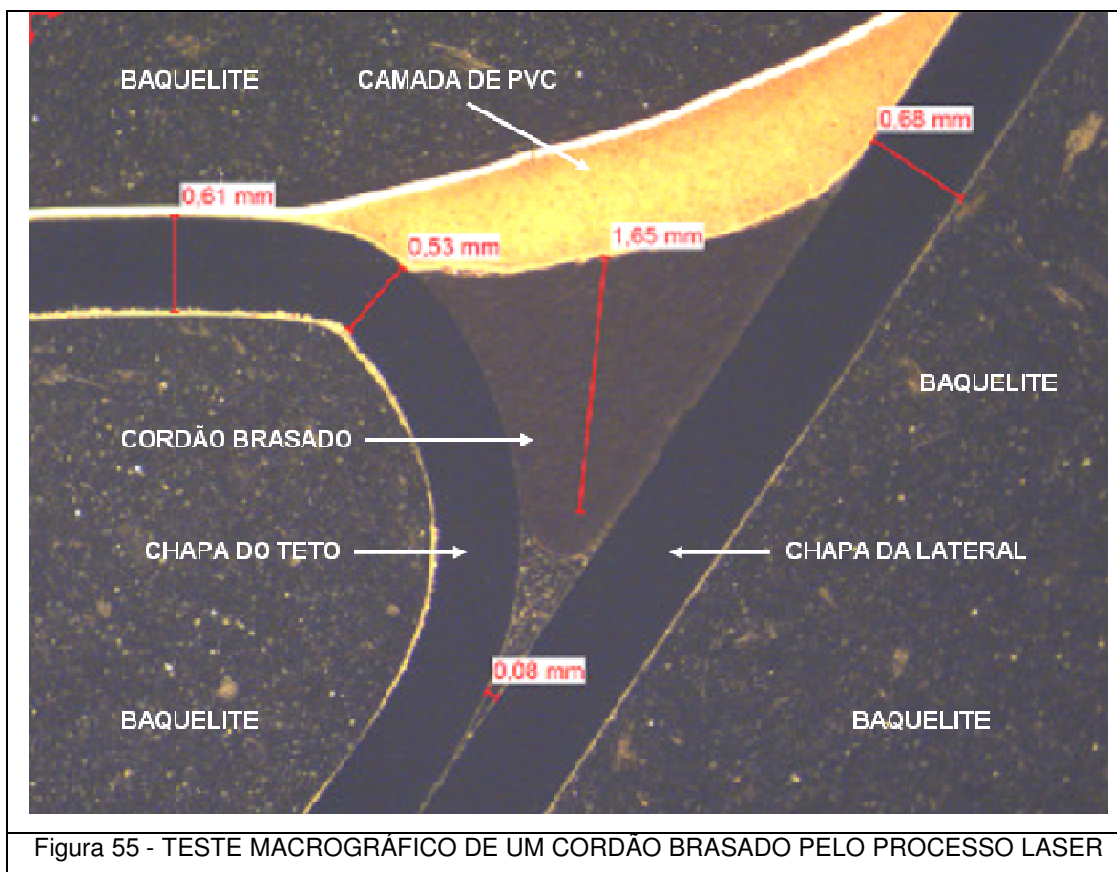


Figura 55 - TESTE MACROGRÁFICO DE UM CORDÃO BRASADO PELO PROCESSO LASER

Foram feitos também testes de tração onde os valores encontrados estão muito acima de 180 MPa, mostrando que os ajustes realizados foram adequados para a realização de cordões de qualidade e com ótima resistência mecânica.

Os resultados dos testes de tração para o lado direito (D1 a D14) e esquerdo (E1 a E14) podem ser vistos na Tabela 9, totalizando 28 corpos de prova, onde todos os testes ultrapassaram a tensão de 300 MPa.

Tabela 9 - ENSAIO DE TRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Corpo de Prova	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Força Máxima (kN)	Observações
CP 1	0.70	44.80	31.36	321.32	10.08	D1
CP 2	0.70	45.80	32.06	310.34	9.95	D2
CP 3	0.70	45.20	31.64	315.95	10.00	D3
CP 4	0.70	44.60	31.22	312.53	9.76	D4
CP 5	0.70	43.90	30.73	311.02	9.56	D5
CP 6	0.70	44.60	31.22	312.18	9.75	D6
CP 7	0.70	44.90	31.43	311.83	9.80	D7
CP 8	0.70	44.00	30.80	307.24	9.46	D8
CP 9	0.70	45.90	32.13	307.86	9.89	D9
CP 10	0.70	44.00	30.80	301.35	9.28	D10
CP 11	0.70	45.10	31.57	314.01	9.91	D11
CP 12	0.70	44.40	31.08	310.43	9.65	D12
CP 13	0.70	45.50	31.85	310.11	9.88	D13
CP 14	0.70	45.70	31.99	304.21	9.73	D14
CP 15	0.70	44.00	30.80	315.02	9.70	E1
CP 16	0.70	44.40	31.08	315.81	9.82	E2
CP 17	0.70	43.70	30.59	308.29	9.43	E3
CP 18	0.70	43.70	30.59	311.25	9.52	E4
CP 19	0.70	43.60	30.52	318.75	9.73	E5
CP 20	0.70	43.70	30.59	313.15	9.58	E6
CP 21	0.70	45.30	31.71	308.96	9.80	E7
CP 22	0.70	44.20	30.94	308.08	9.53	E8
CP 23	0.70	45.10	31.57	307.45	9.71	E9
CP 24	0.70	44.70	31.29	308.35	9.65	E10
CP 25	0.70	45.30	31.71	305.75	9.70	E11
CP 26	0.70	43.90	30.73	312.43	9.60	E12
CP 27	0.70	44.00	30.80	308.54	9.50	E13
CP 28	0.70	45.00	31.50	312.52	9.84	E14

Após a obtenção dos resultados do teste de brasagem nas condições ideais, foi feito o acompanhamento da produção por mais 25 semanas mantendo-se esta condição. O que se observou no resultados da qualidade com base nos índices de ocorrências de falhas por veículos é que o objetivo inicial de reduzir as ocorrências em 45% foi ultrapassado, alcançando-se uma redução de 60,13%, como pode ser visto na Figura 56.

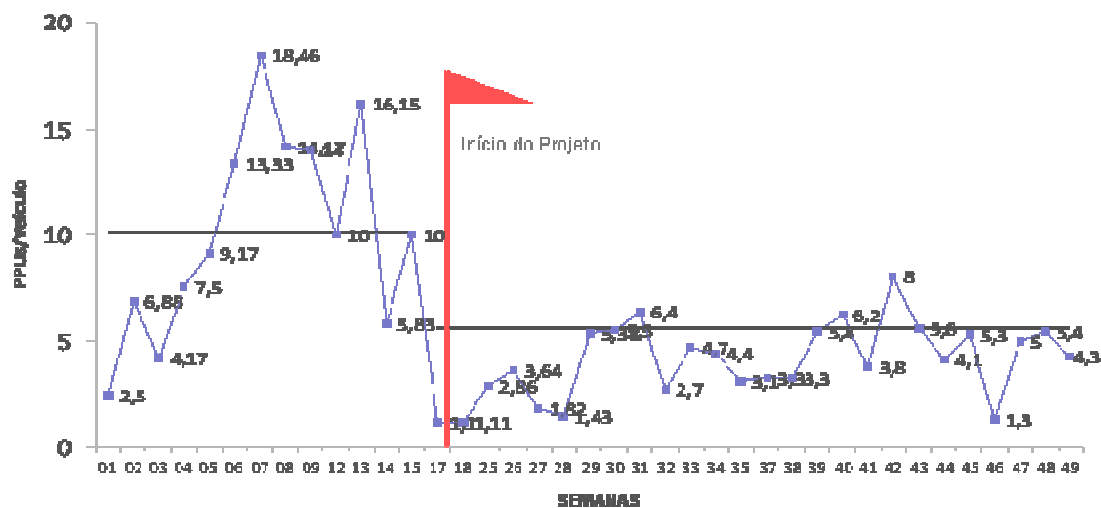


Figura 56 - META DE REDUÇÃO DE FALHAS ALCANÇADA

## 8 RECOMENDAÇÕES GERAIS

Ao se perceber que os cordões brasados começam a apresentar os sintomas descritos neste trabalho, as seguintes verificações deverão ser realizadas:

- Solicitar a medição das peças internas e externas no sistema tridimensional, buscando possíveis distorções;
- Solicitar a inspeção das folgas dos grampos e pinos centralizadores das estações de soldagem estação geométrica;
- Reforçar a remoção de oleosidade e poeira das peças estampadas;
- Certificar-se de que o sistema de limpeza Cross Jet esteja em funcionamento;
- Efetuar a inspeção a cada troca de turno das lentes de proteção, bico de contato e conduíte.
- Verificar o sistema de refrigeração da cabeça de brasagem;
- Verificar o foco do laser em todos os trechos onde o arame será brasado, fazendo o ajuste se necessário e corrigindo a trajetória do robô;
- Conferir o desgaste das roldanas de tração do alimentador;
- Conferir o desgaste das roldanas do sistema Control Wire;
- Verificar a existência de deformações na superfície do arame que será substituído;
- Inspeccionar as folgas da junta de brasagem com o uso de calibre mantendo o limite inferior de 0,05mm e superior de 0,2mm;
- Inspeccionar o cabo de corrente da máquina Hot Wire;
- Inspeccionar a umidade das cavidades;
- Inspeccionar as lâmpadas excitatrizes;
- Inspeccionar a fibra óptica e as suas lentes de proteção;
- Aferição anual dos geradores para garantir que a potência real seja igual à potência indicada.

## 9 CONCLUSÕES

Após entender as necessidades dos clientes internos que sofriam com as falhas de porosidade e cordões interrompidos na união do teto com as laterais, foi possível estratificar quais regiões apresentavam maiores índices de falhas. Desta forma foi possível montar uma estratégia de investigação das possíveis causas e definição das correções no processo.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que os ajustes realizados para garantir as folgas corretas nas juntas de brasagem foram eficazes, não tendo sido detectada a descontinuidade do tipo falta de material de adição durante o período de acompanhamento após a implementação das ações de correção, tendo ocorrido também a diminuição na incidência de porosidades com a correta secagem dos resíduos de óleo e poeira das peças a serem brasadas.

Conclui-se também que as ações de programação da trajetória do robô juntamente com o ajuste do foco do laser foram fundamentais para a garantia de aplicação da máxima potência do laser sobre o metal de adição.

A troca dos consumíveis bico de contato, lente de proteção e conduíte restabeleceram a condição de trabalho ideal da cabeça de brasagem, tendo sido aumentada a vida útil do conduíte pela diminuição de trocas de bobinas, o que reduziu o setup de máquina.

A aferição do gerador laser permitiu fazer correções nos parâmetros, diminuindo a potência aplicada e produzindo cordões de ótima qualidade conforme comprovado nos ensaios destrutivos.

O trabalho realizado superou o objetivo inicial, atingindo o resultado de 60,13% de redução nos apontamentos de falhas por veículo, sendo possível chegar à conclusão de que a técnica adotada para a eliminação das causas geradoras das descontinuidades é eficaz, podendo ser aplicada novamente para maximizar os resultados.

## **10 TRABALHOS FUTUROS**

Para atingir maiores resultados na diminuição de custos e otimização da brasagem a laser das carrocerias, uma nova rodada de estudos poderá ser realizada, afinando ainda mais os ajustes realizados com a avaliação do comportamento das demais regiões dos cordões brasados, podendo ser este o objeto de estudo de um próximo trabalho para a melhoria contínua.

## 11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGNATO, Vanderlei S. **Os Fundamentos da Luz Laser**. Site da Internet. Disponível em: < <http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/apoio/textos/a02.pdf>>. Acesso em 10 mai. 2013.

BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Brasagem, Soldabrasagem e Soldagem Branda**. Site da Internet. Disponível em: < [ftp://ftp.demec.ufmg.br/lrss/ProcessosSoldagem\\_Pos/TEXTOS/17Texto\\_Soldabrasagem.pdf](ftp://ftp.demec.ufmg.br/lrss/ProcessosSoldagem_Pos/TEXTOS/17Texto_Soldabrasagem.pdf)>. Acesso em 15 jun. 2013.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre: Editado pelo autor, 1996.

OKIMOTO, Paulo César. **Soldagem, TM 116**. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM254/Aula3.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2013.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Cp e Cpk – Índices de Capacidade de um processo**. Disponível em <[www.citisystems.com.br/cpk-indice-capacidade-performance-processo/](http://www.citisystems.com.br/cpk-indice-capacidade-performance-processo/)>. Acesso em: 22 set. 2013.