

APLICAÇÃO DO ENSAIO POR ULTRASSOM NO CONTROLE DE QUALIDADE DE PROCESSO DE SOLDAGEM A PONTO EM OPERAÇÃO INDUSTRIAL

Miguel Afonso Sellitto¹
Rafael Antunes Moraes²

RESUMO

O objetivo deste artigo foi testar a viabilidade de substituir ensaios destrutivos por ensaio por ultrassom nas operações de controle de qualidade no processo de solda a ponto por resistência em uma empresa da indústria automotiva. O método de pesquisa foi o experimento. A unidade de análise foi uma empresa situada no Complexo Industrial Automotivo de Gravataí. Foram comparados os resultados de ensaios destrutivos e ensaios não-destrutivos baseados em ultrassom. Foi usada a análise de correlação matemática para comparar o comportamento de parâmetros de soldagem selecionados para o teste. Foram calculadas as correlações entre ultrassom e macrografia para o diâmetro do ponto de solda e para a indentação do ponto de solda. A primeira rodada de testes não foi bem sucedida. Após ajustes na metodologia de testes, chegaram-se a correlações elevadas, acima de 80%, o que deu suporte científico para a adoção do ultrassom como método de inspeção. A eliminação dos ensaios destrutivos resultou em ganhos financeiros, de qualidade, ambientais e ergonômicos. Eliminaram-se cerca de 570kg por dia de geração de sucata, reduziram-se cerca de R\$ 80.000 de custo dos testes por dia, houve melhoria da imagem com a montadora de veículos, pela redução de defeitos e retrabalhos e expressiva redução de ruídos e de esforço físico de trabalhadores.

PALAVRAS-CHAVE: ULTRASSOM. MACROGRAFIA. ENSAIO NÃO-DESTRUTIVO. INSPEÇÃO. SOLDA POR RESISTÊNCIA.

1. Doutor, *e-mail*:
sellitto@unisinovos.br
2. Graduado, *e-mail*:
rafael.morais01@
hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa atualmente a sexta posição mundial na fabricação de veículos automotores. Em 2011, foram produzidos 3.408 milhões de automóveis. O mercado interno possui potencial de expansão, pois são 6,1 veículos por habitante, o que faz com que a nação ocupe a décima sexta posição mundial em densidade veicular, cujas lideranças são respectivamente: China, Japão, Estados Unidos, Alemanha e Coréia do Sul (ANFAVEA, 2012). Tais dados demonstram o alto volume e o potencial de crescimento que o mercado automobilístico brasileiro ostenta, estimulando pesquisas para a proposição de novas técnicas de manufatura e o aperfeiçoamento das existentes. Uma dessas técnicas que pode e deve ser aperfeiçoada é o controle de qualidade da solda por resistência a ponto por Ensaios Não-Destrutivos (END) (WEINER, 2005).

O PROCESSO DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA A PONTO BUSCA A UNIÃO DE DUAS OU MAIS CHAPAS COMPOSTAS POR METAIS OU NÃO METAIS, POR APLICAÇÃO DE CALOR E PRESSÃO, OU SOMENTE PRESSÃO, ADICIONANDO OU NÃO METAL DE ADIÇÃO. (AWS, 1997).

O processo de solda a ponto por resistência é contínuo, podendo ser realizado de forma manual ou automática, por operador humano ou robótico. (SANTOS, 2006).

Algumas das prioridades em processos industriais contínuos são o rendimento da linha de fabricação (SELLITTO, 2002) e a qualidade do produto acabado (VIDOR; FOGLIATTO, 2013). Na indústria automotiva, ambos são influenciados pelo desempenho em processos de soldagem. Tais processos podem ser monitorados por parâmetros de soldagem, que são calculados tendo por base a espessura da chapa, os materiais a serem soldados e o acabamento superficial desejado. Tais parâmetros são: tempo de solda, intensidade de corrente e força entre eletrodos (FURLANETTO, 2009). Tanto para operadores humanos quanto para operadores robóticos, controles de qualidade são necessários no processo. A detecção de falhas no processo de solda pode ser por inspeção amostral ou 100% (SANTOS, 2006). A qualidade de um ponto de solda é verificada pela medição de características de qualidade, através do diâmetro e da indentação do ponto de solda (GM, 2006).

Existem diferentes formas para a inspeção da qualidade da solda por ensaios não destrutivos, tais como o raio x, ultrassom, entre outros (STOCCO; BATALHA, 2010). Até recentemente, os métodos existentes baseados em ultrassom não conferiam o diâmetro do ponto de solda, apenas a fixação do ponto. Esta característica é devida ao fato de o modelo de transdutor empregado ser o modelo de simples elemento. Na última década, um novo tipo de transdutor foi desenvolvido em conjunto entre uma montadora de automóveis e uma universidade do Canadá. Trata-se do transdutor B-Scan, ou matricial. A técnica de ensaios de ultrassom com transdutor matricial pode ser considerada uma importante técnica na tecnologia de inspeção de solda por resistência a ponto (MAEV et al., 2000).

A técnica de ensaio por ultrassom não é novidade na indústria, mas o equipamento utilizado nos testes sim. Com este artigo pretende-se ir ao encontro de uma tendência da indústria automotiva, a utilização de ensaios não-destrutivos por ultrassom. Esse tipo de ensaio vem sendo empregado na validação do processo de soldagem em diversos produtos e áreas, tais como: naval, nuclear, petrolífera e aeroespacial. (LOPES et al., 2010).

A primeira aquisição dos equipamentos de ultrassom com transdutor matricial modelo RSW-1, na América Latina, foi realizada pela empresa em estudo no início do ano de 2011. (TESSONICS, 2013).

ESSA AQUISIÇÃO FOI DETERMINADA PELA NECESSIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM CONTROLE DE QUALIDADE MAIS RIGOROSO QUE O ATÉ ENTÃO INSTALADO PARA A SOLDAGEM DA CARROCERIA DE UM NOVO VEÍCULO A SER PRODUZIDO NO COMPLEXO INDUSTRIAL AUTOMOTIVO DE GRAVATAÍ, RS.

Mesmo após a compra, a empresa ainda realizava ensaios destrutivos em frequência definida nos planos de controle de qualidade vigentes e aprovados pela montadora de veículos. À medida que a produção do recém-lançado veículo aumentava, a realização de ensaios destrutivos passou a representar custo elevado de refugo. Para isso, optou-se por apresentar uma proposta ao cliente de eliminação gradual dos ensaios destrutivos, fundamentada em um estudo de correlação entre a macrografia e o uso do ultrassom. Nesta pesquisa, os conjuntos soldados são módulos de carroceria de veículo. Após o controle, ainda existe uma montagem final.

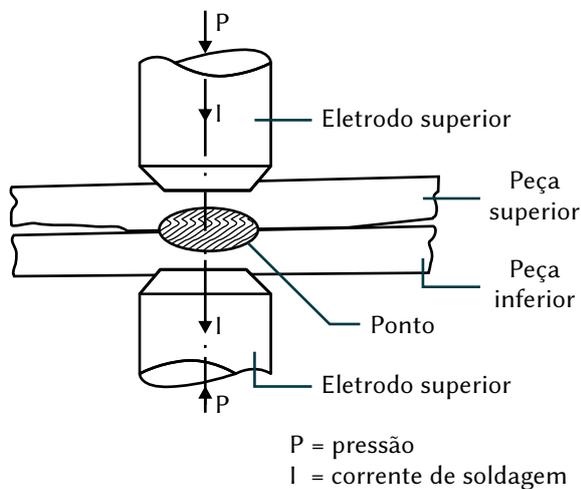
Com a eliminação de ensaios destrutivos, a redução de custo de geração de sucata foi substancial, atingindo cerca de um milhão de reais por ano, contabilizando apenas os conjuntos que eram sucateados por este ensaio. Em relação à qualidade, a detecção é mais rápida, porque o tempo de ensaio é menor e, assim, foi possível reduzir a frequência de inspeção. Tem-se a garantia de inspeção dos lotes antes do envio para o cliente, não ocasionando mais reclamações formais e pagamento de carrocerias inteiras por falhas. Ergonomicamente, não há mais riscos de afastamento de operadores por lesões repetitivas relacionadas à operação com o martetele – equipamento utilizado no ensaio destrutivo por arrancamento, gerando o chamado efeito óbvio agudo. Efeito óbvio agudo é a desordem traumática que ocorre sempre que o nível de força exercida abruptamente é consideravelmente superior à capacidade do indivíduo. (VARGAS; PILATTI, 2012).

O objetivo deste artigo é testar a viabilidade de substituir ensaios destrutivos por ensaio por ultrassom nas operações de controle de qualidade no processo de solda a ponto por resistência em uma empresa da indústria automotiva. O método de pesquisa foi o experimento. Os objetivos específicos foram: especificar parâmetros de solda a serem comparados entre os dois métodos de teste; fazer testes comparados entre os dois métodos; concluir a respeito e avaliar os ganhos obtidos. O método de trabalho foi: por revisão teórica, especificando os parâmetros do experimento; fazer o experimento; por correlação matemática, analisando criticamente os resultados e corrigindo o experimento; concluir e calcular os benefícios potenciais que o resultado do experimento pode gerar. O restante do artigo está organizado em: revisão, metodologia, resultados, discussão e considerações finais.

2 O PROCESSO DE SOLDA A PONTO POR RESISTÊNCIA E TIPOS DE ENSAIOS

Solda a ponto é o processo de soldagem em que a união de chapas é realizada sem adição de consumíveis. O termo solda por resistência provém de uma propriedade elétrica, chamada resistência elétrica, que dificulta a passagem do fluxo de corrente elétrica no metal a ser soldado, promovendo a geração de calor. A resistência ao fluxo de corrente é a fonte geradora de calor na soldagem por resistência. Um par de eletrodos aplica uma força de compressão entre as chapas, evitando o escoamento da massa metálica em fusão. (INTERMACHINERY, 2003). A figura 1 ilustra o processo.

Figura 1: Princípio de funcionamento da solda por resistência



Fonte: Weiner (1992)

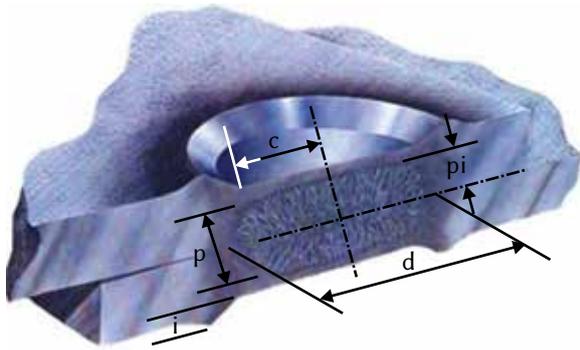
A qualidade do processo de soldagem por resistência a ponto está associada a parâmetros que devem ser controlados e têm influência direta na fusão dos materiais. (FURLANETTO, 2009).

Os três principais parâmetros são: tempo de solda, intensidade de corrente e força entre eletrodos. Na especificação do processo de soldagem, devem ser considerados a espessura da chapa, o material a ser soldado e o acabamento superficial desejado. (SANTOS, 2006).

O tempo de soldagem é compreendido entre o início e o término da passagem da corrente elétrica. O tempo de solda orienta-se, em primeiro lugar, pela espessura das chapas a serem soldadas: quanto mais espessas, maior será o tempo requerido. O tratamento superficial também exerce influência no tempo de soldagem: quanto maior o tempo, maior será o poder de fusão. A intensidade da corrente de soldagem aquece a área dos metais até a temperatura de fusão dos materiais comprimidos pelos eletrodos. Quanto maior a corrente elétrica, maior a área aquecida e maior será a poça de fusão. A força entre eletrodos no momento da solda é necessária para que se tenha uma junção adequada das chapas a serem soldadas. Essa força é responsável pela resistência elétrica de contato entre as chapas soldantes. Essa resistência determinará a qualidade da solda, pois seu valor influencia diretamente na quantidade de calor gerado na região de formação do ponto de solda. (SANTOS, 2006).

Um ponto de solda é inspecionado por algumas características, cujas especificações podem variar segundo as normas internas de cada empresa. A figura 2 exemplifica as características de controle em um ponto de solda típico.

Figura 2: Caracterização de um ponto de solda



i = Indentação do ponto
p = Penetração do ponto (altura)
c = Centralização do ponto
pi = Penetração individual
d = Diâmetro do ponto

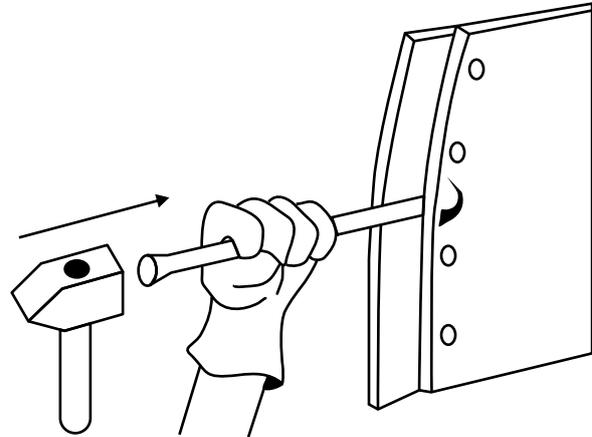
Fonte: Furlanetto (2009)

PARA VERIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES IDENTIFICADAS NA FIGURA, DIVERSOS MÉTODOS DE CONTROLE PODEM SER UTILIZADOS. DE FORMA GERAL, É POSSÍVEL CLASSIFICÁ-LOS COMO DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS. (STOCCO; BATALHA, 2010).

Como método destrutivo, tem-se a macrografia e o ensaio de arrancamento do ponto. O arrancamento é o método mais utilizado na indústria por ser mais simples e rápido que a macrografia, mas é mais impreciso porque subtrai características do ponto de solda devido a deformações que a própria chapa sofre após o ensaio. O teste de arrancamento consiste em submeter o ponto de solda a um efeito de tração, posicionando ao lado do mesmo uma talhadeira e realizando golpes com o auxílio de uma marreta até que as chapas se desprendam (CALDAS, 2012). É um ensaio caro, porque a peça ensaiada deve ser sucateada.

Não é possível trabalhar de forma preventiva no controle da qualidade deste processo. O arrancamento pode ser observado na figura 3.

Figura 3: Arrancamento do ponto de solda



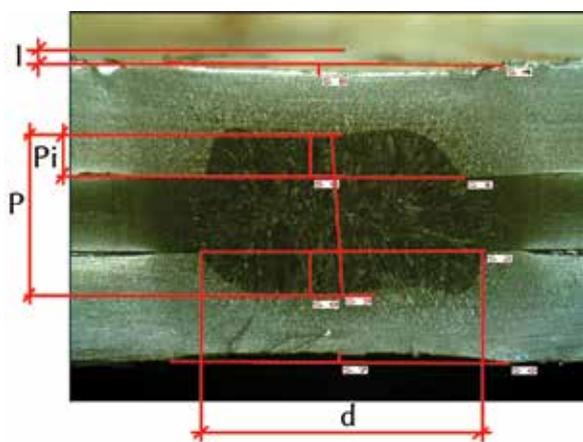
Fonte: Stocco e Gonçalves (2006)

OUTRO TIPO DE ENSAIO DESTRUTIVO É A MACROGRAFIA DO PONTO DE SOLDA. COM ESTE ENSAIO, É POSSÍVEL MEDIR TODAS AS CARACTERÍSTICAS QUE QUALIFICAM UM PONTO DE SOLDA POR RESISTÊNCIA, POR MEIO DE UM CORTE TRANSVERSAL NO PONTO DE SOLDA.

O ensaio permite analisar indentação (I), penetração individual (Pi), penetração (P), diâmetro (d) e discontinuidades internas no ponto em análise. Indentação do ponto de solda é a redução na espessura das chapas na região do ponto, criando uma profundidade na superfície da chapa soldada, que é gerada pela pressão dos eletrodos durante o processo de soldagem. (BATISTA, 2011).

A figura 4 ilustra o ensaio e a figura 5, a indentação.

Figura 4: Imagem ensaio de macrografia



Fonte: Gestamp Paraná (2013)

Figura 5: Indentação na superfície da chapa soldada criada pela pressão durante a soldagem



Fonte: Batista (2011)

2.1 Ultrassom

Um tipo de ensaio de interesse para este artigo é o ensaio por ultrassom. O motivo da importância do ultrassom é o seu largo uso na indústria automotiva.

EM ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS, PODE-SE USAR ULTRASSOM, POIS ESTE TAMBÉM PERMITE REALIZAR A ANÁLISE DA ESTRUTURA DO PONTO DE SOLDADA. (SANTOS, 2006).

Para que se entenda o conceito de ultrassom, parte-se do conceito de som. O som é uma forma de energia e surge devido a aumentos e reduções periódicas da densidade do ar, compressão e rarefação. Os princípios e conceitos básicos do som podem ser explicados pelo efeito piezoeletrico. Em 1880, Pierre Curie concluiu que os cristais anisotrópicos desenvolvem cargas elétricas quando submetidos a deformações mecânicas. Aplicando cargas mecânicas nas duas faces opostas de uma lâmina de cristal de quartzo, ocorre a formação de cargas elétricas com sinais contrários nessas faces. O processo é reversível. Aplicando tensão, o cristal contrai-se ou expande-se e, aplicando uma tensão alternada, a superfície do cristal oscila para cima e para baixo, com um ritmo igual, produzindo uma onda ultrassônica (STOCCO; GONÇALVES, 2006). A frequência sonora de ultrassom usada no teste de materiais é imperceptível à audição humana, localizando-se na faixa de 0,5 a 25 mhz (LEITE, 1977).

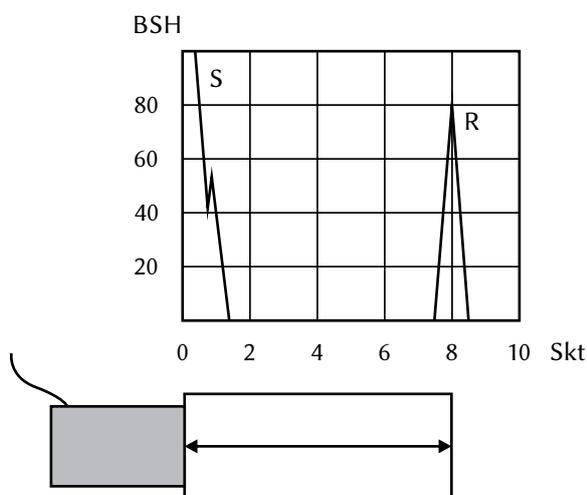
NO PROCESSO DE SOLDAGEM, O ENSAIO DE ULTRASSOM É UTILIZADO DESDE A DÉCADA DE 60, PARA A REALIZAÇÃO DE INSPEÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS. (LOPES ET AL., 2010).

Um feixe ultrassônico, com características compatíveis com a estrutura do material a ser ensaiado, é inserido em direção favorável à descontinuidade (interface entre as chapas). Se refletido pela descontinuidade, será mostrado na tela do aparelho com um pico, denominado eco (MOREÉ, 2004), exibido na tela do equipamento por gráficos. A identificação de descontinuidades se baseia na interpretação da série de sinais, originados da peça em análise.

Na técnica de impulso-eco, o transdutor emite um sinal ultrassônico perpendicular ao material, sendo medidos o tempo de propagação e a intensidade do eco vindo do material. O tempo decorrido entre a emissão do impulso e a recepção do eco pode ser convertido em distância entre o cabeçote de controle e a superfície refletora. A intensidade (altura do eco) é influenciada pelo tamanho, pela posição e pela forma da superfície refletora. (STOCCO; BATALHA, 2010).

Distância e intensidade podem ser visualizadas graficamente. Ao posicionar o transdutor sobre a superfície de medição do material a ser ensaiado, um sinal sonoro é emitido e percorre a espessura do componente até atingir uma descontinuidade, refletindo o som. A descontinuidade é representada na tela do equipamento. Em regiões em que o feixe sonoro é emitido e o material em análise não apresente descontinuidades, serão representados na tela apenas o eco de impulso de transmissão S e a superfície final R. As amplitudes entre estes dois representam a espessura no ponto de medição, conforme figura 6. (ALICH, 2006).

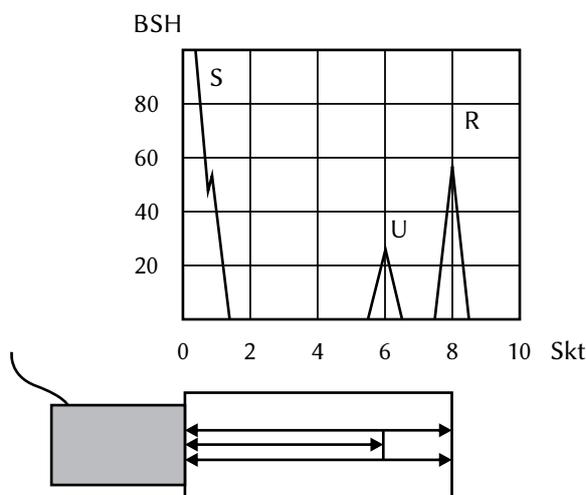
Figura 6: Imagem ultrassônica sem descontinuidade



Fonte: Alich (2001)

Se a região em análise apresentar descontinuidade perpendicular à emissão do eco de impulso S e o eco de superfície final R, esta será apresentada na tela como eco de descontinuidade U. Interpretando graficamente a distância da amplitude do eco de impulso de transmissão S até a amplitude do eco de descontinuidade U, pode-se identificar a distância entre a superfície e a falha.

Figura 7: Imagem ultrassônica com descontinuidade

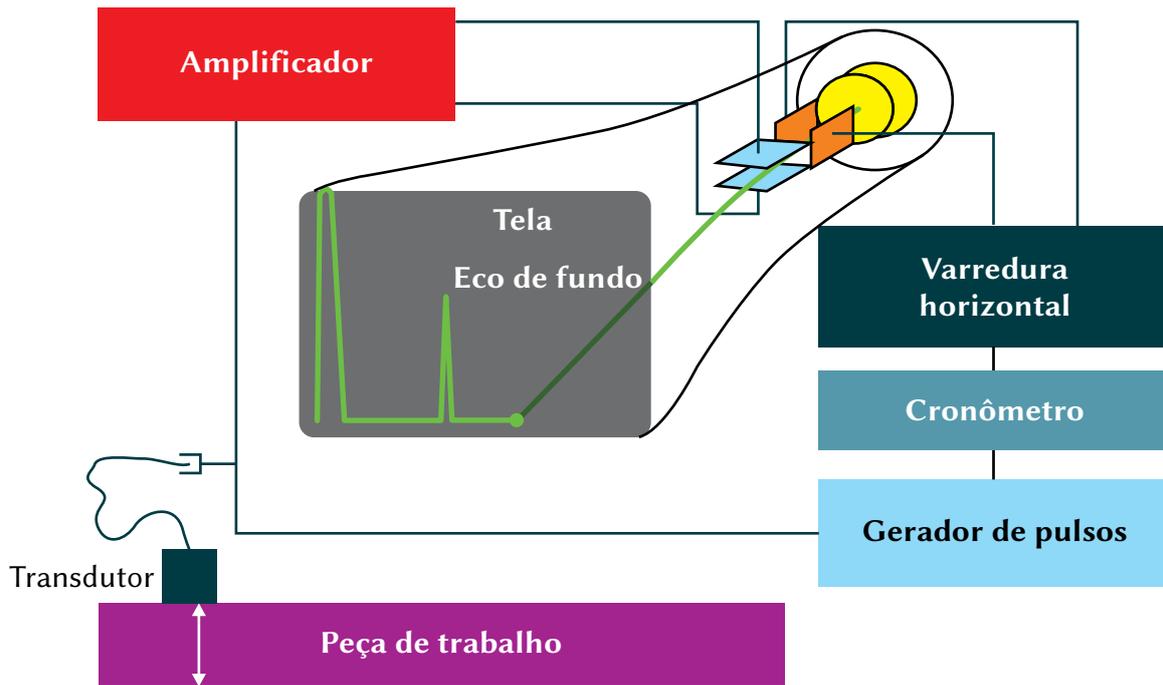


Fonte: Alich (2001)

2.2 Transdutor para ultrassom: o transdutor A-scan

O funcionamento do transdutor A-scan baseia-se na identificação de descontinuidades internas no ponto de solda em análise. Essas descontinuidades são expressas por meio de forma gráfica no *display* do aparelho. (STOCCO, 2010). A figura 8 ilustra o princípio deste equipamento.

Figura 8: Estrutura esquemática de um aparelho analógico de controle ultrassônico



Fonte: Stocco (2010)

Por meio de um gerador de impulsos, uma sucessão rápida de curtos impulsos elétricos é ativada no transmissor, gerando impulsos sonoros (impulsos de transmissão S).

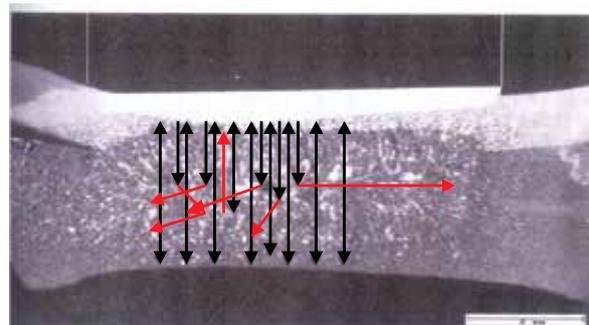
OS IMPULSOS ACÚSTICOS QUE VOLTAM DA PEÇA DE TRABALHO SÃO CONVERTIDOS PELO MESMO TRANSDUTOR DE CONTROLE EM SINAIS ELÉTRICOS ANALÓGICOS E ENVIADOS PARA O AMPLIFICADOR.

O tempo de propagação e a amplitude dos vários impulsos são apresentados em um monitor. (STOCCO; BATALHA, 2010).

Por exemplo, seja um ponto de solda com microfissura. Partes das ondas sonoras serão refletidas ao transdutor, porque o tempo para a onda sonora percorrer o impulso de transmissão

S até a descontinuidade será inferior ao tempo de percorrer do impulso de transmissão S até a superfície final R. O som é exibido com intensidade variada conforme o tamanho e a posição das descontinuidades encontradas. A figura 9 apresenta um ponto de solda em vista de corte em uma análise de macrografia.

Figura 9: Distância sonora em um ponto de solda



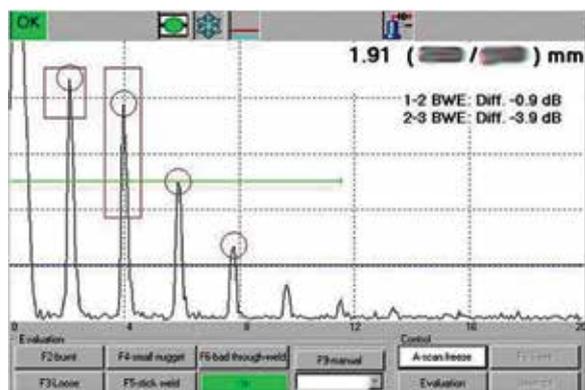
Fonte: Alich (2001)

A análise de um ponto de solda por resistência em um equipamento de ultrassom com transdutor do tipo A-scan é realizada por interpretação indireta e atributiva, porque o ponto é apenas classificado como bom ou ruim.

ESSA CLASSIFICAÇÃO É SUFICIENTE PARA O CONTROLE DE PROCESSO SEM ENSAIOS DESTRUTIVOS, MAS NÃO AJUDA NA PREVENÇÃO DE FALHAS, POIS NÃO APRESENTA DADOS QUANTITATIVOS DAS PROPRIEDADES DE UM PONTO DE SOLDA.

A figura 10 exemplifica o ensaio em um ponto de solda por resistência. A sequência de ecos múltiplos da espessura da união, sem ecos intermediários e com atenuação sonora uniforme, apresenta um resultado provocado pela formação bainítica no caso de aços de baixo carbono na região fundida, propiciando uma grande atenuação. São esperados de cinco a oito ecos múltiplos até a atenuação completa do pulso inicial. (STOCCO; BATALHA, 2010).

Figura 10: Imagem ultrassônica representando um ponto de solda aprovado



Fonte: Welding Science (2012)

A desvantagem deste tipo de ensaio são a complexidade das formas de ondas obtidas e a interpretação delas, que pode ser complexa e demandar tempo excessivo, incompatível com os fluxos produtivos típicos de uma linha de montagem da indústria automotiva: corre-se o risco de perda de produtividade em caso de ensaios não-imediatos. (AURES, 2006).

2.3 Transdutor matricial B-scan

Ensaio de ultrassom com transdutor matricial são importantes referenciais em tecnologia de inspeção de solda por resistência a ponto. (MAEV et al., 2000). A maior diferença em relação ao transdutor de simples elemento se resume à evolução do software gráfico, o que facilita bastante a interpretação do resultado. Em vez de uma simples varredura mecânica, o sinal percorre uma matriz de pequenos transdutores. Cada elemento desta matriz recebe e envia sinais independentes, coletando, assim, a informação estrutural da amostra detectada por aquele elemento específico. (DENISOV, 2004). A figura 11 ilustra este tipo de transdutor.

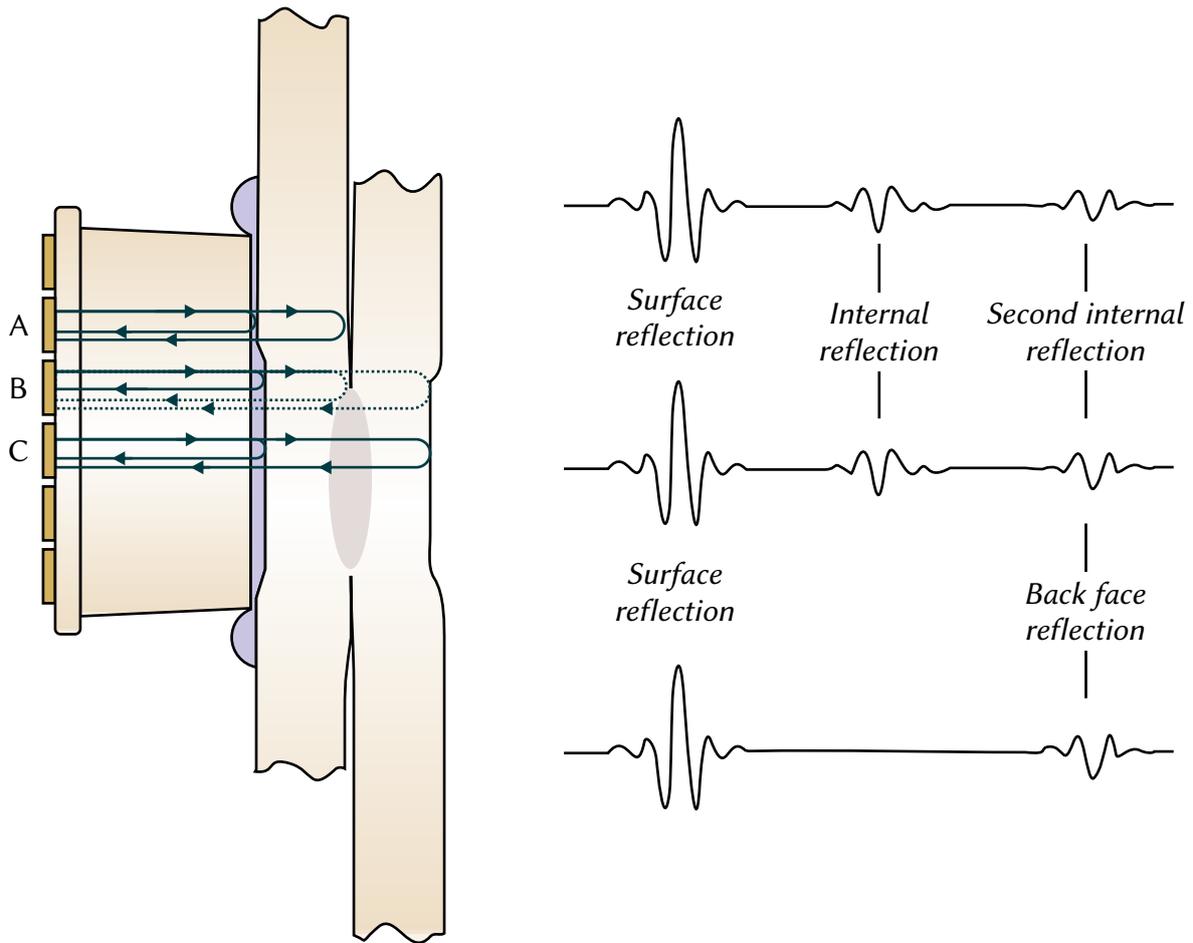
Figura 11: Transdutor matricial



Fonte: Denisov (2004)

Com o funcionamento combinado de múltiplos sensores, é possível construir uma imagem interna do ponto de solda a uma determinada profundidade (MAEV et al., 2000). A figura 12 ilustra o princípio de funcionamento desta matriz.

Figura 12: Representação do percurso sonoro na amostra e do sinal correspondente

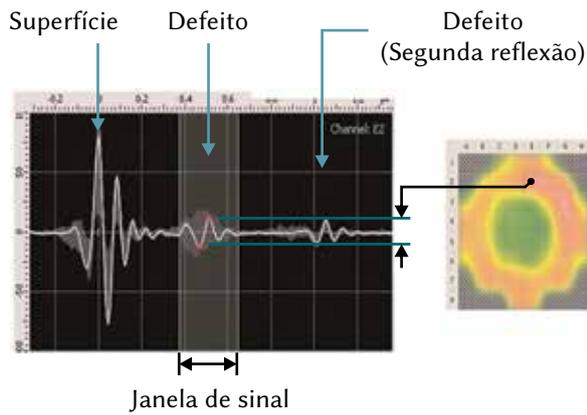


Fonte: Denisov (2004)

Observando a figura 12, conclui-se que as reflexões sonoras em A e B amplificam os ecos iniciais e finais apontando a existência de discontinuidades. Nota-se que C não possui amplificação sonora intermediária, apontando um ponto de solda sem discontinuidades. Utilizando um ultrassom com transdutor matricial, é possível conhecer, de forma automática, o diâmetro da região fundida, sem a necessidade de realizar ensaio destrutivo. A interpretação dos resultados passa a ser de forma direta, sem a necessidade de interpretações gráficas.

A figura 13 elucidada como é realizada a leitura de um ensaio utilizando a imagem A-Scan (à esquerda) em conjunto com B-scan (à direita). O princípio de interpretação dos resultados demonstrados no gráfico A-scan continua sendo o mesmo, quando comparado com o transdutor de simples elemento. A atenuação indicada em “superfície” é a emissão do eco de impulso, a faixa que indica defeito possui dois intervalos denominados como “gate de medição”. A figura ilustra a janela de sinal e a terceira atenuação representa a superfície final.

Figura 13: Imagem A-Scan trabalhando de forma associada com B-Scan

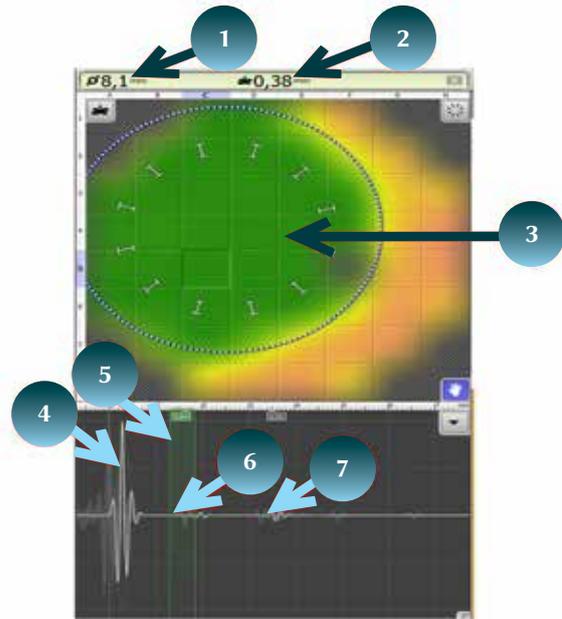


Fonte: Denisov (2004)

Com a combinação de algoritmos, este tipo de equipamento permite gerar uma estimativa automática do diâmetro do ponto de solda, que é parâmetro mais importante no controle de qualidade deste processo. (STOCO, 2003).

A figura 14 ilustra a tela a ser conferida por um inspetor de soldagem após o ensaio de um ponto de solda por resistência. Destacam-se as sete interpretações fundamentais para a qualificação de um ponto de solda por resistência que um inspetor deve conhecer.

Figura 14: Display Ultrassom Tessonics



Fonte: Welding Science (2012)

O quadro 1 sintetiza as indicações da figura 14.

Quadro 1: Interpretação dos resultados de ensaio de um equipamento típico

Item	Característica e unidade	Descrição	Especificação
1	Diâmetro do ponto, mm.	Valor utilizado para classificar o diâmetro do ponto de solda encontrado, diâmetro mínimo.	Conforme programa de cada conjunto.
2	Indentação, mm.	Valor utilizado para avaliar a redução de espessura resultante do ponto de solda.	Conforme programa de cada conjunto.

Item	Característica e unidade	Descrição	Especificação
3	Representa o ponto de solda e a zona afetada pelo calor (ZAC), cores.	Através das cores pode-se interpretar o ponto de solda, suas discontinuidades e regiões afetadas pelo calor.	Verde escuro: ponto bem caldeado, fundido. Verde fraco: ponto mal caldeado, baixa penetração da solda. Verde com manchas amarelas: presença de microfissuras. Cinza: ar. Rosa escuro: metal afetado pelo calor. Rosa claro: metal não afetado pelo calor. Amarelo no contorno do ponto: expulsão do zinco.
4	Amplificação sonora de entrada, Hz.	Certifica que o transdutor foi corretamente posicionado.	De 1,5 a 2 pontos para cima e para baixo.
5	Valor da espessura da primeira chapa.	Valor da espessura encontrada da primeira chapa.	Especificado conforme cada programa.
6	Gate de medição (sem unidade).	Intervalo em que demonstra a existência de ecos secundários.	Um ponto caldeado não pode apresentar ecos secundários.
7	Amplificação sonora de saída, Hz.	Certifica que o transdutor foi corretamente posicionado.	De 0,25 a 0,5 pontos para cima e para baixo.

Fonte: Tessonics (2013)

O INSPETOR SE TORNA IMPORTANTE ATOR PARA A ACURACIDADE DA INSPEÇÃO E A PADRONIZAÇÃO DOS ENSAIOS.

Entre as ferramentas oferecidas por este modelo de equipamento pode-se citar: *login* com senha individual para cada inspetor, possibilidade de criar programas para cada conjunto

soldado, demonstração estatística dos resultados e geração de relatórios de ensaio (TESSONICS, 2013). Com a programação, elimina-se a necessidade de mapear um conjunto soldado para a realização do ultrassom. Isso ocorre porque o equipamento permite que sejam inseridas imagens dos conjuntos, com a posição dos pontos de solda, e as suas respectivas especificações de diâmetro, indentação e combinação de espessura. No momento em que o inspetor seleciona o código do conjunto, os pontos a

serem ensaiados são apontados para o inspetor. Os programas são criados em um computador e exportados para o ultrassom. Todos os dados relacionados ao equipamento ficam num banco de dados único da empresa, conseqüentemente, ao atualizar a programação, sempre será inserida a última revisão. Para a realização da programação é necessário baixar do site do fabricante um programa específico, denominado “*designer*”. Com este programa, é possível criar rotinas de

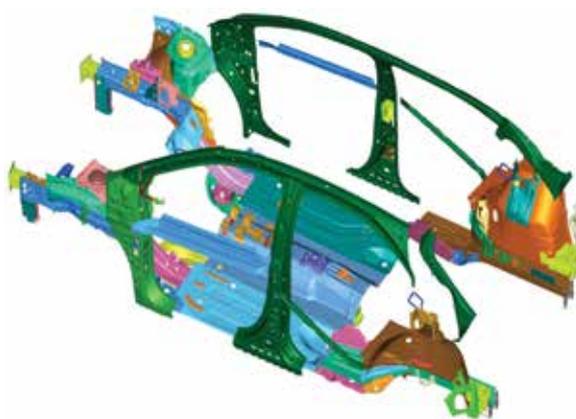
ensaio para diversos conjuntos e *login* com senha para os inspetores. Cada inspetor poderá ter um nível de acesso definido pelo administrador. Outro recurso oferecido pelo equipamento é a análise estatística dos ensaios, que permite selecionar um conjunto e avaliar sua *performance* em um dado período, por métodos gráficos e cartas de CEP eletrônicas. Relatórios podem ser exportados com extensão .xls ou .pdf, com imagens dos pontos ensaiados.

3 A PESQUISA: ESTUDO DE CASO

A Gestamp é uma multinacional espanhola do ramo automotivo, atualmente conta com 93 plantas instaladas e distribuídas entre 19 países. A Gestamp Gravataí iniciou suas atividades no Complexo Industrial Automotivo General Motors em fevereiro de 2006 com a aquisição da sistemista Polyprom, incrementando as operações locais com ampliação das atividades e fabricação de novos componentes. Atualmente, a empresa conta com uma área construída de 16.000m², suas instalações anteriores eram de 6.000m². A ampliação é resultado do início da fabricação de novos produtos, devido ao lançamento de dois novos carros do cliente principal – a GM. Entre os principais produtos produzidos, é possível citar os conjuntos soldados: caixa de roda dianteira, longarina dianteira, longarina traseira, caixa de roda traseira, assoalho dianteiro, suporte lanterna traseira, reforço da coluna traseira, coluna “A” e coluna “B”.

Todos os produtos citados anteriormente são resultado de um conjunto de estampados montados por meio do processo de solda por resistência. A figura 15 ilustra que a montagem dos conjuntos resulta na carroceria de um veículo.

Figura 15: Conjuntos formando a carroceria

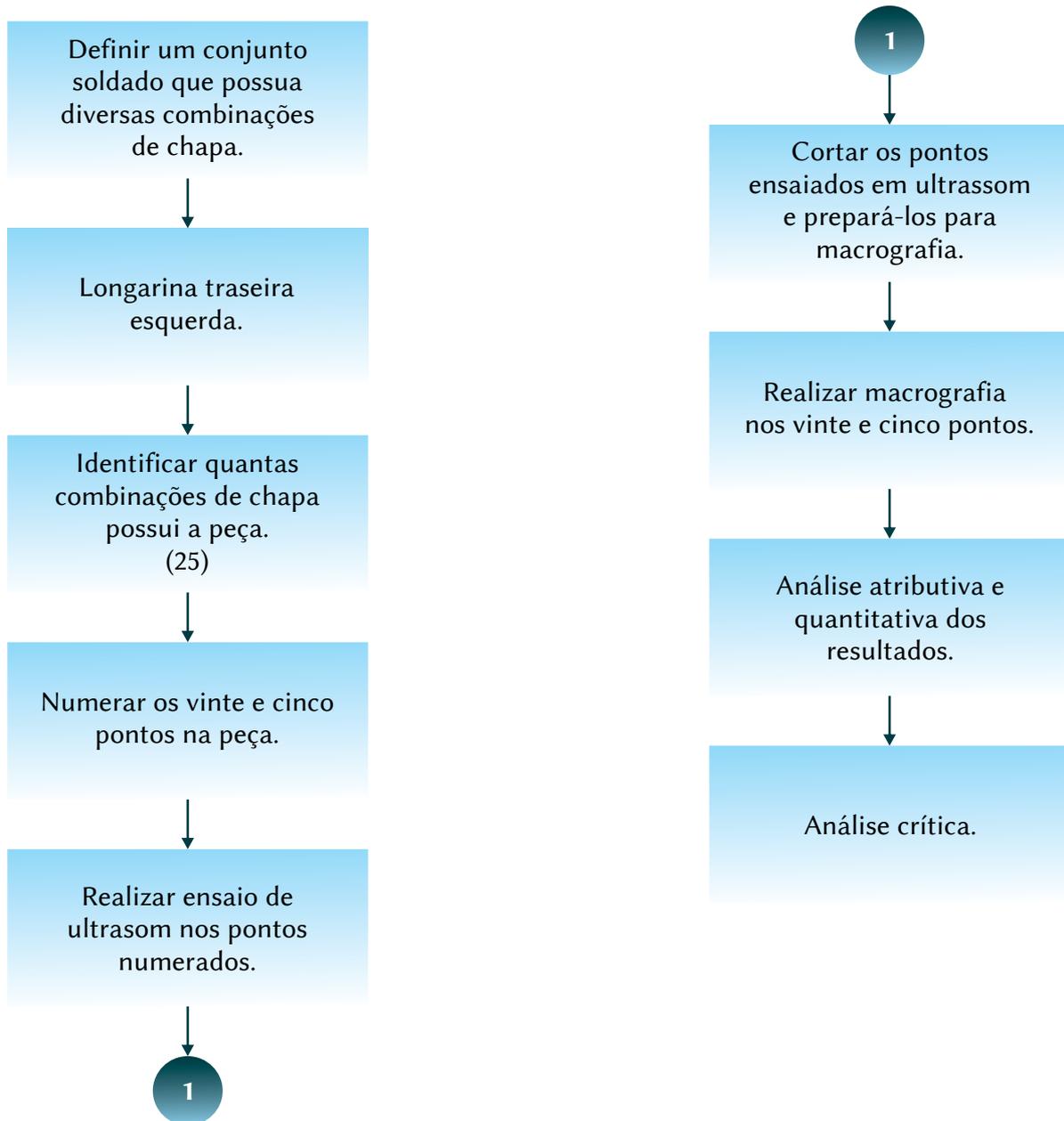


Fonte: Gestamp Paraná (2013)

A montagem da carroceria do veículo é feita em linha, tendo emprego de 118 robôs industriais para a aplicação de 1498 pontos de solda. Atualmente, a operação conta com 250 colaboradores alocados em dois turnos de trabalho, para atender a um volume médio de 300 peças/turno. A empresa possui certificações de Qualidade (ISO TS16949), ambiental (ISO14001) e os sistemas de gestão são integrados.

O método desenvolvido é apresentado na figura 16.

Figura 16: Resumo do estudo de correlação entre macrografia e ultrassom



Fonte: Gestamp Paraná (2013)

PARA INICIAR O ESTUDO DE CORRELAÇÃO, PRECISAVA-SE DEFINIR QUAL O ENSAIO DESTRUTIVO A SER UTILIZADO COMO COMPARAÇÃO.

A empresa dispõe de recursos para trabalhar com dois tipos de ensaio destrutivos: macrografia e teste de arrancamento. Mesmo sendo um ensaio mais demorado, optou-se pela macrografia, pois tornava possível a análise quantitativa completa do ponto de solda, ao contrário do ensaio de arrancamento que apenas permite o conhecimento do diâmetro do ponto. Além disso, foi considerado que um ponto submetido ao teste

de arrancamento sofre deformações elásticas que comprometem a precisão dos dados. Outro resultado indesejado neste ensaio é a presença da segunda chapa presa ao ponto. Esta situação seria um agravante para o estudo, visto que a medição é realizada com paquímetro e a segunda chapa é um empecilho para a medição.

A figura 17 ilustra o equipamento de ultrassom utilizado no estudo.

Figura 17: Imagem do equipamento utilizado para ensaio de ultrassom



Fonte: Tessonics (2013)

Seguindo o método ilustrado na figura 16, foram correlacionadas, em uma planilha, 25 imagens dos pontos de solda ensaiados em ultrassom com 25 imagens de ensaio da macrografia com os respectivos valores de diâmetro e indentação.

Ao comparar as imagens, foi possível realizar uma análise qualitativa relativa às discontinuidades. Com os dados de diâmetro e indentação, em mm, foi feita uma análise quantitativa. Para testar a existência de correlação, aplicou-se um estudo de correlação linear simples suportado por planilha eletrônica, baseado no diagrama de dispersão. O coeficiente de correlação R varia de -1 a +1. A interpretação é apresentada na tabela 1.

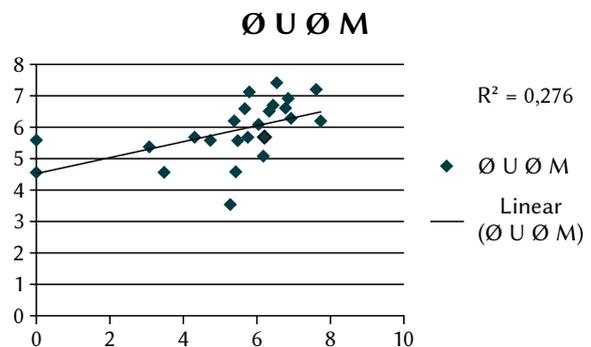
Tabela 1: Interpretação de R

Valor de R	Interpretação
$R = -1$	Correlação perfeita negativa.
$-1 < R < 0$	Correlação negativa.
$R = 0$	Correlação nula.
$0 < R < 1$	Correlação positiva.
$R = 1$	Correlação perfeita positiva.
$0,2 < R < 0,4$	Correlação fraca.
$0,4 < R < 0,7$	Correlação moderada.
$0,7 < R < 0,99$	Correlação forte.

Fonte: Adaptado de Bussab (1988)

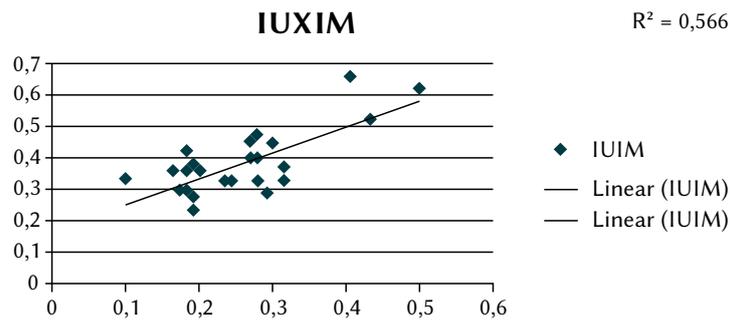
As figuras 18 e 19 apresentam, respectivamente, as correlações entre o diâmetro do ponto de solda e a indentação, medidos por macrografia e por ultrassom. Com base na tabela 1, é possível afirmar que existe correlação positiva fraca entre os diâmetros e correlação positiva moderada entre as indentações.

Figura 18: Correlação entre ultrassom e macrografia inicial para o diâmetro do ponto de solda



Fonte: Gestamp Paraná (2013)

Figura 19: Correlação entre ultrassom e macrografia inicial para a indentação do ponto de solda



Fonte: Gestamp Paraná (2013)

As correlações encontradas foram baixas, não podendo ser classificadas como fortes, segundo a tabela 1. Foram discutidos alguns pontos críticos que poderiam ter influenciado os resultados.

- A preparação dos corpos de prova foi complexa e os recursos limitados. Por exemplo, foi preciso recortar os 25 pontos no conjunto e depois preparar os corpos de prova e esta atividade envolveu mais de uma pessoa.
- Não existia certeza se foram comparados os ensaios com as combinações de chapa no mesmo sentido. Por exemplo, há a possibilidade de ter medido num lado do ponto no ultrassom e do outro lado na macrografia.
- O diâmetro do ponto de solda por vezes não é uniforme, o que gerou dúvida a respeito da seção que o ponto foi cortado. Por exemplo, o ponto foi cortado em qualquer seção, e isso influencia no resultado da macrografia.

Com base nesta análise crítica, foi redesenhado um novo experimento. Para cada tópico abordado, definiram-se três ações, objetivando reduções de variáveis dos dados coletados:

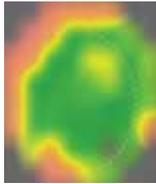
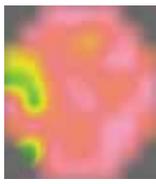
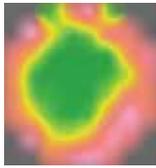
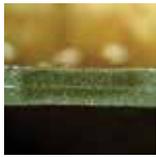
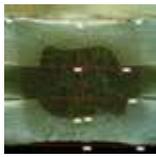
- Foram confeccionados cinco corpos de prova, com diferentes combinações de espessura de chapa, considerando as mais utilizadas nos conjuntos. Corpos de prova são mais fáceis de preparar para a macrografia. Com isso, eliminou-se a variável de preparação dos corpos de prova.
- Identificou-se o lado de cada ponto a ser ensaiado, para ter certeza que se comparou sempre o mesmo lado do ponto.
- Como o primeiro ensaio é realizado no ultrassom, foi possível identificar a maior seção do ponto antes do corte. Definiu-se como padrão marcar os pontos na maior seção. Assim, teve-se certeza de comparar sempre os diâmetros máximos.

Antes da confecção dos corpos de prova, surgiu mais uma questão. O ensaio não estava simulando falhas internas nos pontos de solda. Com auxílio de parâmetros, foi possível simular os principais defeitos que ocorrem no processo de solda ponto: ponto colado, microfissura interna e diâmetro menor.

Essas falhas foram simuladas durante a soldagem dos corpos de prova. O objetivo desta simulação foi avaliar o comportamento gráfico reproduzido pelo ultrassom de um ponto de solda reprovado na macrografia.

O quadro 2 exemplifica três situações, em que respectivamente se tem: um ponto de solda com microfissura, ponto colado e ponto bem caldeado.

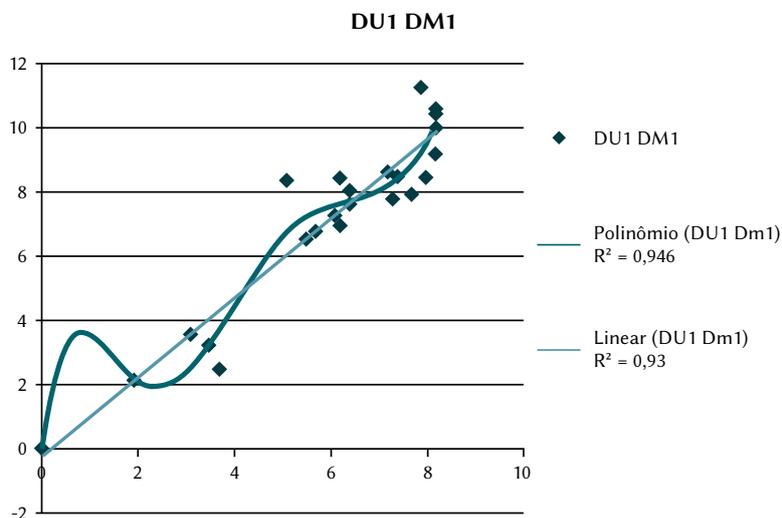
Quadro 2: Correlação entre ultrassom e macrografia, atributiva, corpos de prova

Ultrassom	Macrografia	Exemplo	Formas de detecção com o ultrassom
		Microfissura	Imagem gráfica apresentou pontos amarelos, representando a microfissura encontrada na macrografia.
		Ponto colado	Imagem gráfica apresentou rosa escuro identificando um metal que aqueceu, mas não fundiu.
		Ponto bem caldeado	Imagem gráfica apresentou um verde escuro representando um ponto bem caldeado.

Fonte: Gestamp Paraná (2013)

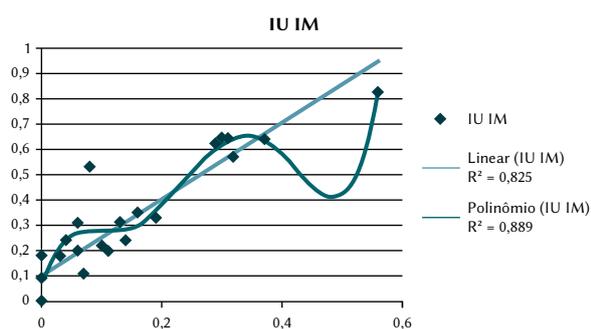
As amostras foram confeccionadas e os ensaios novamente realizados, sempre como na figura 16. Os novos valores das correlações são apresentados nas figuras 20 e 21. Segundo a tabela 1, as novas correlações são positivas fortes.

Figura 20: Correlação entre ultrassom e macrografia final para o diâmetro do ponto de solda



Fonte: Gestamp Paraná (2013)

Figura 21: Correlação entre ultrassom e macrografia final para a indentação do ponto de solda



Fonte: Gestamp Paraná (2013)

ELIMINANDO AS VARIÁVEIS LEVANTADAS NA ANÁLISE CRÍTICA, AS CORRELAÇÕES ENCONTRADAS TORNARAM-SE SATISFATÓRIAS.

Avaliou-se também o comportamento gráfico das imagens geradas pelo ultrassom, comparando aos ensaios de macrografia. Esta análise foi possível devido à simulação de diferentes falhas na soldagem dos corpos de prova. Com isso, foi possível visualizar como uma não conformidade evidenciada na macrografia surge no ensaio por ultrassom. Comprova-se, portanto, a informação fornecida pelo fabricante do equipamento conforme quadro 1, item 5.

3.1 Discussão

Os ganhos com a eliminação dos ensaios destrutivos podem ser classificados em tangíveis e intangíveis. Inicia-se pelos tangíveis.

O retorno sobre o investimento foi rápido. O equipamento de ultrassom utilizado custou cerca de R\$90.000,00, somados aos custos de treinamento e peças sobressalentes. A empresa fornece 23 conjuntos soldados, que correspondem a uma quantidade de 1.498 pontos de solda a serem inspecionados. O menor conjunto possui dois pontos de solda e o maior 230 pontos. A demanda total de ensaios por dia, considerando a realização de um ensaio por dia em cada conjunto, gera uma expectativa total de redução de 44.940 segundos de ensaio no ultrassom e 13.482 segundos de ensaio por teste destrutivo. Para se chegar a este número, calculou-se a média de um ponto no ultrassom, que é ensaiado em trinta segundos, enquanto que em um teste de arrancamento leva 90 segundos. Multiplicando-se os tempos pelo total de pontos de um conjunto a ser montado, chega-se ao valor total. Isso significa que o ensaio de ultrassom é três vezes mais rápido do que o teste destrutivo por arrancamento. Os planos de controle de processo da empresa estabelecem uma frequência de ensaio de ultrassom no início e fim de turno e uma peça destruída por dia.

O objetivo final do estudo é adotar apenas o ultrassom para a operação de detecção de falhas na solda. Para tanto, comparou-se a necessidade de mão de obra e recursos materiais para a realização dos dois ensaios, tendo como base a realização de dois ensaios por turno.

Um turno de trabalho equivale a 9 horas/dia. Subtraindo as paradas programadas, que são café e almoço, consegue-se obter o tempo líquido disponível por dia, que é de 29.700 segundos. Com base nesses dados apresentados, é possível chegar à necessidade de mão de obra para o ultrassom, como na equação a seguir.

$$\frac{\text{Demanda total ultrassom (s)} \times \text{Frequência de ensaio (por turno)}}{\text{Disponibilidade líquida (por turno)}} = \frac{44.940 \times 2}{29.700} =$$

$$= 3 \text{ conjuntos inspetor - equipamento} \quad (\text{eq. 1})$$

Para manter a frequência de dois ensaios de ultrassom por turno, tem-se a necessidade de três conjuntos inspetor-equipamento. Para os ensaios destrutivos, a necessidade é o triplo deste valor. A mão de obra excedente foi deslocada para outras atividades, evitando contratações.

Outro benefício foi o custo gerado por testes destrutivos: custo de material, mais processo envolvido na fabricação destes conjuntos. Para quatro conjuntos por dia, equivalente a dois conjuntos a cada turno, o valor total de refugo corresponde a um montante de R\$ 85.679,00 por dia, correspondendo a 576kg de material por dia de resíduos descartados.

Passa-se, agora, aos benefícios intangíveis. Em um turno de produção são feitas 300 peças. O estoque de peças prontas oscila entre o volume de um turno ao de um dia de produção, ou seja, de 300 a 600 peças. Portanto, definiu-se realizar a inspeção a cada 150 peças, o que equivale a duas inspeções em cada conjunto por turno. Com isso, se identificada alguma falha, o lote ainda estará na planta, conseqüentemente o cliente estará protegido, pois não receberá o lote problemático, e haverá tempo de reposição. Como todo ensaio é arquivado com a rastreabilidade da peça, o lote suspeito poderá rapidamente ser contido. Identifica-se a rastreabilidade da peça em que se detectou o defeito e da última peça ensaiada e, com isso, pode ser identificado todo o lote como produto suspeito. Problemas com qualidade em solda-ponto são críticos. Se identificados apenas na planta do cliente, podem ocasionar a perda por completo de toda uma carroceria, sendo este custo repassado à

empresa. Se for identificado em campo, pode gerar até mesmo a perda de assistência de um veículo, porque afeta a segurança dos ocupantes.

POR ISSO É FUNDAMENTAL UM DIAGNÓSTICO RÁPIDO E SEGURO DE CADA LOTE DE PEÇAS ENVIADO.

Como a qualidade deixou de ser um requisito e hoje é atributo intrínseco ao produto, seu retorno tornou-se intangível, pois sua falta pode afetar a sua imagem corporativa da empresa. Os volumes de produção são altos e, neste contexto, a necessidade de se ter um diagnóstico rápido e seguro de um lote produzido, antes do envio para o cliente, é vital.

OUTRO TIPO DE GANHO INTANGÍVEL DIZ RESPEITO À REDUÇÃO DE RISCOS À SAÚDE DOS TRABALHADORES.

O ensaio destrutivo é manual e desgastante, pois depende do uso da força humana. O operador segura um martelete de cerca de 3kg, posiciona a talha com um formato de fenda em meio às chapas para forçar o desprendimento das mesmas até que estas se rasguem. Existem alguns riscos ergonômicos neste ensaio, tais como ruídos, esforços repetitivos e riscos de acidente.

O ruído ocorre devido ao contato repetitivo da fenda acionada pelo martetele com a peça. Em medições realizadas com decibelímetro, constatou-se que o teste atinge 105db. Um protetor auricular comum atenua em média 20db. Portanto, o operador fica exposto a 85db, o que atinge o limite permitido para uma jornada de oito horas de trabalho por dia.

EM FUNÇÃO DO RUÍDO, EN-
SAIOS DESTRUTIVOS REQUEREM
ISOLAMENTO, GERALMENTE EM
CABINES ACÚSTICAS.

O martetele usado no teste também é prejudicial à saúde, pela excessiva vibração e repetição de movimentos, causando lesões por esforços repetitivos. Luvas e cabos especiais atenuam, mas não eliminam o risco. As peças ficam presas em morsas gerando risco ao escaparem, devido à presença de arestas cortantes dos estampados. Como as morsas sofrem constantes pancadas, precisam ser substituídas frequentemente por danificarem as roscas do eixo de aperto.

O ensaio de ultrassom, ao contrário, não necessita de força humana e sim técnica e perfil analítico apurado. A fonte de energia é por bateria elétrica, o que permite flexibilidade na utilização de campo, podendo ficar na saída dos conjuntos soldados, disposto sobre uma simples bancada. O operador de ultrassom pode trabalhar sentado, desenvolvendo poucos e leves esforços em bancada.

4 CONCLUSÕES

O objetivo deste artigo foi testar a viabilidade de substituir ensaios destrutivos por ensaio por ultrassom nas operações de controle de qualidade no processo de solda a ponto por resistência em uma empresa da indústria automotiva. O método de pesquisa foi o experimento.

Por análise de correlação entre parâmetros de processo de soldagem, concluiu-se que é possível controlar a qualidade do processo de solda a ponto por resistência por ensaio não-destrutivo, baseado em ultrassom.

Os ganhos obtidos e verificados foram:

- financeiros: liberação de seis operadores para outras atividades; redução de cerca de R\$80.000,00 reais por dia; e redução na geração de sucata de cerca de 570kg por dia;

- qualidade: tratamento imediato de problemas de qualidade, com percepção positiva do cliente final à montadora de veículos;
- ergonômicos: expressiva redução de ruídos e de esforço físico de trabalhadores. Ainda não existe uma série histórica de afastamentos que possa ser invocada para comprovar este ganho, por ora intangível.

Adicionalmente, o time de inspetores sentiu-se mais valorizado, pois a atividade de ultrassom é mais técnica e gera mais interesse de operados de produção quanto à futura ocupação destas vagas.

Como sugestão de continuidade de pesquisa, uma oportunidade ainda a ser explorada é a otimização dos ensaios de ultrassom. Trata-se de uma avaliação das combinações de chapa existentes em cada conjunto com a respectiva sequência de solda aplicada por cada robô. Um grupo de pontos considerado comum é aquele em que todos os pontos possuem as mesmas

combinações de chapa, e ainda aplicadas por um mesmo robô. Identificando esses grupos de pontos nos conjuntos de solda, poderia ser validado o ensaio no primeiro e no último ponto de cada grupo, totalizando dois ensaios por grupo de pontos. Desse modo, programas de ultrassom podem ser criados, diminuindo a demanda de ensaios.



APPLICATION OF ULTRASOUND TESTING IN QUALITY CONTROL OF SPOT WELDING PROCESS IN INDUSTRIAL OPERATION

ABSTRACT

The purpose of this article was to test the feasibility of replacing destructive testing by ultrasonic testing in quality control operations in the process of resistance spot welding in a company of the automotive industry. The research method was the experiment. The unit under analysis was a company located in the Automotive Industrial Complex of Gravataí. The results of destructive testing and non-destructive testing based on ultrasound were compared. Mathematical correlation analysis was used to compare the performance of the welding parameters selected for the test. Correlations between ultrasound and macrography of the diameter of the spot welded and of spot indentation were calculated. The first round of testing was not successful. After correction of the testing methodology, high correlations of above 80% were found, which gave scientific support for the adoption of ultrasound as a method of inspection. The elimination of destructive testing resulted in financial, quality, environmental and ergonomic gains. It was eliminated around 570 kg per day of discarded scrap, cost of testing fell by around R\$ 80,000 per day, there was an improvement in image with the carmaker, by reducing defects and rework and substantial noise reduction and physical effort of workers.

KEYWORDS: *Ultrasound. Macrography. Non-destructive testing. Inspection. Resistance welding.*

REFERÊNCIAS

ALICH, F. *Ultraschall: Prüfaufsicht - Daimler* Interne Schulungsunterlagen, Daimler-Benz: Juiz de Fora, 2001.

ANFAVEA – Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores. *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira*. ANFAVEA, 2012. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em: 01 jan. 2013.

AURES, J. *Estudo da Formação, Geometria e Resistência do Ponto na Soldagem por Resistência: Uma Abordagem Estatística*. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos). Brasília: UNB, 2006.

AWS (American Welding Society). *Welding Handbook*. Vol. 1 e 2. U.S.A., 1997.

BATISTA, M. *Estudo Comparativo da Soldabilidade de Chapas para Indústria Automotiva Utilizando dois Equipamentos de Solda a Ponto por Resistência*. 2011. 217 f. Dissertação (Mestrado em Eng. Metalúrgica e de Materiais). São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2011.

BUSSAB, W. *Análise de variância e de regressão*. São Paulo: Atual, 1988.

CALDAS, R. *Implementação da Curva de Incremento de Corrente no Processo de Solda Ponto*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica. Porto Alegre: Faculdade de Engenharia da PUCRS, 2012.

DENISOV, A. Spot Weld Analysis With 2D Ultrasonic Arrays, *Journal of Research-National Institute of Standards and Technology*, v.109, p.233-244, 2004.

FURLANNETTO, V. *Soldagem por resistência*. São Paulo: Instituto de Engenharia de São Paulo, 2004.

FURLANNETTO, V. *Treinamento Básico do Processo de Soldagem por Resistência*. São Paulo: Welding Science, 2009.

GM. *GMW 14057: Weld Acceptance Criteria and Repair Procedures Resistance Spot Welds*. Detroit: General Motors Corporation, 2006.

INTERMACHINERY. *Anais do I Seminário de Solda a Ponto*. São Paulo: Intermachinery, 2003.

KRAUTKRAMER, J.; KRAUTKRAMER, H. **Ultrasonic testing of materials**. New York: Springer-Verlag, 1977.

LEITE, P. **Ensaio Não Destrutivo**. São Paulo: ABM, 1977.

LOPES, D.; FARIAS, C.; ALBUQUERQUE, M.; OLIVEIRA, T.; SOUZA, I. Visão geral sobre a inspeção em cordões de solda através de técnicas não destrutivas ultrassônicas. **Anais do V CONNEPI - Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. Maceió, 2010.

MAEV, R.; PTHELINTSEV, A.; DENISOV, A. Ultrasonic Imaging With 2D Matrix Transducers. **Proceedings of the 25th International Acoustical Imaging Symposium**. Bristol, UK: 2000.

MORÉ, J. **Aplicação da lógica Fuzzy na avaliação da confiabilidade humana nos ensaios não destrutivos por ultrassom**. Tese (Doutorado em Engenharia metalúrgica e dos materiais). Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

MÜLLER, Rafael. **Caracterização mecânico-metalúrgica de uniões soldadas em um aço alta resistência baixa liga**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Metalúrgica). Porto Alegre: UFRGS, 2010.

SANTOS, F. **Estudo de Eficiência do Processo de Soldagem de Pontos por Resistência Elétrica utilizado na Indústria Automotiva**. 2006. 101 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Sistemas). Niterói: UFF, 2006.

SELLITTO, M. Inteligência artificial: uma aplicação em uma indústria de processo contínuo. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 3, p. 363-376, 2002.

STOCCO, D.; BATALHA, G. **Caracterização de solda por resistência a ponto através de avaliações não destrutivas**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo: EPUSP, 2010.

STOCCO, D.; GONÇALVES, R. Caracterização dos Defeitos Encontrados em Solda a Ponto Utilizando Técnica do Ultra-Som, Apoiado a Exames Metalográficos. **Anais da III Panamerican Conference for Nondestructive Test**. Rio de Janeiro: 2006.

TESSONICS. **RSWA F1: Resistance Spot Weld Analyzer**. Disponível em: <<http://www.tessonics.com/products-rswa.html>>. Acesso em: 02. abr. 2013.

VARGAS, L.; PILATTI, L. Relação entre a Força de Pressão Manual e a Circunferência do Antebraço dos Operários da Construção Civil: Estudo de Caso. **Produção Online**, v. 12, n. 4, p. 928-943, 2012.

IDOR, G.; FOGLIATTO, F. Identificação dos Tipos de Controle de Qualidade para Customização em Massa. **Produção Online**, v.13, n. 1, p. 134-161, 2013.

WEINER, E. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1992.

_____. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2005.

WELDING SCIENCE. **Análise não destrutiva do ponto de solda por ultrassom de imagem**. Manual de Treinamento. São Paulo: RSWA, 2012.

Data de recebimento: 16/07/13

Data de aprovação: 20/11/14

SOBRE OS AUTORES



Miguel Afonso Sellitto

Doutor e Mestre em Engenharia de Produção pela UFRGS. Especialista em Gestão da Qualidade pela Unisinos. Graduado em

Engenharia Eletrônica pela UFRGS. É professor de mestrado e doutorado e pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – Unisinos. Pesquisador do CNPq. Possui aperfeiçoamentos importantes em manutenção, gestão e produção na Inglaterra, Estados Unidos e Japão. Tem vinte anos de experiência executiva em grandes empresas e é consultor em manutenção, produção, estratégia e logística.



Rafael Antunes Morais

Técnico em Mecânica de Precisão, formado pelo Centro Tecnológico de Mecânica de Precisão - SENAI - CETEMP.

Engenheiro de Produção, com habilitação em Mecânica, graduado pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos. Trabalha na área de Engenharia de Processos desde 2002, em que desenvolveu suas atividades em empresas como: Springer Carrier, DHB - Componentes Automotivos, Lear Corporation. Atualmente atua como Engenheiro de Processos na Gestamp Automación, com trabalho concentrado nos processos de solda MAG e solda ponto por resistência. Durante seus doze anos de experiência profissional, possui trabalhos implantados que resultaram em melhoria de qualidade e otimização de processos.

