

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PATRICK DA SILVA NEY

**ANÁLISE DA RESPOSTA TÉRMICA DE SISTEMAS DE SOLDAGEM:  
UMA ABORDAGEM TERMOGRÁFICA**

Florianópolis

2014

PATRICK DA SILVA NEY

**ANÁLISE DA RESPOSTA TÉRMICA DE SISTEMAS DE  
SOLDAGEM: UMA ABORDAGEM TERMOGRÁFICA**

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Área de Soldagem

Orientador: Prof. Eng. Regis Henrique Goncalves e Silva, Dr.

Florianópolis

2014

Ney, Patrick da Silva Ney, 1988-

*Análise térmica de sistemas de soldagem: uma abordagem termográfica.*

Patrick da Silva Ney. – 2014.

80 f. : il. color. ; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Eng. Regis Henrique Goncalves e Silva  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) –  
Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Engenharia  
Mecânica, 2014.

1. *Análise térmica.* 2. *Termografia.* 3. *Comparativo entre sistemas de soldagem.*

I. Silva, Regis Henrique Goncalves. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Curso de Engenharia Mecânica.

III. *Análise térmica de sistemas de soldagem: uma abordagem termográfica.*

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PATRICK DA SILVA NEY

**ANÁLISE DA RESPOSTA TÉRMICA DE SISTEMAS DE SOLDAGEM:  
UMA ABORDAGEM TERMOGRÁFICA**

Este Trabalho de Graduação foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico e aprovado em sua forma final pela Comissão examinadora e pelo Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

---

Prof. Eng. Prof. Carlos Enrique Niño, Dr.  
Coordenador do Curso

---

Prof. Eng. Jonny Carlos da Silva, Dr.  
Professor da Disciplina Trabalho de Curso

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof. Eng. Regis Henrique Goncalves e Silva, Dr.  
Orientador

---

M. Eng. Cleber Marques  
Supervisor

---

Local

---

Data

À Jesus Cristo, meu salvador, meu amor, por viver eternamente, pela vida que me deu; plena. Em breve nos veremos face a face. Maranata!

À minha esposa Patricia Ney, pela amizade, amor, cuidado e apoio emocional todos esses anos. Estaremos juntos até o último suspiro, certamente.

Aos meus pais Valmir Ney e Ilisete Ney e a minha irmã Sarah Ney, pelo amor, carinho, amparo, suporte incondicional durante toda minha vida. Nosso amor excede o tempo, o espaço e a razão.

## AGRADECIMENTOS

Sou grato ao professor Regis primeiramente por me acolher no LABSOLDA, me dar a oportunidade de desenvolver um trabalho ímpar na minha vida acadêmica. Obrigado pelo conhecimento transmitido, pelas correções aplicadas, pela compreensão. Seu apreço à soldagem contagia, seu domínio sobre assunto inspira a me tornar um especialista.

Sou grato ao Cleber Marques, pela dedicação em atender prontamente sempre. Por ensinar objetivamente, e também com seu exemplo de procedência. Sua dedicação ao LABSOLDA é um exemplo a ser seguido. Também à toda equipe do laboratório pela paciência e ensino. Ao João pela credibilidade a mim conferida e ajuda. Aos bolsistas, ao Danilo, por me ensinar a “cortar no plasma” e dobrar chapa, ao Ramon por me ensinar torrar corpos de prova, ao Everton (Nêne) por me ensinar o nome das ferramentas, a cortar, a furar, esmerilhar, à Júlia pelas conversas. Aos mestrandos e doutorandos, pela paciência em responder minhas questões. Ao Erick (Chile) por me ensinar TIG, ao Renan por concertar minha fonte de soldagem, ao Ivan por me corrigir os erros, ao Alberto pela prontidão em ajudar, ao Sartori pelas dicas com o processo, ao Luiz e Rafael pela boa convivência e conversas. Também o pessoal do administrativo, à Marcia pelo apoio em comprar os materiais e acesso ao seu cartão pessoal para que eu pudesse entrar no sábado. Ao Marcelo pelas dicas com o invólucro da câmera e tripés. Ao pessoal da eletrônica por desvendar os mistérios do tartilope, ao Ricardo (Índio Véio e mestre dos magos) por concertar dois tartilopes em um dia, ao Constenaro sempre pronto a me tirar de apuros. Sem cada um de vocês esse trabalho de conclusão não teria se concluído. Obrigado.

Acima de todos, meu coração é grato ao Senhor Jesus Cristo, por me chamar de irmão, não se envergonhar de mim. Agradeço seu amor, e sua vida a qual me deu. Agradeço porque tu vive eternamente e me dá livre acesso ao nosso Pai. Por corrigir meus erros, me aceitar como sou e me enviar os seu Espírito, que está comigo a vida toda e nunca me deixará. Tu és tudo em todos, te amo.

Do mesmo modo, sou grato meus amados pais. Sr. Valmir Colomby Ney e Sra. Ilisete da Silva Ney. Mencionar tudo que fazem por mim é impossível. O que sinto por vocês excede meu entendimento. Nosso amor é incondicional, é o que me move e moverá.

Ao meu bebê eterno, minha irmã, por me amar mesmo distante. Por compreender minha ausência. Seu sorriso e o brilho dos teus olhos mudaram minha vida, te amo Sarah Gabriela da Silva Ney.

À minha amada esposa Patricia Tassi Ney, dedico esse trabalho, dedico minha vida. Sou grato pela sua fidelidade, sua parceria, sua sabedoria. Tens estado comigo todo esse tempo, estudando, apoiando em tudo. Estaremos até o último momento juntos. Você é parte disso tanto quanto eu, minha engenheira subjetiva.

À minhas amadas avós Geni e Olinda. Fonte de inspiração pra vida inteira. Sem o suor dos seus rostos no engenho, eu não me tornaria engenheiro. A todos tios, tias, primos e primas, que me impulsionam sempre por se alegrar em minhas conquistas. Vocês fazem parte disso.

Aos meus amigos, meus irmãos em Cristo, por acreditarem em mim, pelos incentivos, pela oração e súplica em todos esses anos, minha gratidão. Graça e paz seja multiplicada no coração de todos vocês. Amém.

*“Ó profundidade das riquezas, tanto da sabedoria, como da ciência de Deus! Quão insondáveis são os seus juízos, e quão inescrutáveis os seus caminhos! Por que quem compreendeu a mente do Senhor? Quem foi seu conselheiro? Ou quem lhe deu primeiro a ele, para que lhe seja recompensado? Porque dele e por ele, e para ele, são todas as coisas; glória, pois, a ele eternamente. Amém.”*

*Romanos 11:33-36*

## RESUMO

Perante ao contexto técnico científico atual, em que a engenharia enfrenta desafios progressivamente complexos, o grau de solicitação de sistemas mecânicos é crescente, o qual não deve apenas desempenhar sua função, porém superá-la através da otimização. A análise do desempenho de sistemas assume posição crucial tanto na seleção de sistemas, quanto na otimização dos mesmos. Para tanto, a análise deve contar com técnicas compatíveis com o grau de complexidade desses novos desafios, ser capazes de descrever detalhadamente os fenômenos físicos que envolvem seus processos. A soldagem é intrinsecamente um processo térmico. Portanto, uma análise detalhada do comportamento térmico dos sistemas de soldagem durante o processo se mostra fundamental. Nesse contexto a análise térmica via técnica termográfica é um poderoso ferramental. A possibilidade de análise de gradientes de temperatura bidimensionais medidos tanto em regime permanente, quanto em transiente do processo, fazem dos sistemas detectores de energia radiante aparatos únicos em termos de monitoramento fenomenológico. Apesar da riqueza de informações possíveis de se obter com o uso desses sistemas termográficos, certas dificuldades quanto ao foco de análise, bem como com a implementação da técnica termográfica e posterior interpretação dos resultados obtidos mostram ser obstáculos a serem superados. Desse modo, elegemos como objeto de nossa análise componentes do sistema de soldagem os quais são criticamente afetados pelo calor, tendo suas funções comprometidas pelas altas temperaturas de processo e por isso, mostram-se adequados à pesquisa. O comprometimento da produtividade dos processos associados ao aumento dos tempos secundários, bem como da qualidade da soldagem afetada pelas descontinuidades nos processos, são apenas algumas das problemáticas envolvendo o superaquecimento nos componentes de sistemas de soldagem. Nesse contexto, o comportamento térmico, em tempo real de processo, do bico de contato de tochas de soldagem MIG/MAG é portanto o escopo de nossa análise. Do ponto de vista industrial, em que tochas de soldagem já estão desenvolvidas e implementadas, a comparação entre dispositivos com certa defasagem em termos de projeto de arrefecimento dos componentes mostra-se imprescindível. Portanto, como objetivo do presente trabalho, a análise da resposta térmica de sistemas de soldagem similares e uma posterior comparação entre ambos se dá no LABSOLDA, instituto de mecatrônica e soldagem, vinculado ao Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. Adequadamente projetada, uma bancada foi construída para considerar os nuances de implementação da técnica da termografia na aquisição de dados, a qual se mostrou fundamental afim de se obter medições quantitativas das temperaturas de processo.

Palavras-chaves: Análise térmica, termografia, sistemas de soldagem, tocha MIG/MAG.

## ABSTRACT

Given the current scientific technical context in which engineering faces increasingly complex challenges, the degree of mechanical systems request is increasing, which should not only perform its function, but also overcome it by optimizing. The system performance analysis assumes crucial position both in the selection of systems, the optimization thereof. Therefore, the analysis must rely on techniques consistent with the degree of complexity of these new challenges, be able to describe in detail the physical phenomena involving its processes. The welding is inherently a thermal process. Therefore, a detailed analysis of the thermal behavior of the system during the welding process is fundamental. In this context, the thermal analysis via thermographic technique is a powerful tooling. The possibility of analysis of two-dimensional temperature gradients measured in both steady state and in transient process, make the radiant energy detector systems unique devices in terms of phenomenological monitoring. Despite the wealth of information possible to obtain with the use of these thermographic systems, certain difficulties as the focus of analysis, as well as the implementation of thermal and subsequent technical interpretation of the obtained results show be obstacles to overcome. Thus, we choose as the object of our components of the welding system analysis in which are critically affected by heat, and its functions compromised by high process temperatures and therefore prove to be adequate research. The commitment of productivity of the processes associated with increased side times as well as the welding quality affected by discontinuities in processes, are just some of the problems involving overheating in the welding system components. In this context, the thermal performance, real-time process, the contact tip for welding torches MIG / MAG is therefore the scope of our analysis. From the industrial point of view, in which welding torches are already developed and implemented, the comparison between devices with some lag in terms of component cooling project proves indispensable. Therefore, the objective of the present study is the analysis of the thermal response of similar welding systems and a further comparison between both of them occurs in LABSOLDA, mechatronics and welding institute, linked to the mechanical engineering department of UFSC. Properly designed, a stand was built to consider the implementation details of the thermographic data acquisition technique, which proved essential in order to obtain quantitative measurements of process temperatures.

Keywords: thermal analysis, thermography, welding systems, torch MIG / MAG.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1 – Regiões de resposta espectral.....	18
Figura 2-2 – Diagrama de bloco detector .....	22
Figura 2-3 – Curva de resposta de detectores quânticos. ....	23
Figura 2-4 – Resposta do sistema para diferentes detectores. ....	24
Figura 3-1 – Bancada.....	27
Figura 3-2 – Placa antireflexo.....	27
Figura 3-3 – Tochas de soldagem. ....	29
Figura 3-4 – Câmera termográfica e invólucro. ....	30
Figura 3-5 – Regime de análise termográfica.....	31
Figura 3-6 – Perfil de temperatura ao longo do bico de contato.....	32
Figura 3-7 – Evolução térmica das temperaturas de processo.....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Detectores comerciais.....	23
Tabela 3-1 – Organização dos ensaios e nomenclatura adotada.....	37
Tabela 3-2 – Ensaio 1 tocha Convencional 100 A.....	38
Tabela 3-3 – Ensaio 2 tocha Convencional 100 A.....	40
Tabela 3-4 – Ensaio 1 tocha Aletada 100 A.....	42
Tabela 3-5 – Ensaio 2 tocha Aletada 100 A.....	44
Tabela 3-6 – Ensaio 1 tocha Convencional 150 A.....	46
Tabela 3-7 – Ensaio 2 tocha Convencional 150 A.....	48
Tabela 3-8 – Ensaio 1 tocha Aletada 150 A.....	50
Tabela 3-9 – Ensaio 2 tocha Aletada 150 A.....	52
Tabela 3-10 – Ensaio 1 tocha Aletada 200 A.....	54
Tabela 3-11 – Ensaio 2 tocha Aletada 200A.....	56
Tabela 3-12 – Ensaio 1 tocha Convencional 200 A.....	58
Tabela 3-13 – Ensaio 2 tocha Convencional 200 A.....	60
Tabela 3-14 – Análise térmica comparativa individual tocha Convencional 100 A.....	62
Tabela 3-15 – Análise térmica comparativa individual tocha Aletada 100 A.....	63
Tabela 3-16 – Análise térmica comparativa individual tocha Convencional 150 A.....	64
Tabela 3-17 – Análise térmica comparativa individual tocha Aletada 150 A.....	65
Tabela 3-18 – Análise térmica comparativa individual tocha Convencional 200 A.....	66
Tabela 3-19 – Análise térmica comparativa individual tocha Aletada 200 A.....	67
Tabela 3-20 – Análise térmica comparativa entre tochas Nível de corrente 100 A.....	68
Tabela 3-21 – Análise térmica comparativa entre tochas Nível de corrente 150 A.....	69
Tabela 3-22 – Análise térmica comparativa entre tochas Nível de corrente 200 A.....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
MIG	Metal e gás inerte
MAG	Metal e gás ativo
IR	Espectro infravermelho
FPA	Matriz de plano focal
QWIP	Quantidade de fotos da radiação infravermelha
SR	Steradiano
PADCT III	Fonte de corrente e tensão para processo de soldagem
FLIR	Fabricante do Sistema termográfico.
SAP	Sistema de aquisição portátil
Tartilope	Dispositivo mecânico de deslocamento
P & D	Pesquisa e desenvolvimento
DBCP	Distância da base do eletrodo à peça
LABSOLDA	Instituto de soldagem e mecatrônica
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina.

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Letras Gregas

$\alpha$	adimensional	Absortância
$\varepsilon$	adimensional	emissividade
$\rho$	adimensional	Reflectividade
$\sigma$	$\text{W/m}^2\text{K}^4$	Constante de proporcionalidade, chamada constante de Stefan-Boltzmann
$\tau$	adimensional	transmissividade

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	Objetivos.....	15
1.2	Justificativas.....	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	Introdução à medição termográfica.....	18
2.2	Considerações relativo ao espectro infravermelho (RI).....	18
2.2.1	<i>Princípios da radiação térmica.....</i>	19
2.2.2	<i>Emissividade .....</i>	20
2.2.3	<i>Correções na emissividade.....</i>	21
2.3	Influência do meio externo .....	21
2.4	Uma introdução a detectores para termografia .....	21
2.5	Critérios de aplicação.....	24
2.6	Termografia quantitativa.....	24
3	EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E METODOLOGIA.....	26
3.1	Aparato Experimental.....	26
3.1.1	<i>Bancada de ensaio: Adequações para análise termográfica.....</i>	26
3.1.2	<i>Placa de proteção anti-reflexo .....</i>	27
3.1.3	<i>Barreira mecânica contra radiação do arco .....</i>	28
3.1.4	<i>Fonte de soldagem.....</i>	28
3.1.5	<i>Gás de proteção.....</i>	28
3.1.6	<i>Sistema mecânico de deslocamento .....</i>	28
3.1.7	<i>Tocha de soldagem MIG/MAG .....</i>	29
3.2	Equipamentos e sistemas .....	29
3.2.1	<i>Sistema termográfico: Câmera termográfica e periféricos .....</i>	29
3.2.2	<i>Aferição da emissividade .....</i>	30
3.2.3	<i>Software de análise termográfica .....</i>	31
3.2.4	<i>Sistemas de aquisição de dados elétricos .....</i>	33
3.2.5	<i>Metodologia .....</i>	33
3.2.6	<i>Procedimento experimental.....</i>	34
3.2.7	<i>Apresentação dos resultados obtidos.....</i>	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	72
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	74
5.1	Conclusões .....	74
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	74

REFERÊNCIAS .....	76
ANEXO .....	77

## **1 INTRODUÇÃO**

Para fins de análise termográfica de componentes criticamente afetados pelo calor do processo de soldagem, é importante uma breve revisão dos principais aspectos inerentes à transferência de calor por radiação, espectro eletromagnético, bem como uma introdução aos princípios de aplicação da termografia e suas implicações quanto à aferição de grandezas térmicas.

### **1.1 Objetivos**

No âmbito geral, este trabalho pretende desenvolver uma metodologia para utilização da técnica termográfica para análise térmica quantitativa de dispositivos de soldagem. Para tanto far-se-á a caracterização da dinâmica da resposta térmica dos elementos criticamente afetados pelo calor, tanto em regime permanente quanto transiente, submetido e aferidos sob aproximadamente mesmas condições. Posteriormente, será abordado uma análise relativa à congruência dos resultados obtidos individualmente. Finalmente, uma análise comparativa entre os dois sistemas; uma tocha convencionalmente usada em processo de soldagem MIG/MAG, outra tocha similar, porém portadora de um sistema de refrigeração.

Realizar uma análise detalhada de cada ensaio em particular e posteriormente a comparação entre os sistemas essencial. Explorar a resposta térmica dinâmica, padrões de resposta, tempo de regime, sobre passagem e demais variáveis possibilitará a comparação entre os sistemas.

Descrever um parecer técnico final a respeito da influência das alterações no “design” empregado na tocha baseando-se no comportamento térmico da mesma comparativamente ao modelo convencional. Levantar hipóteses sobre a eficiência do trocador de calor no comportamento térmico do sistema ou se as alterações são meramente relacionadas ao marketing do fabricante é finalmente o objetivo culminante.

### **1.2 Justificativas**

Soldagem é intrinsecamente um processo térmico. Em um contexto onde os processos de soldagem exigem alta qualidade, em função da responsabilidade que exercem, atrelada a uma produtividade crescente, por questões econômicas, os sistemas de soldagem são cada vez mais solicitados. Por consequência, a carga térmica a que esses sistemas são sujeitos é crescente, tanto em termos de magnitude quanto em tempo de exposição. Inúmeros problemas de origens térmicas afetam tanto a qualidade do produto da soldagem quanto a produtividade do processo.

Contraditoriamente ao contexto, a preocupação com o arrefecimento desses sistemas não se mostra uma prioridade.

Tendo em vista aos projetos de sistemas de soldagem mais comuns, duas realidades são evidentes. Por um lado o descaso com o arrefecimento do sistema, negligenciando-o quase que totalmente. Por outro lado o projeto de sistemas de trocadores de calor no mínimo questionáveis quanto a eficiência, complexidade e custo.

Portanto a iniciativa de desenvolver e comercializar sistemas de soldagem acoplados a dissipadores de calor é notória. Contudo, há questionamentos acerca da efetividade do mesmo com relação aos sistemas convencionalmente utilizados, que não levam em consideração os efeitos indesejáveis do calor.

Nesse contexto a caracterização da resposta térmica de sistema de soldagem, bem como a análise comparativa de sistemas muito relevantes pela sua importância, tanto para o desenvolvimento projetos mais eficientes, quanto para o aumento da produtividade industrial.

Mesmo com os avanços que impulsionaram a tecnologia da soldagem em termos de monitoração e automação, tanto a indústria quanto o meio acadêmico ainda não fazem uso pleno das evidentes vantagens nas aplicações de técnicas de monitoração modernas de processos de soldagem, as quais certamente podem contribuir significativamente para o desenvolvimento técnico e científico da área perante o cenário mundial. Como exemplo, pode-se citar utilização da técnica de monitoração de radiação, convenientemente denominada termográfica, aplicada em processos de soldagem. A questão é primeiramente os motivos pelos quais tais técnicas não são empregadas. Evidentemente o custo inicial é uma resposta direta. Outra certamente é a dificuldade técnica em se implementar tal técnica e além em interpretar os resultados obtidos.

Entre tantas respostas a mais latente talvez seja o ceticismo e falta de criatividade típica do engenheiro mecânico, extremamente arraigado no tradicional. Por conseguinte, a implementação de técnicas modernas de medição de temperatura é um desafio pois quase sempre o usuário contenta com um termopar.

Trabalhos técnicos provenientes em todo mundo relatam a implementação da termografia em áreas clássicas como a engenharia civil e em áreas extremamente complexas como análise térmica de reações intracelulares.

Na realidade de processos como a soldagem apesar do avanço em termos de pesquisa o uso de transdutores clássicos ainda impera. Os famigerados termopares ainda são as opções mais favorecida em detrimento da termografia, mesmo em um processo envolvendo altas cargas elétricas que implicam em ruídos a inadequação do uso.

O óbvio o alto custo inicial para aquisição de sistemas termográficos, bem como o treinamento dos usuários são complicadores, porém os ganhos obtidos com a visualização dos campos de temperatura em duas dimensões são vastos. Portanto quando se pensa na extração de informações e em descoberta de detalhes que aos olhos, às simulações e às equações são

ocultos, os mesmos não se escondem das lentes termográficas. São mistérios a serem desvendados a cada medição. Sem dúvida há um preço a ser pago por quem quer desenvolver tecnologia e pesquisa de ponta.

Somente para o uso na caracterização térmica de um processo para fins de controle de qualidade garantindo-se a reprodutibilidade do cordão de solda, a introdução da monitoração térmica do processo MIG/MAG, já seria uma justificativa.

Além do controle de qualidade, a utilização dos dados obtidos como condições de contorno em simulações computacionais eliminaria hipóteses equivocadas quanto a conclusões dos resultados, impactando ainda mais o desenvolvimento do setor. Além da análise do produto do processo, a termografia ainda possibilita a análise e a utilização da mesma técnica para otimização de projetos de sistemas de soldagem com alta eficiência térmica e economicamente atrativos.

Outra utilização da termografia, que embora simplista vislumbra aplicações ousadas e é uma comparação entre sistemas de soldagem quanto ao comportamento térmico. Comparar dois sistemas a fim de se avaliar a efetividade do projeto de um trocador de calor acoplado ao sistema de soldagem (tocha), em relação a um sistema tradicional comum já traz vários ganhos. Primeiramente em termos de efetividade de processo, avalia-se a dinâmica de resfriamento de ambas. Em decorrência do primeiro é avaliado se há vantagens em se adquirir um sistema de custo mais elevado tanto em termos de investimento inicial quanto em termos de manutenção e substituição de componentes.

Em uma abordagem mais científica, quando se trata de caracterizar processos em termos de variáveis e suas implicações, a soldagem carece. Basicamente a literatura apresenta resultados um tanto óbvio, quanto por vezes duvidosos ou imprecisos. Seja pela natureza complexa intrínseca ao processo, seja pela falta de análise com base em uma metodologia científica, a soldagem apresenta certa lacuna científica que reflete na falta de respostas para problemas da indústria. A termografia é uma ferramenta ponderosa, pois apesar de ter suas complicações, é capaz de correlacionar cada parâmetro de soldagem ao seu efeito térmico. Esse tão discutido por ser o crítico quando se trata de produtividade, que é o foco do contexto industrial.

Não se deixa de vislumbrar a aplicação da termografia em controle de processos de soldagem em malha fechada, como um trabalho de destaque em termos técnicos.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

## 2.1 Introdução à medição termográfica

Em geral radiação infravermelha (IR) não é detectável aos olhos humanos, sendo essa a motivação do desenvolvimento de câmeras infravermelhas: um dispositivo que pode a partir da radiação em um espectro invisível, formar uma imagem que representa variações térmicas através de um objeto ou uma cena. O espectrômetro eletromagnético cobre uma porção do espectro de aproximadamente 900 a 14,000 nanômetros (0.9–14  $\mu\text{m}$ ), ou seja radiação IR é emitido por todos os objetos com temperatura acima de zero absoluto e a quantidade de radiação aumenta com a temperatura.

## 2.2 Considerações relativo ao espectro infravermelho (IR)

Geralmente as câmeras IR são desenvolvidas e calibradas para uma específica faixa do espectro IR. Isso significa que tanto o conjunto ótico quanto o projeto do detector devem ser desenvolvidos para uma faixa específica do IR, a qual depende da aplicação que será submetido. A figura 2.2 abaixo ilustra regiões da resposta espectral para alguns materiais que compõem os detectores.

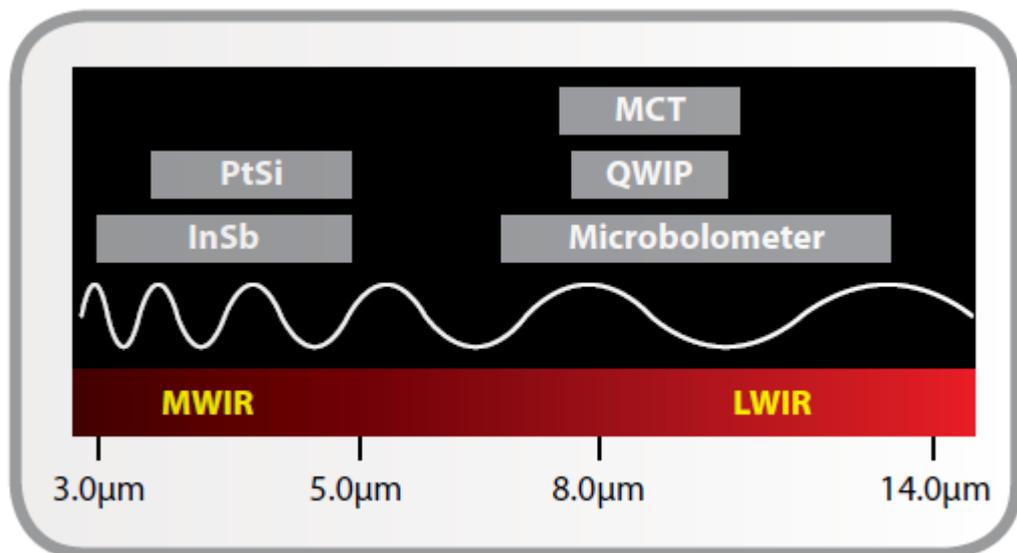


Figura 2-1 – Regiões da resposta espectral

Pelo fato de que a radiação infravermelha possui as mesmas propriedades que a luz visível, sendo uma onda eletromagnética, também é sujeita a fenômenos como reflexão, refração e transmissão. Geometricamente o sistema ótico de câmeras térmicas é projetado de maneira similar a câmeras comuns, entretanto o tipo de lente usada em câmeras para o espectro visível não pode ser usado para câmeras infravermelhas, pois os materiais transparentes a radiação visível não transmite radiação eletromagnética no espectro infravermelho de maneira apropriada. De maneira geral materiais que são transparentes ao IR são frequentemente opacos

a luz visível.

Câmeras infravermelhas usam lentes tipicamente de silício ou germânio. Normalmente as lentes de silício são usadas para radiação infravermelha de médio comprimento de onda, enquanto as de germânio são usadas para radiação infravermelha de longo comprimento de onda. O silício e o germânio possuem propriedades mecânicas apropriadas para serem submetidos aos processos de fabricação, o que permite a manufatura das lentes infravermelhas com processo de fabricação similares as lentes comuns. Assim como às lentes para espectro visível, lentes IR possuem cobertura anti refletiva. Propriamente projetada e fabricada as lentes IR podem transmitir radiação infravermelha de maneira muito efetiva.

### 2.2.1 *Princípios da radiação térmica*

De modo geral a intensidade da energia emitida no espectro infravermelho por objetos é função da temperatura do mesmo. O comprimento de onda também é uma função da temperatura. A radiação emitida por um objeto interage com a matéria dos arredores, ocorrendo a absorção e a reflexão de parte da radiação, fenômenos os quais afetam o processo de medição. Esses fenômenos serão apresentados de maneira mais detalhada posteriormente, porem o resultado a ser utilizado imediatamente é que em um sistema térmico em regime permanente a radiação envolvida é em parte absorvida, refletida, transmitida.

$$W = \alpha W + \rho W + \tau W \quad (1)$$

Simplificando:

$$1 = \alpha + \rho + \tau \quad (2)$$

Os coeficientes  $\alpha$ ,  $\rho$  e  $\tau$ , descrevem parcelas da energia incidente absorvida, refletida e transmitida. Cada coeficiente possui valores de zero a um, dependendo de quanto o objeto absorve, reflete e transmite a radiação incidente. Idealmente quando um corpo absorve toda radiação incidente ( $\alpha = 1$ ), o mesmo é chamado corpo negro.

Nos fenômenos naturais os corpos não se comportam de maneira perfeita, porem possuem tendências que os aproximam do comportamento ideal. O conceito de corpo negro é teoricamente importante, pois fundamenta a relação entre a radiação emitida por um corpo e a sua temperatura.

Fundamentalmente um corpo negro é um absorvedor e emissor de radiação infravermelha. Essa afirmação é embasada pela Lei de Kirchhoff. A Lei de Kirchhoff afirma que um corpo negro em regime permanente emite radiação a mesma taxa que absorve em um determinado comprimento de onda. Uma simplificação considera que a capacidade de transmitir radiação infravermelha nos corpos seja muito próxima de zero, o que por consequência implica

em que:

$$\rho = 1 - \varepsilon \quad (3)$$

As propriedades radioativas de um corpo negro são descritas matematicamente pela Lei de Planck. Como uma função da temperatura e do comprimento de onda, algumas curvas são representadas no gráfico abaixo. Essas curvas mostram a radiação por comprimento de onda por unidade de área, chamada curvas de emitância espectral. Quanto maior a temperatura mais intensa é a radiação emitida, entretanto as curvas possuem um valor máximo distinto a certo comprimento de onda. Esse máximo pode ser calculado da Lei de Wien.

$$\lambda_{\max} = 2898/T \quad (4)$$

Onde a temperatura deve ser absoluta do corpo negro, e  $\lambda_{\max}$  é o comprimento de onda de máxima intensidade. Por exemplo, usando a curva de emitância de corpo negro podemos achar que objetos a 30 °C possuem emissão em comprimento de onda máximo próximo à 10 $\mu$ m, enquanto objetos a 1000 °C possuem maior intensidade de radiação de comprimento de onda próxima a 2.3 $\mu$ m. Também pode-se perceber que a emitância espectral é em torno de 1400 vezes maior para o corpo de maior temperatura, e possui uma porção considerável da radiação emitida dentro da faixa do espectro visível. Pela Lei de Planck a energia radiada total de um corpo negro pode ser calculada conforme expressão abaixo:

$$W = \sigma T^4 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (5)$$

Como um exemplo, um ser humano com a temperatura em torno de 300 K, irá irradiar cerca de 500 W/m<sup>2</sup>. Essa equação descreve a relação entre radiação emitida e temperatura de um corpo negro perfeito, porém a maioria dos objetos de interesse não são corpos negros perfeitos, portanto necessita-se de correções.

### 2.2.2 *Emissividade*

As propriedades radiativas dos objetos geralmente são descritas em relação ao corpo negro perfeito emissor. Se a energia emitida de um corpo negro é denotada como  $W_{bb}$ , e a energia emitida de um corpo a mesma temperatura, a relação entre esses dois valores descrevem a emissividade do objeto.

$$\varepsilon = W_{obj} / W_{bb} \quad (6)$$

Portanto a emissividade é um número entre 0 e 1. Um objeto que possui a mesma emissividade para todos os comprimentos de onda é chamado corpo cinza, e obedece a relação abaixo.

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (7)$$

Que afirma que a energia emitida de um corpo cinza é a mesma que um corpo negro a mesma temperatura, porém reduzida proporcionalmente ao valor de emissividade do objeto. Uma discussão mais detalhada a respeito da emissividade será discutida em outra sessão. Para fins termográficos uma abordagem prática será utilizada a fim de se determinar a emissividade do objeto a ser medido.

### **2.2.3 Correções na emissividade**

Em muitas aplicações a emissividade de um objeto são corrigidas baseadas em valores dos. Entretanto medições envolvendo objetos mais complexos compostos de vários materiais, torna este processo inconveniente e para esses casos um processo reverso pode ser aplicado. O método do ponto adjacente é baseado no fato de que em um sistema térmico em regime permanente, na ausência de gradientes fortes no perfil de temperatura, dois pontos próximos de um objeto devem estar aproximadamente a mesma temperatura. Partindo dessas hipóteses dois pontos com a mesma temperatura e emissividades diferentes, irão apresentar temperatura aparentes diferentes para o detector do sistema IR. Ao se conhecer a emissividade de um dos pontos, pode-se ajustar a emissividade do ponto adjacente de modo a se igualar as temperaturas, determina-se então a emissividade do ponto desconhecido iterativamente.

### **2.3 Influência do meio externo**

Entre o objeto a ser medido e o detector existe um meio de propagação da radiação o qual interfere na medição. A atmosfera interage com a radiação emitida atenuando-a. O grau de interferência depende do comprimento de onda da radiação bem como das propriedades do meio.

Medições termográficas necessitam frequentemente da utilização de janelas de proteção, a fim de se manter a integridade do sistema de medição. Essas janelas possuem uma transmissividade em uma determinada faixa de comprimento de onda que deve ser compatível com a natureza do fenômeno envolvido e tais correções devem ser ajustadas no software do sistema.

### **2.4 Uma introdução a detectores para termografia**

A termografia é um tipo de mapeamento realizado com câmera provida de um detector a radiação infravermelha, devidamente calibrada cuja imagem mostra valores de temperatura relativa.

Portanto a termografia permite fazer a medição de temperatura de um objeto sem contato, que é o grande atributo da termografia.

As câmeras IR possuem uma construção similar a uma câmera digital comum. Os componentes principais são as lentes IR, o sistema de detecção, a eletrônica periférica para tratamento e processamento de sinal e o software de análise.

O detector das câmeras IR é um FPA (*focal plane array*) o qual possui unidades sensores de dimensões micrométricas de material sensível a ondas eletromagnéticas de comprimento IR. Também possuindo configuração com resolução variável, os sistemas comerciais disponíveis possuem um conjunto hardware e software de integrados e robustos, tornando-se uma ferramenta adequada em muitos casos na engenharia.

A tecnologia de detectores FPA são divididos em duas categorias; detectores térmicos e detectores quânticos. Um tipo comum de detector térmico é o micro bolômetro não resfriado, sendo de metal ou material semicondutor. Esses tipicamente têm um menor custo e ampla resposta espectral IR. Porém o material dos micros bolômetros reagem com a energia radiante incidente, tornando-os instáveis. Além de que os mesmos também possuem resposta no tempo mais lentas e são menos sensíveis que os detectores quânticos.

Detectores quânticos são feitos de materiais tais como InSb, InGaAs, PtSi, HgCdTe (MCT). Podem ser cobertos com uma camada de GaAs/AlGaAs no caso dos detectores QWIP (*Quantum Well Infrared Photon*). O princípio de funcionamento de detectores quânticos é baseado na mudança do estado dos elétrons na estrutura cristalina a qual reage com os fótons incidentes da radiação infravermelho incidente.

Em geral estes detectores têm resposta no tempo maior e são mais sensíveis que os detectores de efeito térmico. Entretanto os mesmos exigem arrefecimento, muitas vezes a níveis de temperatura criogênicas, necessitando o uso de nitrogênio líquido ou de uma unidade refrigeradora de ciclo Stirling. Conforme figura 2-2 abaixo:

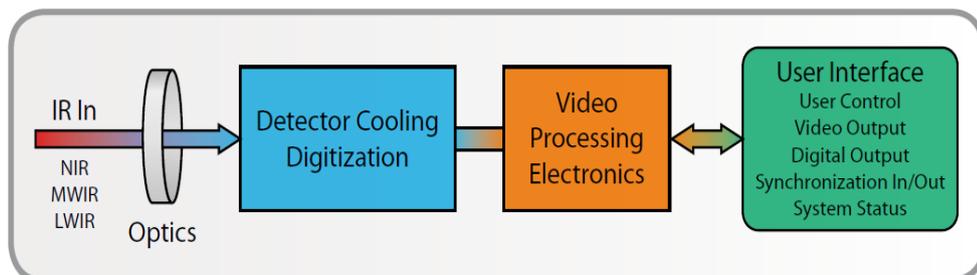


Figura 2-2 – Diagrama de bloco detector

Para aplicações mais específicas, detectores são projetados para operar em uma determinada faixa espectral. Os detectores quânticos operam segundo o efeito fotoelétrico. Os

materiais que constituem estes sensores ao absorverem os fótons proveniente do IR elevam a energia dos elétrons da rede cristalina causando uma mudança na condutividade, conseqüentemente tensão e corrente, que passam pelo detector. O arrefecimento destes detectores tem por finalidade mantê-los em condições de projeto de funcionamento do mesmo, em que a sensibilidade é função da temperatura do sensor. Uma análise mais detalhada sobre a sensibilidade dos sensores será apresentada em uma sessão particular para este escopo.

Uma característica importante dos sensores quânticos é a quanto a sua dinâmica a mudanças no nível de radiação infravermelho, possuindo uma rápida resposta no tempo, característica importante quando se trata de eventos térmicos transientes quando o mesmo se encontra a baixas temperaturas. Ainda detectores quânticos possuem curvas de respostas em relação à detectividade que varia fortemente com o comprimento de onda, conforme figura 2-3.

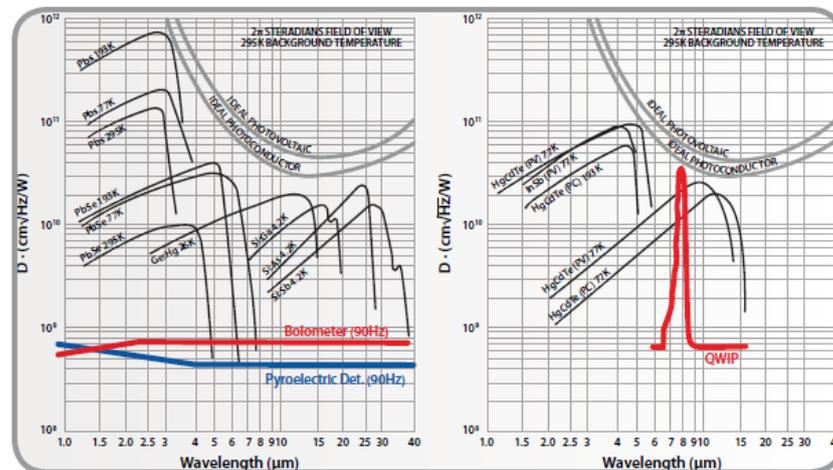


Figura 2-3 – Curva de resposta de detectores quânticos

A tabela 2.1 a seguir lista alguns dos mais comuns utilizado em detectores comerciais disponíveis.

Detector Type/ Material	Operation	Operating Temp.
Microbolometer	Broadband detector	Uncooled (~30°C)
HgCdTe	SW photon detector	200 K
HgCdTe	LW photon detector	77 K
InSb	MW photon detector	77 K
PtSi	MW photon detector	77 K
QWIP	LW photon detector	70 K

Tabela 2.1 – Detectores comerciais

## 2.5 Critérios de aplicação

Como indicado anteriormente diferentes tipos de detectores possuem diferentes características referentes a sensibilidade térmica e espectral. Em adição, eles possuem diferentes estruturas e custos devido aos vários graus de dificuldade na manufatura. Fotodetectores tais como InSb e QWIP oferecem algumas vantagens; alta sensibilidade térmica, baixo ruído, alta uniformidade entre as unidades do detector, relativo baixo custo e boa qualidade de imagem.

O circuito eletrônico da câmera pode lidar com algumas variações na sensibilidade do detector, por exemplo, uma alta sensibilidade pode saturar o detector, logo um controle do diafragma e o uso de filtros é uma opção válida. Ambas destas soluções podem reduzir a energia radiante incidente no FPA.

Uma vez que o detector é selecionado o material da lente e principalmente os filtros devem ser também selecionados de modo a se adequar as características do fenômeno físico a ser monitorado. A figura 2.4 abaixo mostra a resposta do sistema para diferentes detectores.

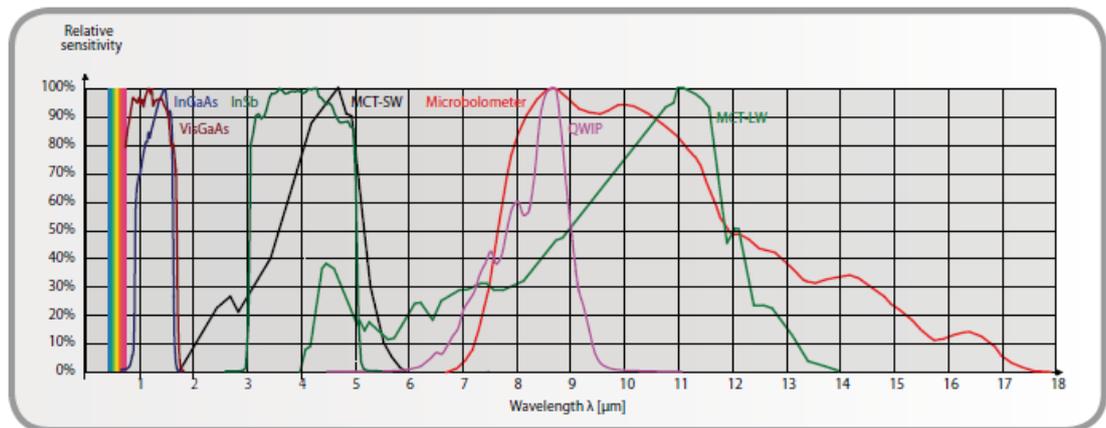


Figura 2-4 – Resposta do sistema para diferentes detectores

## 2.6 Termografia quantitativa

Para se obter resultados com elevado grau de confiabilidade é necessário tomar-se alguns cuidados quanto ao tipo de medição a ser feita, logo compreender processo de calibração da câmera bem como seu funcionamento eleva as chances de se obterem bons resultados. O primeiro passo é selecionar adequadamente a câmera conforme as características do fenômeno ou o objeto a ser monitorado. Um entendimento da diferença entre termografia e radiometria torna-se importante.

Termografia é um tipo de medição infravermelha com câmeras IR nas quais a radiações eletromagnética é detectada e convertida pelo sistema de aquisição em uma imagem. Tipicamente este processo de imagem é usado afim de se medir variações de temperatura na cena. Radiometria é por sua vez a medição da energia eletromagnética radiante, especialmente associada ao espectro infravermelho, que pode ser simplesmente definido como a medição do fluxo radiante. A unidade típica para medições radiométricas é a radiância expressa por

convenção em unidades de Watts/(sr.cm<sup>2</sup>). (Abreviação “sr” de steradiano, uma unidade adimensional geométrica que representa o ângulo sólido normal a superfície de medição).

Em termos simples, a termografia preocupa-se com uma medição qualitativa enquanto a radiometria tem por objetivo medir a quantidade de energia que o objeto emana e expressá-lo em quantidades relativas exatas. Câmeras IR intrinsecamente medem radiância não temperatura, porém não se restringem a isso. Quando é feita uma calibração em um sistema de medição IR, então existe uma relação entre radiância e temperatura. Portanto a emissividade da cena objeto que está a se medir é fundamental afim de relacionar a radiância com a temperatura, pois a emissividade é a propriedade de um corpo que relaciona a sua emitância com a de um corpo negro perfeito.

Uma observação importante é que o nível de entrada de radiância em câmeras com detector microbolômetro, opera de acordo com princípios não quânticos. O detector responde a energia radiante de maneira a causar mudanças no estado natural do material, ou seja, mudança na resistência e na capacitância são inerentes.

### **3 EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E METODOLOGIA**

#### **3.1 Aparato Experimental**

O presente trabalho dá oficialmente início a uma linha de pesquisa que fará parte das atividades correntes do LABSOLDA. Com o intuito de gerar o “*know how*” necessário para a utilização da termografia como ferramental complementar de análise de trabalhos correlatos à soldagem, intenta-se o detalhamento tanto da técnica quanto de todo aparato experimental necessário. Em assim sendo, a bancada desenvolvida possui certas particularidades, as quais viabilizaram medições termográficas quantitativas.

### **3.1.1 Bancada de ensaio: Adequações para análise termográfica**

Há um desafio em realizar aquisições de dados termográficos do processo de soldagem em arco aberto em virtude das intensa radiação emitida pelo arco elétrico, a qual pode causar um superaquecimento nos sensores da câmera danificando-o. Portanto a bancada foi projetada com algumas adaptações na configuração convencional de soldagem, tanto para melhorar a qualidade dos dados coletado, quanto para se garantir a proteção do sistema de aquisição termográfico.

As principais medidas consistem em manter a tocha de soldagem estática em relação ao sistema de aquisição termográfico e em utilizar uma barreira mecânica para impedir que radiação do arco incida diretamente no sensor da câmera. Posteriormente poderá se perceber que tais medidas viabilizaram a análise termográfica de uma região fixa dos componentes analisados.

Como parte das adaptações do processo, o corpo de prova é acoplado ao sistema de deslocamento linear (Tartilope V2) através de um dispositivo de fixação e proteção termomecânica do Sistema de deslocamento.

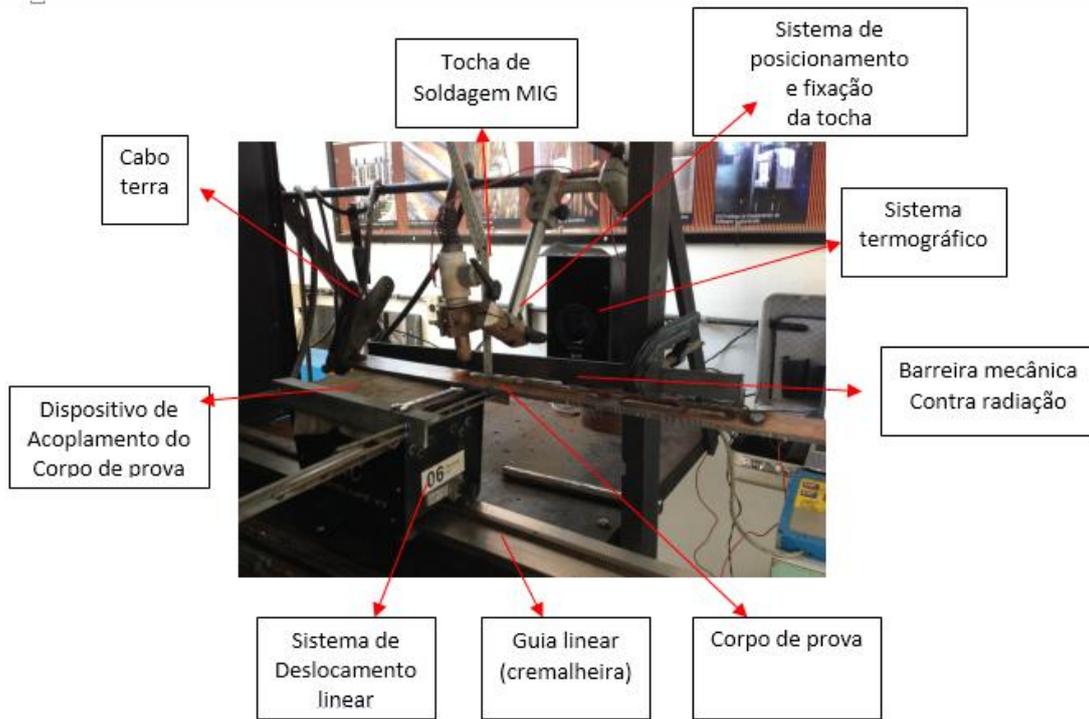


Figura 3-1 – Bancada

### 3.1.2 Placa de proteção antirreflexo

Inspirado nas características físicas das paredes de cavidade corpo negro para aferição de emissividade, as quais têm por intuito se aproximar do comportamento térmico radiativo de corpo negro, desenvolveu-se um aparato que tem por objetivo reduzir a incidência de radiação externa no objeto de análise, bem como atenuar a própria radiação emitida pelo mesmo durante o processo em arco aberto, conforme figura 3-2 abaixo. O dispositivo implementado na bancada foi fundamental e viabilizou medições termográficas quantitativas.

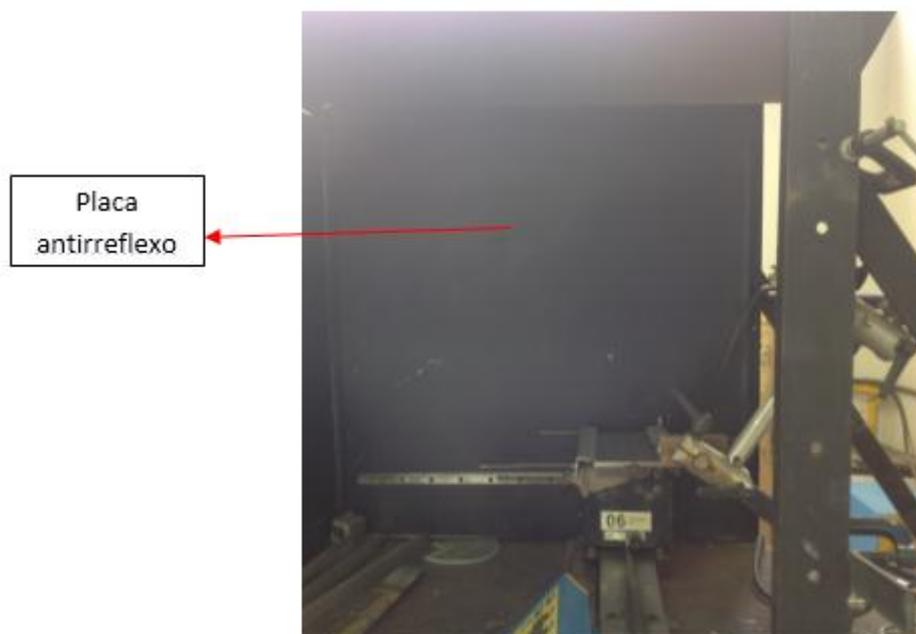


Figura 3-2 – Placa antirreflexo

### **3.1.3 Barreira mecânica contra radiação do arco**

Uma maneira simples de obter imagens termográficas em tempo real de processo é impor uma barreira mecânica opaca à radiação advinda do arco. Para tanto faz-se a utilização de uma barra metálica de superfície oxidada, afim de reduzir ao máximo a reflexão.

### **3.1.4 Fonte de soldagem**

A fonte de soldagem “PADCT-III”, a qual foi projetada para operar em diversos processos e modos de soldagem. Nesse trabalho, a fonte foi ajustada para funcionar no modo MIG pulsado, sinérgico, não térmico, com controle de corrente, C25 1,2mm. Três ajustes nos níveis de corrente foram realizados afim de realizar ensaios em três condições de aporte térmico distintas. Inicialmente à 100 A, posteriormente à 150 A e 200 A de corrente média eficaz. Esses são valores nominais, porém, para fins de acurácia os dados elétricos foram coletados com o sistema de aquisição SAP. A forma de onda de tensão, corrente, valor médio são apresentados nos oscilogramas, bem como informações gerais relevantes afim de caracterizar as medições.

### **3.1.5 Gás de proteção**

A proteção gasosa foi realizada com o gás comercialmente denominado *Speed*, que nominalmente contém 90% de argônio, 8% de dióxido de carbono e 2% de oxigênio em sua composição. Sua escolha foi devido à relativa estabilidade que o mesmo confere ao processo, requisito essencial para medições termográficas isentas de ruído.

### **3.1.6 Sistema mecânico de deslocamento**

O sistema mecânico de deslocamento linear (Tartilope) é um equipamento projetado para deslocar a tocha de soldagem durante o processo. Entretanto, devido às necessidades especiais da termografia, o sistema de deslocamento foi adaptado para deslocar o corpo de prova. Para tanto desenvolveu-se um dispositivo de acoplamento para fixar o corpo de prova ao Tartilope, bem como fixar o cabo terra da fonte para fechar o circuito.

### **3.1.7 Tocha de soldagem MIG/MAG**

Os processos de soldagem são caracterizados por envolverem fenômenos térmicos intensos. Em um contexto onde as produtividades atreladas a padrões de qualidade são cada vez mais altos, o fator de trabalho de tochas de soldagem MIG é crescente. Projetos convencionais não possuem preocupação quanto à dissipação do calor apostado ao sistema. Travamento do arame, fusão do bico de contato e consequente perda de produtividade por aumento de tempos secundários são apenas alguns dos problemas correlacionados à dissipação de calor ineficiente em sistemas de soldagem.

Ao passo que problemas de origem térmica são levados em consideração, o projeto de tochas de soldagem refrigeradas torna-se uma realidade. Entretanto, surge a questão quanto à efetividade desse trocador de calor.

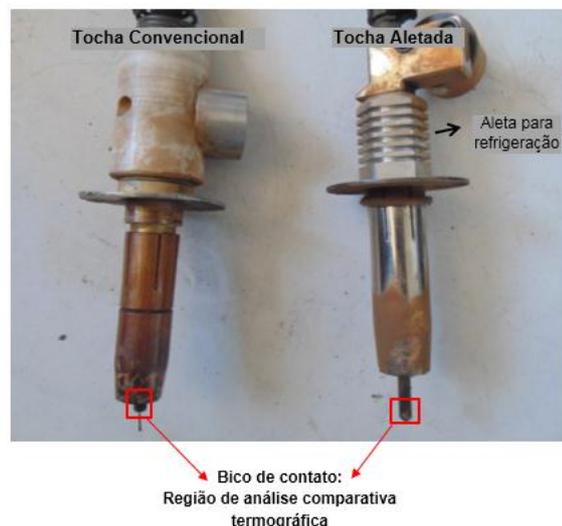


Figura 3-3 – Tochas de soldagem

De maneira geral, busca-se investigar comparativamente o desempenho térmico entre duas tochas de soldagem MIG/MAG similares, comumente utilizadas no LABSOLDA. Para tanto, a análise termográfica será realizada nos componentes criticamente afetado pelo calor de processo, representado pelo bico de contato de cada tocha. Conforme figura 3-3.

## 3.2 Equipamentos e sistemas

### 3.2.1 Sistema termográfico: câmera termográfica e periféricos

A câmera termográfica FLIR SC7000 é um sistema de detecção de radiação do espectro infravermelho, capaz de produzir imagens IR e vídeos. A radiação infravermelha da cena sob investigação é coletada através de uma lente frontal de germânio, projetada para oferecer aberração mínima. A Série SC7000 é projetado especificamente para aplicações de P&D.

A janela de proteção é de germânio, transmissível em 70% à radiação infravermelha, é utilizada para atenuar a radiação afim de proteger o sensor de uma supersaturação e possível avaria. Posteriores correções nas medições são feitas via software. O invólucro de proteção mecânica foi projetado segundo dimensões do sistema afim de se adequar às suas funções. Conforme figura 3-4 abaixo. Quando utilizada em aquisições de temperatura em tempo real de processo, a câmera termográfica aloja-se no interior do invólucro, formando o sistema de aquisição termográfico.

A câmera possui três tipos distintos de sensores, os quais são projetados de acordo com a faixa de temperatura do objeto a ser monitorado. Para temperaturas moderadas próximas a do ambiente utiliza-se o detector com faixa de medição de 5 a 300 °C. Para monitorar fenômenos que envolvem altas temperaturas dispõe-se de outro detector que mede de 300 a 1500 °C e outro capaz de detectar temperaturas na faixa de 1500 a 3000 °C. Cada detector é selecionado segundo a natureza do fenômeno. Não se dispõem de indicadores prévios sobre as temperaturas envolvidas, utiliza-se do método das tentativas.

O tipo de sensor utilizado é bem descrito na seção destinada à apresentação dos resultados, o qual na maior parte das medições foi o com calibrado para 300 a 1500 °C.



Figura 3-4 – Câmera termográfica e invólucro

### 3.2.2 Aferição da emissividade

Sendo um ponto fundamental da termografia, o ajuste da emissividade do objeto a ser aferido é o ponto de partida para a implementação da técnica. É importante salientar os cuidados com fenômenos envolvendo reflexão do meio externo sobre o objeto, bem como efeitos de forma, por se tratar de um objeto cilíndrico.

Os bicos de contato contam com uma delgada camada de material cerâmica de alta emissividade. Característica que proporcionou medições quantitativas. A emissividade foi

aferia pelos métodos comparativos tradicionais à técnica da termografia, os quais são detalhadamente descritos na revisão teórica. A emissividade do bico de contato ficou em torno de 0,95. Os ajustes de emissividade são feitos no software de análise termográfica.

### 3.2.3 Software de análise termográfica

O software de análise termográfica da câmera FLIR SC7000, Altair, é um programa dedicado a aquisição e processamento de imagens de câmeras infravermelhas. Com a possibilidade de adquirir imagens a uma taxa de 200 quadros por segundo. Dentre as várias funcionalidades, a utilizada para análise da região dos bicos de contato foi o perfil linear de temperatura.

A análise gráfica de temperaturas ao longo do tempo de processo foi fundamental, pois permitiu a caracterização da temperatura de regime do processo, bem como do comportamento temporal das temperaturas. Através da análise temporal das temperaturas do processo, permite-se calcular as velocidades de aquecimento e resfriamento. Tais parâmetros os quais foram utilizados para caracterizar comparativamente o comportamento térmico das tochas submetidas às várias condições de aporte térmico. Veja figura 3-5 com esta análise.

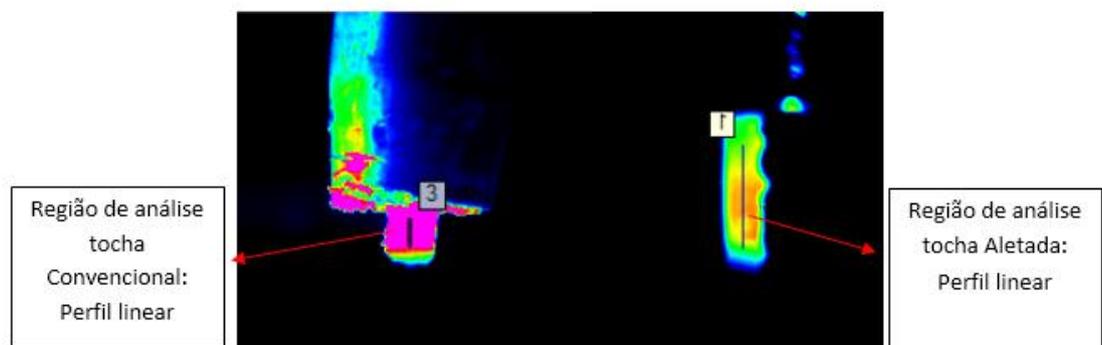


Figura 3-5 – Regime de análise termográfica

Tais regiões de análise permitem a caracterização do perfil de temperatura ao longo da linha demarcada, o que posteriormente se interpreta como o gradiente de temperatura ao longo do comprimento do bico de contato de cada tocha.

A escolha da região de análise é baseada primeiramente no fato de que o bico de contato é o componente do sistema de soldagem criticamente aquecido. Por conseguinte, busca-se a caracterização da maior região possível do componente, o seu comprimento ao total. Porém, por motivos inerentes à técnica termográfica, há a necessidade de evitar regiões afetadas por reflexões do bocal de proteção gasosa e do próprio cordão de solda produzido durante o ensaio.

Na figura 3-6 abaixo pode-se ver uma amostra do resultado obtido. Esse gráfico é um

exemplo que representa o gradiente de temperatura ao longo do comprimento da linha acima descrita.

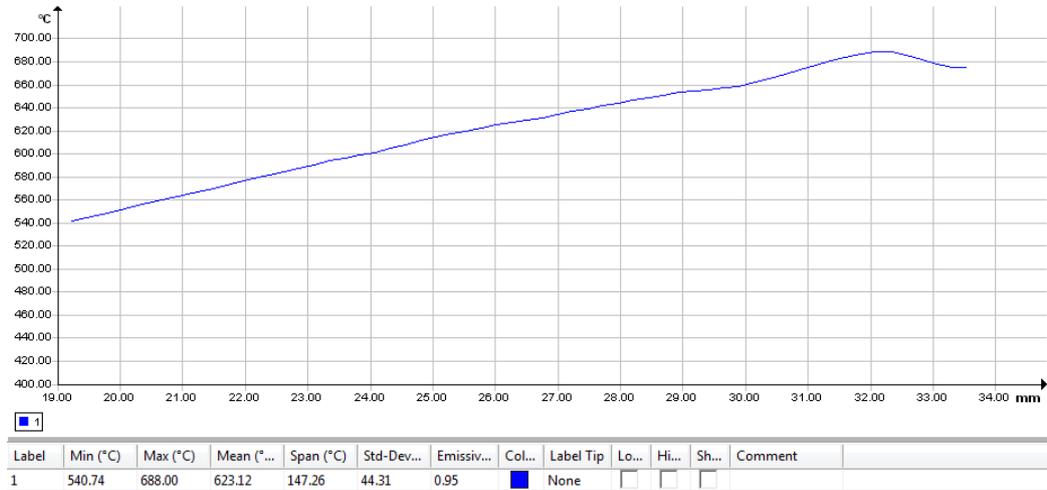


Figura 3-6 – Perfil de temperatura ao longo do bico de contato

Como já mencionado, uma análise temporal do comportamento térmico do bico de contato foi realizada, a qual mostrou-se essencial para as conclusões obtidas. A possibilidade de plotar a temperatura máxima contida nessa linha, em cada instante de tempo de medição do processo, expressa o comportamento temporal da temperatura máxima do bico de contato durante a soldagem. O mesmo procedimento pode ser realizado com a média das temperaturas do perfil.

Tais procedimentos são sintetizados em gráficos do comportamento dinâmico das temperaturas ao longo do bico de contato durante o tempo de processo. Um exemplo dessa análise temporal é expresso no gráfico da figura 3-7 abaixo, onde a curva vermelha é o comportamento temporal da temperatura máxima da linha, a curva verde é o comportamento temporal da média das temperaturas da linha e a curva azul é o desvio padrão da temperatura média.

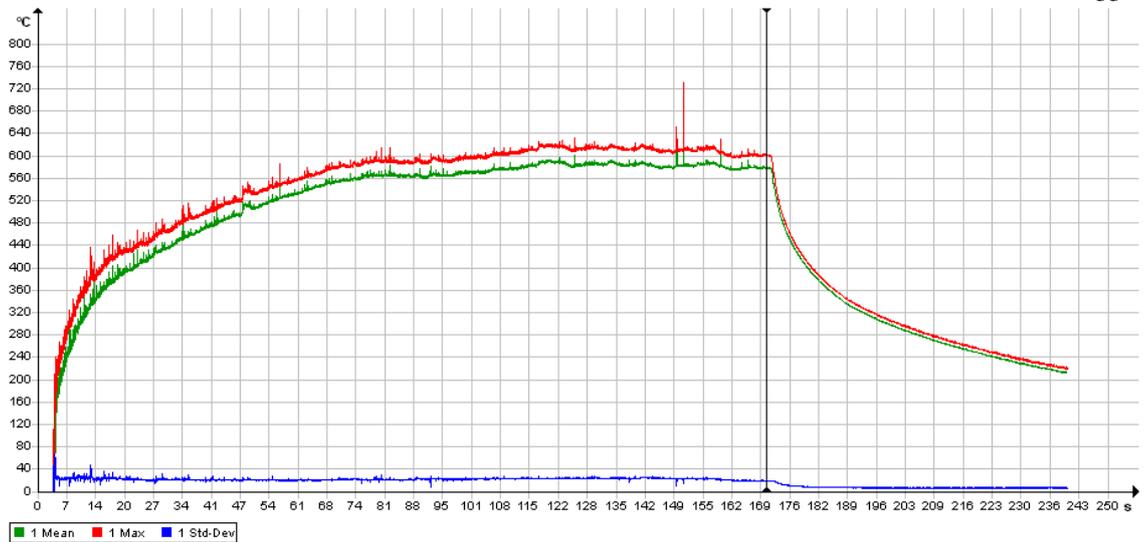


Figura 3-7 – Evolução térmica das temperaturas de processo

### 3.2.4 *Sistemas de aquisição de dados elétricos*

Para monitorar os ensaios e os processos utilizou-se um sistema de aquisição portátil de dados (SAP) desenvolvido no LABSOLDA. Este sistema pode fornecer uma leitura instantânea da corrente de soldagem, da tensão, velocidade de alimentação de arame e vazão do gás de proteção. O SAP ainda conta com um software de análise de dados utilizados nas análises dos ensaios e apresentando-os em forma de histogramas e oscilogramas, que serão interpretados para avaliar os ensaios.

### 3.2.5 *Metodologia*

Primeiramente o planejamento dos ensaios deu-se de maneira a obter uma quantidade satisfatória de medições para cada situação de soldagem estabelecida. A verificação da qualidade dos resultados antes da tomada do próximo foi um procedimento que reduziu o tempo de ensaio total.

Com o passar do tempo algumas alterações foram sendo feitas principalmente quando verificava-se a necessidade de adequação da posição do sistema em relação à câmera. Entretanto, evitou-se mudanças com relação a configuração inicial afim de não afetar a reprodutibilidade dos resultados.

As superfícies a serem soldadas eram limpas por esmerilhamento para conferir certa estabilidade do processo. As vazões de gás eram medidas no bocal da tocha, com um medidor de vazão do tipo rotâmetro, mantendo-se a vazão constante ao longo dos ensaios.

Toda a análise é feita para soldagem modo pulsado. Em virtude das dificuldades de se configurar parâmetros próprio para o ensaio, utilizou-se um programa sinérgico que oferecesse melhor estabilidade ao arco.

Em se tratando da termografia a realização dos ensaios foram satisfatórias. O fato de adquirir imagens do fenômeno em tempo real é uma clara vantagem ao método até então utilizado até então pelo laboratório, pois em virtude da rápida taxa de resfriamento do processo, realizar medições após a extinção do arco é um procedimento inadequado e fornecem informações pobres.

A utilização da janela de proteção de alta transmissividade ao infravermelho é um aparato experimental fundamental pois a mesma protege tanto a lente contra respingos quanto o sensor de ser saturado. As devidas compensações de transmissividade são realizadas via software com facilidade. O projeto e fabricação de um invólucro de proteção mecânica para a câmera térmica foi fundamental, pois o mesmo possibilitou a utilização da câmera em situação de processo, protegendo contudo o sistema contra avarias.

Com a experiência foi-se adotando uma rotina para realização dos ensaios. Os detalhes sobre os resultados e a cronologia dos ensaios serão colocados no próximo capítulo.

### **3.2.6 Procedimento experimental**

É de fundamental importância o planejamento adequado das atividades dos ensaios, pois o mesmo auxiliará no cumprimento dos objetivos gerais do trabalho, evita o retrabalho e incidentes. Faz parte dos objetivos do trabalho desenvolver uma metodologia de aplicação da termografia em processos de soldagem em tempo real. Logo, foi desenvolvida uma breve rotina de procedimentos experimentais, a qual descreve de maneira clara e sucinta como foram realizados os ensaios. Além disso, acrescenta-se observações referentes às boas práticas laboratoriais, as quais conduzem ao sucesso da aplicação da técnica termográfica aplicada aos fenômenos envolvidos no processo de soldagem, bem como evitam avarias nos sistemas envolvidos.

De maneira geral os ensaios foram organizados afim de atender as expectativas de comparação da eficiência térmica relativa entre dois sistemas de soldagem defasados em termos de projeto “design”. Para fins comparativos práticos, realiza-se os ensaios, com cada um dos sistemas, em três níveis de correntes as quais abrangem grande parte das aplicações em processos reais de soldagem. Uma delas buscando a comparação em nível de trabalho modesto traduzido em 100 A de corrente média. Uma posterior análise se concentra em um nível moderado de corrente representado pelo uso de 150 A de corrente média de processo. Finalmente realiza-se testes com níveis elevados de corrente descritos por 200 A de corrente média eficaz.

Para fins de clareza comunicativa denomina-se as tochas como sendo convencional, a que possui design clássico, bem difundido no mercado, e aletada a com um projeto que visa acoplar um trocador de calor que supostamente auxilia o processo de dissipação.

De maneira particular o procedimento inicial de ensaio dá-se iterativamente segundo a rotina descrita.

- Configuração do sistema de deslocamento Tartilope.
- Posicionamento do corpo de prova. Verificar o correto acoplamento do corpo de prova ao tartilope, afim de evitar acidentes.
- Acoplamento do cabo terra da fonte de soldagem ao corpo de prova.
- Teste de deslocamento do sistema e corpo de prova. (Interessante notar a particularidade desse procedimento experimental em deslocar o corpo de prova, ao invés da tocha de soldagem. Esse procedimento introduz alguns inconvenientes como uma pequena variação da DBCP durante o processo, porém possibilita a tomada de dados termográficos de maneira muito conveniente, pois o objeto alvo, no caso o bico de contato da tocha, permanece completamente imóvel, viabilizando a análise de temperatura em um mesmo ponto do objeto.)
- Configuração da fonte de soldagem modo MIG pulsado, não térmico, programa sinérgico C5 arame 1,2mm.
  - Determinar o nível de corrente de acordo com os objetivos gerais.
  - Teste de vazão de gás e medição da vazão.
  - Posicionamento da tocha de soldagem e relação ao corpo de prova.
  - Habilitação do processo de soldagem.
  - Solda piloto com ajuste de dimensões do arco e estabilidade do processo.
  - Posicionamento do escudo de proteção contra a radiação direta do arco na direção da câmera. Cuidado, pois uma falha nesse procedimento pode implicar na avaria do sistema de medição (sensor da câmera).
- Instalação do sistema de aquisição (SAP) de tensão, corrente e velocidade de arame. (Cuidados com os canais e transdutores relativos à calibração dos mesmos)
- Instalação do sistema termográfico.
- Posicionamento da câmera em relação ao bico de contato da tocha e ajuste do foco.
- Configuração do software de aquisição:
- Inicializar um novo projeto, com arquivo de nomenclatura adequada. (Item simples, porém importante na organização global dos resultados)
- Escolha da faixa de temperatura a ser medida.
- Correção da radiometria, propriedade transmissividade relativa a janela.
- Escolha do tipo de marcador a se utilizar. Escolheu-se o marcador do tipo linha de acordo com geometria do objeto alvo e pela característica fenomenológica de aquecimento a ser analisada ser ao longo do comprimento do mesmo.
- Ajuste da emissividade do marcador do objeto alvo.

- Ajuste de propriedades de filmagem, tempo de tomada e frequência de aquisição.
- Realizar ensaio piloto:
- Habilitação do sistema de soldagem.
- Inicialização do sistema de aquisição de dados SAP.
- Inicialização do sistema de deslocamento.
- Disparo do processo de soldagem e da aquisição de imagem simultaneamente.
- Monitoração das condições de estabilidade do processo pelo operador com eventual correção nas dimensões do arco.
- Controle do tempo de arco aberto afim de monitorar o aquecimento do sistema por tempo suficiente para atingir o patamar de temperatura de regime do processo, contudo sem exceder o tempo limite para não perder a monitoração do resfriamento.
- Desligamento do processo de soldagem.
- Parada do sistema de deslocamento.
- Finalizar e salvar os dados de aquisição do SAP com apropriada nomenclatura. (Cuidado para não prejudicar a aquisição de dados termográficos durante o resfriamento pela remoção ou deslocamento da tocha de soldagem.)
- Geração do gráfico de temperatura vs. tempo no software de aquisição.
- Verificação visual da qualidade das imagens adquiridas.
- Verificação na continuidade do gráfico. Verificação se houve estabilização térmica do processo através do gráfico. Verificação da continuidade dos processos transientes de aquecimento e resfriamento.
- Caso haja sucesso, avançar para próximo ensaio. Havendo problemas, verificar fontes de falha e repetir o processo novamente.
- Realizar o ensaio oficial:
- Verificar sempre a posição do escudo da câmera, afim de evitar avarias.
- Repetir procedimento do ensaio piloto.
- Estar atento principalmente quanto a faixa de medição do sensor, evitar a saturação ou o uso inadequado do sensor.

De maneira geral os ensaios foram organizados afim de atender as expectativas de comparação da eficiência térmica relativa entre dois sistemas de soldagem defasados em termos de projeto “design”. Para fins comparativos práticos, realiza-se os ensaios, com cada um dos sistemas, em três níveis de correntes as quais abrangem grande parte das aplicações em processos reais de soldagem. Uma delas buscando a comparação em nível de trabalho modesto traduzido em 100 A de corrente média. Uma posterior análise se concentra em um nível moderado de corrente representado pelo uso de 150 A de corrente média de processo.

Finalmente realiza-se testes com níveis elevados de corrente descritos por 200 A de corrente média eficaz.

- Denomina-se as tochas como sendo convencional, a que possui design clássico, bem difundido no mercado, e aletada a com um projeto que visa acoplar um trocador de calor que supostamente auxilia o processo de dissipação.

Parâmetro de processo comparativo	Tocha Convencional	Tocha Aletada
100 A	Ensaio C100.1	Ensaio A100.1
	Ensaio C100.2	Ensaio A100.2
150 A	Ensaio C150.1	Ensaio A150.1
	Ensaio C150.2	Ensaio A150.2
200 A	Ensaio C200.1	Ensaio A200.1
	Ensaio C200.2	Ensaio A200.2

Tabela 3.1 – Organização dos ensaios e nomenclatura adotada

### 3.2.7 Apresentação dos resultados obtidos

A apresentação dos resultados tem por objetivo análise expositiva dos resultados. Para cada ensaio individualmente, são feitos breves comentários afim de correlacionar observações feitas pelo laboratorista durante os ensaios com efeitos no comportamento dos gráficos das medições. Posteriormente, tabelas com a análise comparativa entre medições similares são feitas afim de comparar a repetitividade dos ensaios. Por fim uma análise comparativa entre as duas tochas de soldagem é feita para cada situação de processo.

Devido à grande quantidade de gráficos gerados e dados coletados, utilizou-se de um método tabular para apresentação resultados dos ensaios e realização comentários pertinentes. A sua finalidade é apresentação das principais informações relevantes a termografia de maneira técnica, detalhada e compacta. Discussões gerais são feitas nas conclusões dos ensaios.

É importante compreender o processo de ensaio realizado nesse trabalho e seus nuances afim de obter informações importantes para se implementar a termografia em trabalhos futuros. Para tanto, é imprescindível uma atenção especial aos comentários feitos no campo “observações do gráfico” contido nas tabelas.

<b>Ensaio</b>	Ensaio C100.1
<b>Tocha</b>	Convencional

<b>Corrente (RMS)</b>	100 A																																								
<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada																																								
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm																																								
<b>Informações gerais</b>	<p><b>Informações Ensaio</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Fonte 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Processo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vel. do Arame</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>Mat. do Arame</td> <td>E70S6</td> </tr> <tr> <td>Dia. do Arame</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Gas</td> <td>C25</td> </tr> <tr> <td>Vazão do Gas</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Medidas</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Fonte 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Im(A)</td> <td>90,3</td> </tr> <tr> <td>Um(V)</td> <td>24,4</td> </tr> <tr> <td>Ie(A)</td> <td>137,1</td> </tr> <tr> <td>Ue(V)</td> <td>24,8</td> </tr> <tr> <td>P(kW)</td> <td>2,6</td> </tr> <tr> <td>ta(s)</td> <td>0,36</td> </tr> <tr> <td>tc(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>T(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Vm(mm3)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Dm(mm)</td> <td>6,01</td> </tr> <tr> <td>dis/dt (A/ms)</td> <td>123,6</td> </tr> <tr> <td>dcd/dt (A/ms)</td> <td>119,1</td> </tr> </tbody> </table>	Fonte 2		Processo		Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E70S6	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12	Fonte 2		Im(A)	90,3	Um(V)	24,4	Ie(A)	137,1	Ue(V)	24,8	P(kW)	2,6	ta(s)	0,36	tc(s)	0,00	T(s)	0,00	Vm(mm3)	0,00	Dm(mm)	6,01	dis/dt (A/ms)	123,6	dcd/dt (A/ms)	119,1
Fonte 2																																									
Processo																																									
Vel. do Arame	5,0																																								
Mat. do Arame	E70S6																																								
Dia. do Arame	1,2																																								
Tipo de Gas	C25																																								
Vazão do Gas	12																																								
Fonte 2																																									
Im(A)	90,3																																								
Um(V)	24,4																																								
Ie(A)	137,1																																								
Ue(V)	24,8																																								
P(kW)	2,6																																								
ta(s)	0,36																																								
tc(s)	0,00																																								
T(s)	0,00																																								
Vm(mm3)	0,00																																								
Dm(mm)	6,01																																								
dis/dt (A/ms)	123,6																																								
dcd/dt (A/ms)	119,1																																								

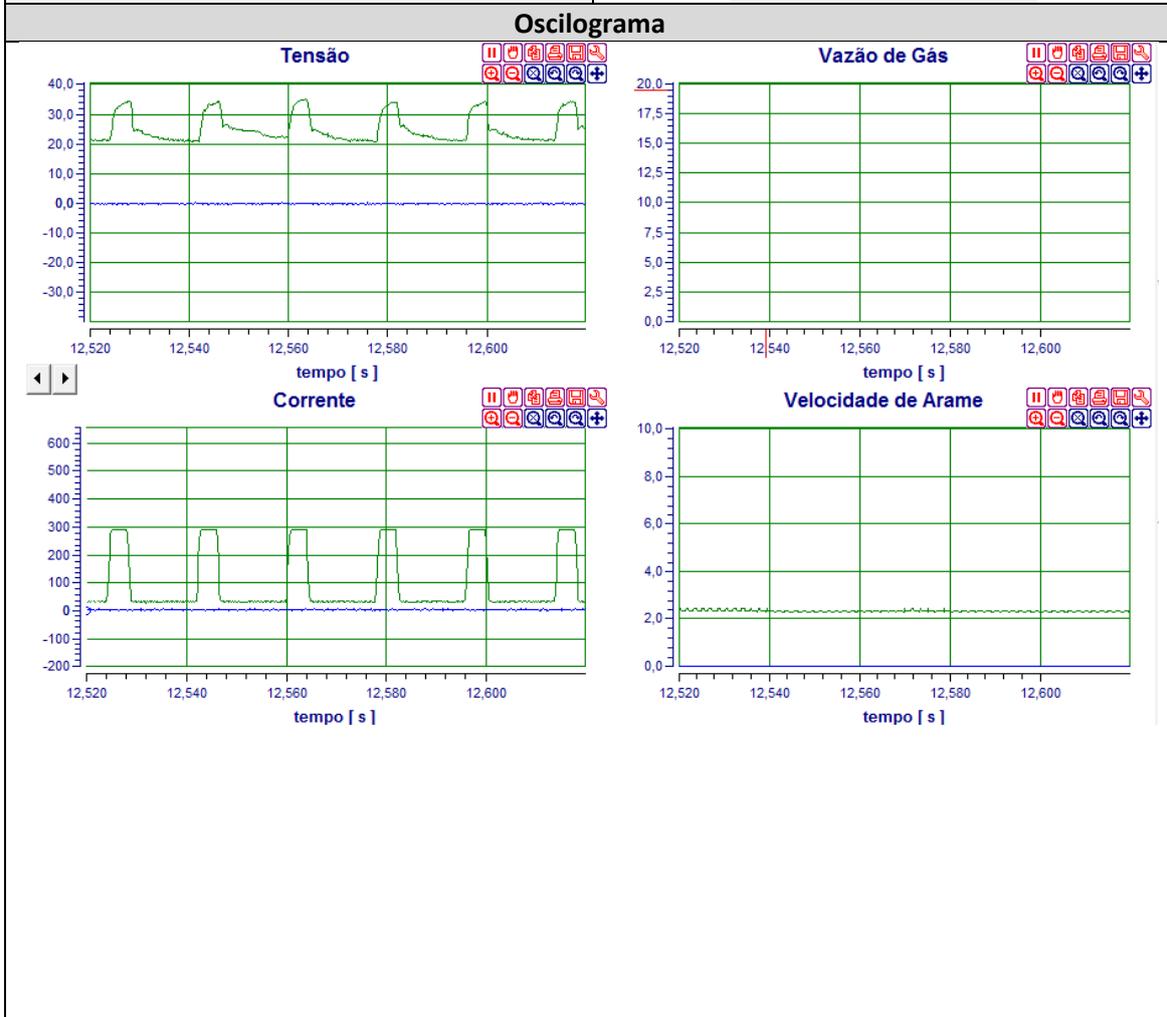


Tabela 3.2 – Ensaio 1 tocha Convencional 100 A

**Gráfico (temperatura x tempo)**

Variáveis de medição	Temperaturas máxima, média e desvio padrão
Tempo de processo (segundos)	58
<b>Observações do gráfico</b>	Tempo de análise inadequado. Poder-se-ia melhorar a qualidade dos dados obtidos mantendo um tempo maior de processo, afim de atingi o nível de temperatura de regime.
<b>Imagem termográfica</b>	
<b>Faixa de medição do sensor</b>	
300 – 1500 °C	
<b>Escala de cores da palheta</b>	
250 – 350 °C	
<b>Instante do processo de imagem</b>	
Extinção do arco	
<b>Observações do Termograma</b>	Nova medição realizada adequando-se a faixa de medição as temperaturas envolvidas no fenômeno.
<b>Técnica de soldagem</b>	
Passes	Único
Deslocamento de tocha	Linear
Diâmetro de bocal de gás de proteção	20mm
Distância Eletrodo-Peça	15 mm
Bico de Contato-Peça	12mm, revestido com cerâmica
Ângulo de inclinação da tocha	0 graus
Limpeza inicial da peça	Lixamento com esmeril
Intervalo máximo entre 1° e 2° passe	n/a

<b>Tocha</b>	Convencional																																												
<b>Corrente (RMS)</b>	100 A																																												
<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada																																												
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm																																												
<b>Informações gerais</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Informações Ensaio</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Processo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vel. do Arame</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>Mat. do Arame</td> <td>E 7056</td> </tr> <tr> <td>Dia. do Arame</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Gas</td> <td>C25</td> </tr> <tr> <td>Vazão do Gas</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Medidas</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Im(A)</td> <td>102,8</td> </tr> <tr> <td>Um(V)</td> <td>24,3</td> </tr> <tr> <td>Ie(A)</td> <td>148,5</td> </tr> <tr> <td>Ue(V)</td> <td>24,6</td> </tr> <tr> <td>P(kW)</td> <td>2,9</td> </tr> <tr> <td>ta(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>tc(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>T(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Vm(mm<sup>3</sup>)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Dm(mm)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>di/dt (A/ms)</td> <td>117,8</td> </tr> <tr> <td>dd/dt (A/ms)</td> <td>132,2</td> </tr> </tbody> </table>	Informações Ensaio			Fonte 1	Processo		Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E 7056	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12	Medidas			Fonte 1	Im(A)	102,8	Um(V)	24,3	Ie(A)	148,5	Ue(V)	24,6	P(kW)	2,9	ta(s)	0,00	tc(s)	0,00	T(s)	0,00	Vm(mm <sup>3</sup> )	0,00	Dm(mm)	0,00	di/dt (A/ms)	117,8	dd/dt (A/ms)	132,2
Informações Ensaio																																													
	Fonte 1																																												
Processo																																													
Vel. do Arame	5,0																																												
Mat. do Arame	E 7056																																												
Dia. do Arame	1,2																																												
Tipo de Gas	C25																																												
Vazão do Gas	12																																												
Medidas																																													
	Fonte 1																																												
Im(A)	102,8																																												
Um(V)	24,3																																												
Ie(A)	148,5																																												
Ue(V)	24,6																																												
P(kW)	2,9																																												
ta(s)	0,00																																												
tc(s)	0,00																																												
T(s)	0,00																																												
Vm(mm <sup>3</sup> )	0,00																																												
Dm(mm)	0,00																																												
di/dt (A/ms)	117,8																																												
dd/dt (A/ms)	132,2																																												

**Oscilograma**

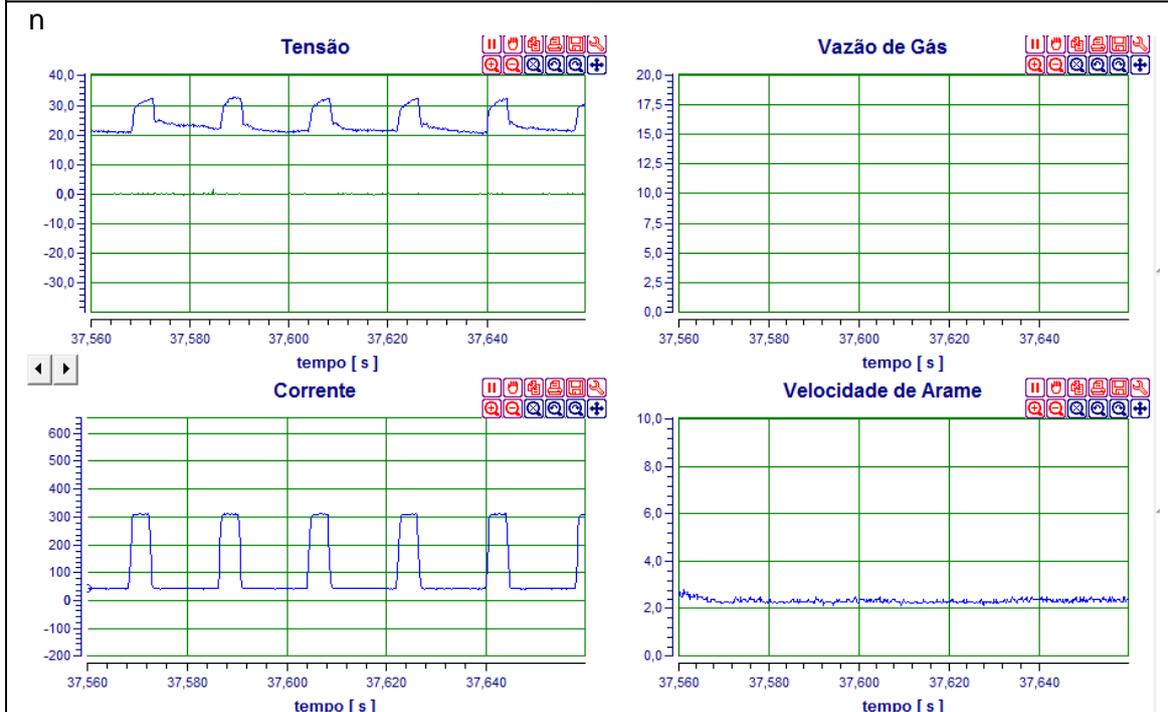


Tabela 3.3 – Ensaio 2 tocha Convencional 100 A

**Gráfico (temperatura x tempo)**

Variáveis de medição	Temperaturas máxima, média e desvio padrão
Tempo de processo (s)	94
<b>Observações do gráfico</b>	Pode-se verificar que o processo atinge um nível de temperatura de processo estável, denominada temperatura de regime. Observa-se um fenômeno interessante: uma sobre passagem e posterior resfriamento em torno de 40 s. As causas da sobre passagem serão especuladas posteriormente
<b>Imagem termográfica</b>	
<b>Faixa de medição do sensor</b>	300 – 1500 °C
<b>Escala de cores da palheta</b>	250 – 500 °C
<b>Instante do processo de imagem</b>	Extinção do arco
<b>Observações do Termograma</b>	
<b>Técnica de soldagem</b>	
Passes	Único
Deslocamento de tocha	Linear
Diâmetro de bocal	20mm
Distância Eletrodo-Peça	15 mm
Bico de Contato-Peça	12mm, revestido com cerâmica
Ângulo de inclinação da tocha	0 graus
Limpeza inicial da peça	Lixamento com esmeril
Intervalo máximo entre 1° e 2° passe	n/a
<b>Ensaio</b>	Ensaio A100.1

<b>Tocha</b>	Aletada
<b>Corrente (RMS)</b>	100 A
<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm

<b>Informações gerais</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Informações Ensaio</th> </tr> <tr> <th>Processo</th> <td>Fonte 1</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vel. do Arame</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>Mat. do Arame</td> <td>E70S6</td> </tr> <tr> <td>Dia. do Arame</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Gas</td> <td>C25</td> </tr> <tr> <td>Vazão do Gas</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table>	Informações Ensaio		Processo	Fonte 1	Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E70S6	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12														
	Informações Ensaio																												
Processo	Fonte 1																												
Vel. do Arame	5,0																												
Mat. do Arame	E70S6																												
Dia. do Arame	1,2																												
Tipo de Gas	C25																												
Vazão do Gas	12																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Medidas</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Im(A)</td> <td>102,7</td> </tr> <tr> <td>Um(V)</td> <td>23,4</td> </tr> <tr> <td>Ie(A)</td> <td>148,5</td> </tr> <tr> <td>Ue(V)</td> <td>23,9</td> </tr> <tr> <td>Pj(kW)</td> <td>2,9</td> </tr> <tr> <td>ta(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>tc(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>T(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Vm(mm<sup>3</sup>)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Dm(mm)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>dis/dt (A/ms)</td> <td>119,7</td> </tr> <tr> <td>did/dt (A/ms)</td> <td>129,6</td> </tr> </tbody> </table>	Medidas			Fonte 1	Im(A)	102,7	Um(V)	23,4	Ie(A)	148,5	Ue(V)	23,9	Pj(kW)	2,9	ta(s)	0,00	tc(s)	0,00	T(s)	0,00	Vm(mm <sup>3</sup> )	0,00	Dm(mm)	0,00	dis/dt (A/ms)	119,7	did/dt (A/ms)	129,6
Medidas																													
	Fonte 1																												
Im(A)	102,7																												
Um(V)	23,4																												
Ie(A)	148,5																												
Ue(V)	23,9																												
Pj(kW)	2,9																												
ta(s)	0,00																												
tc(s)	0,00																												
T(s)	0,00																												
Vm(mm <sup>3</sup> )	0,00																												
Dm(mm)	0,00																												
dis/dt (A/ms)	119,7																												
did/dt (A/ms)	129,6																												



Tabela 3.4 – Ensaio 1 tocha Aletada 100 A

Variáveis de medição		Temperaturas máxima, média e desvio padrão	
Tempo de processo (s)		105	
<b>Observações do gráfico</b>		<p>Temperatura de regime do processo atingida, apesar de haver uma certa instabilidade expressa pelas oscilações. Presença de elevado ruído na medição, verificado pela presença de grande dispersão ao longo da medição, mensurado pelo nível de desvio padrão (curva azul). A causa de tal fato são os respingos típicos de processos instáveis.</p>	
<b>Imagem termográfica</b>			
<b>Faixa de medição do sensor</b>			
5 – 300 °C			
<b>Escala de cores da palheta</b>			
100 - 300 °C			
<b>Instante do processo de imagem</b>			
Extinção do arco			
<b>Observações do Termograma</b>			
<b>Técnica de soldagem</b>			
Passes	Único		
Deslocamento de tocha	Linear		
Diâmetro de bocal	20mm		
Distância Eletrodo-Peça	15 mm		
Bico de Contato-Peça	12mm, revestido com cerâmica		
Limpeza inicial da peça	Lixamento com esmeril		
<b>Ensaio</b>		Ensaio A100.2	

<b>Tocha</b>	Aletada
<b>Corrente (RMS)</b>	100 A
<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm

<b>Informações gerais</b>	<p><b>Informações Ensaio</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Processo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vel. do Arame</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>Mat. do Arame</td> <td>E 7056</td> </tr> <tr> <td>Dia. do Arame</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Gas</td> <td>C25</td> </tr> <tr> <td>Vazão do Gas</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Medidas</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Im(A)</td> <td>101,5</td> </tr> <tr> <td>Um(V)</td> <td>27,0</td> </tr> <tr> <td>Ie(A)</td> <td>147,1</td> </tr> <tr> <td>Ue(V)</td> <td>27,4</td> </tr> <tr> <td>P(kW)</td> <td>3,2</td> </tr> <tr> <td>ta(s)</td> <td>20,13</td> </tr> <tr> <td>tc(s)</td> <td>0,87</td> </tr> <tr> <td>T(s)</td> <td>21,00</td> </tr> <tr> <td>Vm(mm3)</td> <td>1,22</td> </tr> <tr> <td>Dm(mm)</td> <td>1,33</td> </tr> <tr> <td>dis/dt (A/ms)</td> <td>120,2</td> </tr> <tr> <td>dcd/dt (A/ms)</td> <td>129,7</td> </tr> </tbody> </table>		Fonte 1	Processo		Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E 7056	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12		Fonte 1	Im(A)	101,5	Um(V)	27,0	Ie(A)	147,1	Ue(V)	27,4	P(kW)	3,2	ta(s)	20,13	tc(s)	0,87	T(s)	21,00	Vm(mm3)	1,22	Dm(mm)	1,33	dis/dt (A/ms)	120,2	dcd/dt (A/ms)	129,7
	Fonte 1																																								
Processo																																									
Vel. do Arame	5,0																																								
Mat. do Arame	E 7056																																								
Dia. do Arame	1,2																																								
Tipo de Gas	C25																																								
Vazão do Gas	12																																								
	Fonte 1																																								
Im(A)	101,5																																								
Um(V)	27,0																																								
Ie(A)	147,1																																								
Ue(V)	27,4																																								
P(kW)	3,2																																								
ta(s)	20,13																																								
tc(s)	0,87																																								
T(s)	21,00																																								
Vm(mm3)	1,22																																								
Dm(mm)	1,33																																								
dis/dt (A/ms)	120,2																																								
dcd/dt (A/ms)	129,7																																								

**Oscilograma**

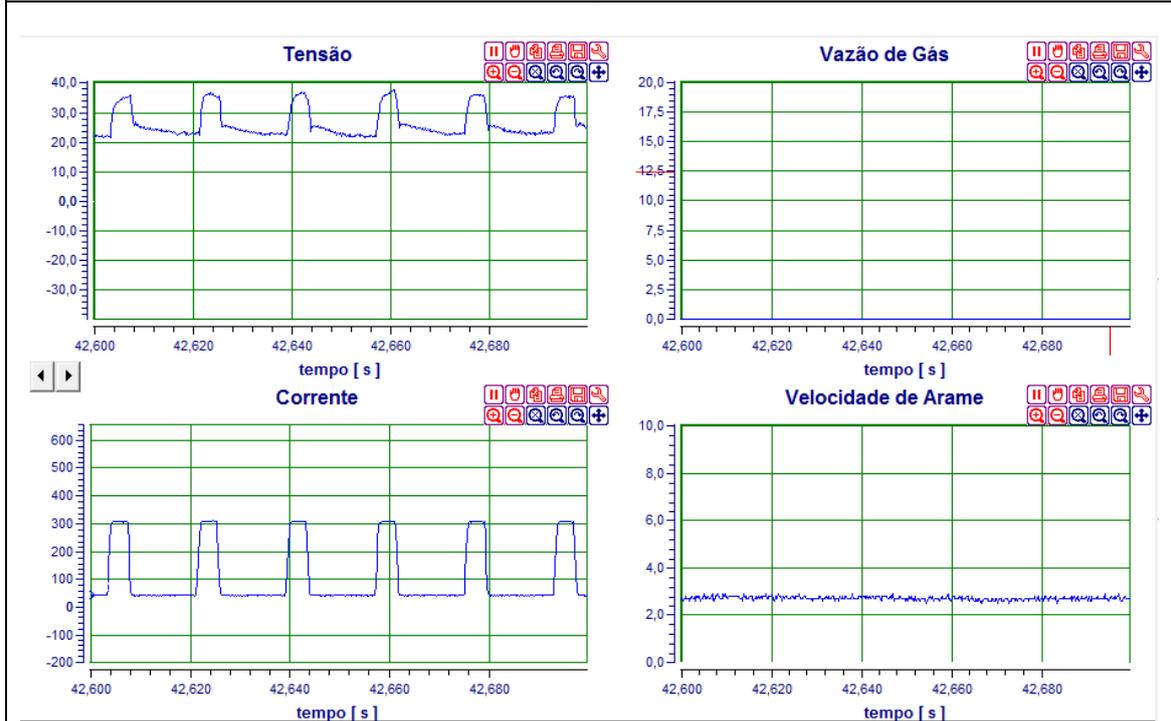


Tabela 3.5 – Ensaio 2 tocha Aletada 100 A

**Gráfico (temperatura x tempo)**

Variáveis de medição	Temperaturas máxima, média e desvio padrão
Tempo de processo (s)	170
<b>Observações do gráfico</b>	A realização da medição por períodos prolongados foi em decorrência da necessidade de verificação da mantabilidade da temperatura de regime. Verifica-se que há estabilidade térmica após certo tempo de processo.
<b>Imagem termográfica</b>	
<b>Faixa de medição do sensor</b>	
5 – 300 °C	
<b>Escala d de cores da palheta</b>	
100 - 300 °C	
<b>Instante do processo de imagem</b>	
Extinção do arco	
<b>Observações do Termograma</b>	
<b>Técnica de soldagem</b>	
Passes	Único
Deslocamento de tocha	Linear
Diâmetro de bocal	20mm
Distância Eletrodo-Peça	15 mm
Bico de Contato-Peça	12mm, revestido com cerâmica
Ângulo de inclinação da tocha	0 graus
Limpeza inicial da peça	Lixamento com esmeril
Intervalo máximo entre 1° e 2° passe	n/a

<b>Tocha</b>	Convencional																																								
<b>Corrente (RMS)</b>	150 A																																								
<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada																																								
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm																																								
<b>Informações gerais</b>	<p><b>Informações Ensaio</b></p> <table border="1"> <tr><th colspan="2">Fonte 1</th></tr> <tr><td>Processo</td><td></td></tr> <tr><td>Vel. do Arame</td><td>5,0</td></tr> <tr><td>Mat. do Arame</td><td>E 70S6</td></tr> <tr><td>Dia. do Arame</td><td>1,2</td></tr> <tr><td>Tipo de Gas</td><td>C25</td></tr> <tr><td>Vazão do Gas</td><td>12</td></tr> </table> <p><b>Medidas</b></p> <table border="1"> <tr><th colspan="2">Fonte 1</th></tr> <tr><td>Im(A)</td><td>108,4</td></tr> <tr><td>Um(V)</td><td>17,7</td></tr> <tr><td>Ie(A)</td><td>157,0</td></tr> <tr><td>Ue(V)</td><td>20,4</td></tr> <tr><td>P(kW)</td><td>2,8</td></tr> <tr><td>te(s)</td><td>31,08</td></tr> <tr><td>tc(s)</td><td>14,97</td></tr> <tr><td>T(s)</td><td>46,04</td></tr> <tr><td>Vn(mm3)</td><td>337,93</td></tr> <tr><td>Dm(mm)</td><td>8,64</td></tr> <tr><td>ds/dt (A/ms)</td><td>107,1</td></tr> <tr><td>did/dt (A/ms)</td><td>122,4</td></tr> </table>	Fonte 1		Processo		Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E 70S6	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12	Fonte 1		Im(A)	108,4	Um(V)	17,7	Ie(A)	157,0	Ue(V)	20,4	P(kW)	2,8	te(s)	31,08	tc(s)	14,97	T(s)	46,04	Vn(mm3)	337,93	Dm(mm)	8,64	ds/dt (A/ms)	107,1	did/dt (A/ms)	122,4
Fonte 1																																									
Processo																																									
Vel. do Arame	5,0																																								
Mat. do Arame	E 70S6																																								
Dia. do Arame	1,2																																								
Tipo de Gas	C25																																								
Vazão do Gas	12																																								
Fonte 1																																									
Im(A)	108,4																																								
Um(V)	17,7																																								
Ie(A)	157,0																																								
Ue(V)	20,4																																								
P(kW)	2,8																																								
te(s)	31,08																																								
tc(s)	14,97																																								
T(s)	46,04																																								
Vn(mm3)	337,93																																								
Dm(mm)	8,64																																								
ds/dt (A/ms)	107,1																																								
did/dt (A/ms)	122,4																																								

**Oscilograma**

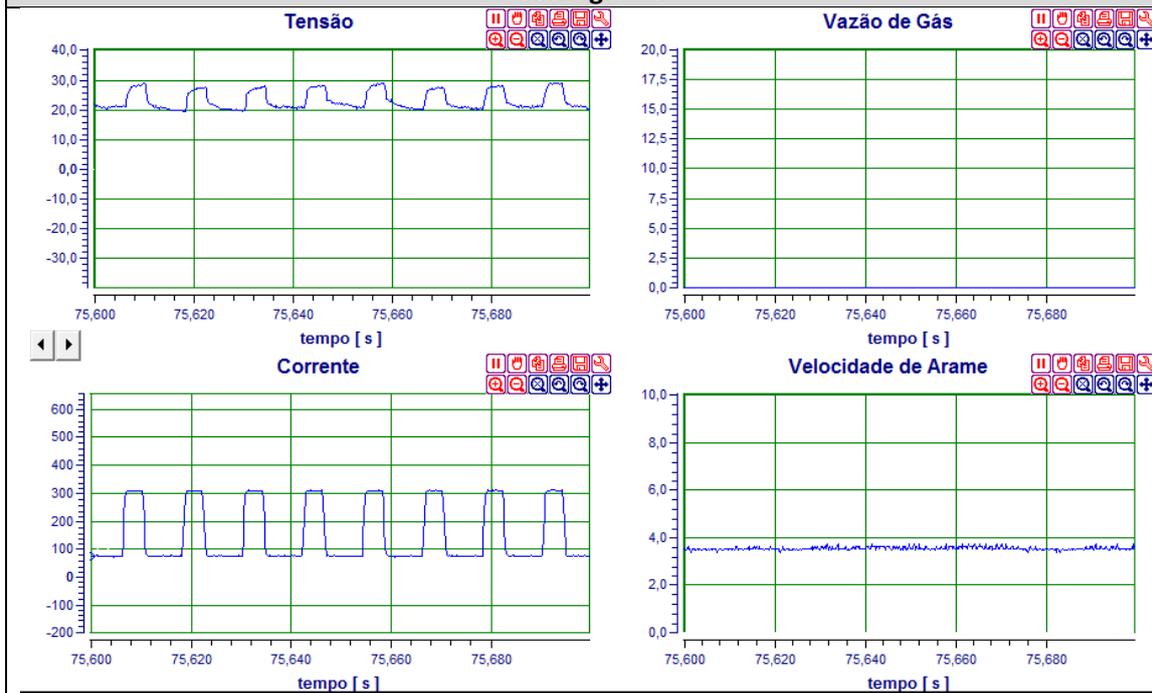


Tabela 3.6 – Ensaio 1 tocha Convencional 150 A

**Gráfico (temperatura x tempo)**

Variáveis de medição

Temperaturas máxima, média e desvio padrão

Tempo de processo (s)		115
<b>Observações do gráfico</b>	Medição relativamente isenta de ruído. Contudo, a temperatura de regime do processo não foi atingida pelo tempo insuficiente, ou pela alteração contínua do comprimento do arco na fonte em virtude da alteração da DBCP durante o processo. (Flexão do corpo de prova por tensões térmicas durante o processo.)	
Imagem termográfica		
<b>Faixa de medição do sensor</b>	300 – 1500 °C	
<b>Escala d de cores da palheta</b>	300 - 700 °C	
<b>Instante do processo de imagem</b>	Extinção do arco	
<b>Observações do Termograma</b>		
Técnica de soldagem		
Passes	Único	
Deslocamento de tocha	Linear	
Diâmetro de bocal	20mm	
Distância Eletrodo-Peça	15 mm inicial, variável decrescente	
Bico de Contato-Peça	12mm, revestido com cerâmica	
Ângulo de inclinação da tocha	0 graus	
Limpeza inicial da peça	Lixamento com esmeril	
Intervalo máximo entre 1° e 2° passe	n/a	
<b>Ensaio</b>	Ensaio C150.2	
<b>Tocha</b>	Convencional	

<b>Corrente (RMS)</b>	150 A
<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm

<b>Informações gerais</b>	<b>Informações Ensaio</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Processo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vel. do Arame</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>Mat. do Arame</td> <td>E7056</td> </tr> <tr> <td>Dia. do Arame</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Gas</td> <td>C25</td> </tr> <tr> <td>Vazão do Gas</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table>	Fonte 1		Processo		Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E7056	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12												
	Fonte 1																										
Processo																											
Vel. do Arame	5,0																										
Mat. do Arame	E7056																										
Dia. do Arame	1,2																										
Tipo de Gas	C25																										
Vazão do Gas	12																										
	<b>Medidas</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Im(A)</td> <td>155,1</td> </tr> <tr> <td>Um(V)</td> <td>25,7</td> </tr> <tr> <td>Ie(A)</td> <td>188,0</td> </tr> <tr> <td>Ue(V)</td> <td>25,9</td> </tr> <tr> <td>P(kW)</td> <td>4,3</td> </tr> <tr> <td>ta(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>tc(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>T(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Vm(mm3)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Dm(mm)</td> <td>8,64</td> </tr> <tr> <td>ds/dt (A/ms)</td> <td>103,9</td> </tr> <tr> <td>di/dt (A/ms)</td> <td>102,9</td> </tr> </tbody> </table>	Fonte 1		Im(A)	155,1	Um(V)	25,7	Ie(A)	188,0	Ue(V)	25,9	P(kW)	4,3	ta(s)	0,00	tc(s)	0,00	T(s)	0,00	Vm(mm3)	0,00	Dm(mm)	8,64	ds/dt (A/ms)	103,9	di/dt (A/ms)	102,9
Fonte 1																											
Im(A)	155,1																										
Um(V)	25,7																										
Ie(A)	188,0																										
Ue(V)	25,9																										
P(kW)	4,3																										
ta(s)	0,00																										
tc(s)	0,00																										
T(s)	0,00																										
Vm(mm3)	0,00																										
Dm(mm)	8,64																										
ds/dt (A/ms)	103,9																										
di/dt (A/ms)	102,9																										

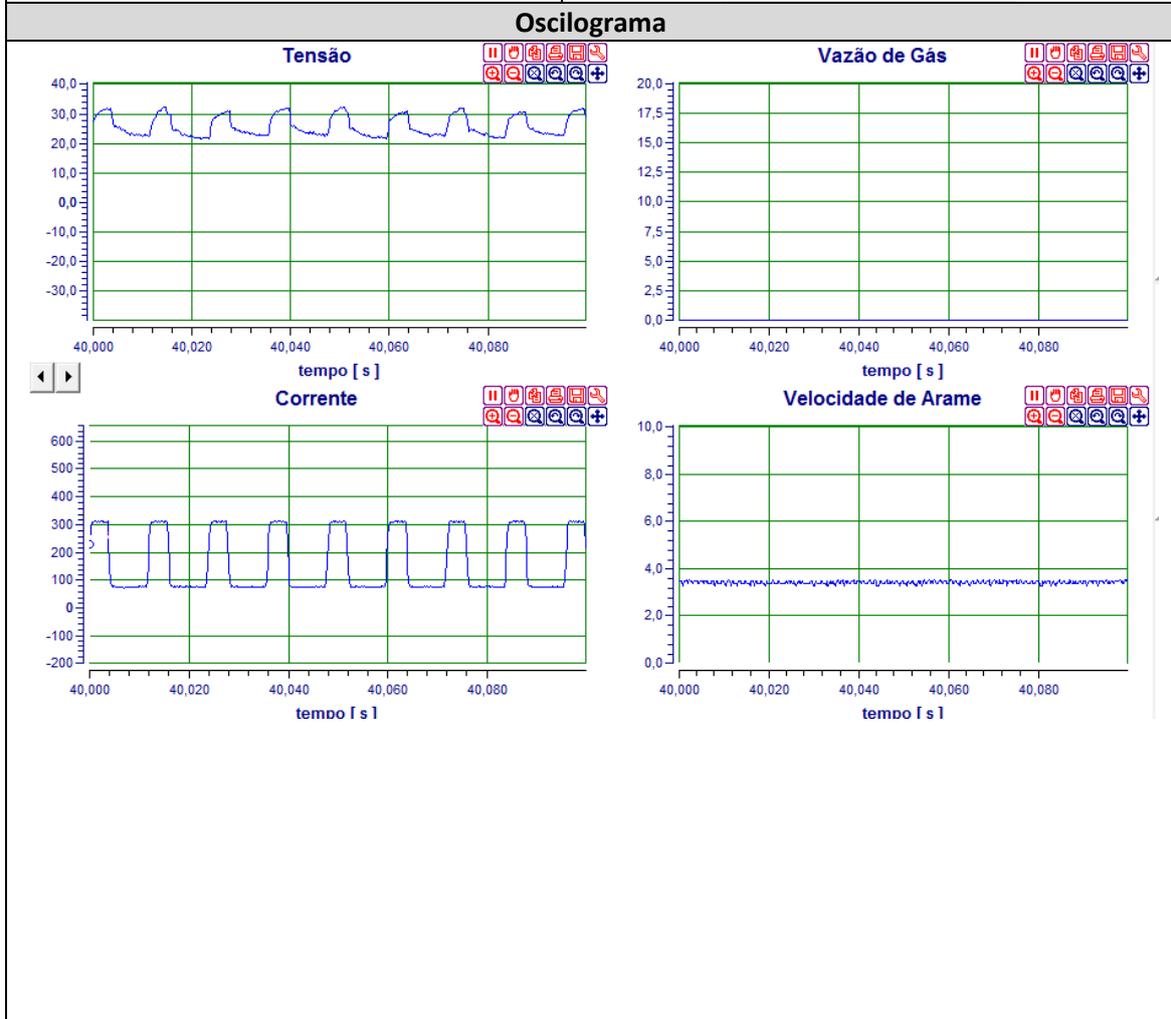


Tabela 3.7 – Ensaio 2 tocha Convencional 150 A

<b>Gráfico (temperatura x tempo)</b>	
Variáveis de medição	Temperaturas máxima, média e desvio padrão

Tempo de processo (s)		165
<b>Observações do gráfico</b>	Medição de qualidade satisfatória. Temperatura de regime apresenta estabilidade e baixo ruído. Permitirá uma adequada comparação entre os sistemas. Ainda há a dúvida das origens das oscilações em regime porém, há evidências intuitivas da origem no comprimento de arco.	
<b>Imagem termográfica</b>		
<b>Faixa de medição do sensor</b>	300 – 1500 °C	
<b>Escala d de cores da palheta</b>	300 - 700 °C	
<b>Instante do processo de imagem</b>	Extinção do arco	
<b>Observações do Termograma</b>		
<b>Técnica de soldagem</b>		
Passes	Único	
Deslocamento de tocha	Linear	
Diâmetro de bocal	20mm	
Distância Eletrodo-Peça	15 mm inicial, variável decrescente	
Bico de Contato-Peça	12mm, revestido com cerâmica	
Ângulo de inclinação da tocha	0 graus	
Limpeza inicial da peça	Lixamento com esmeril	
Intervalo máximo entre 1º e 2º passe	n/a	
<b>Ensaio</b>	Ensaio A150.1	
<b>Tocha</b>	Aletada	

<b>Corrente (RMS)</b>	150 A																																								
<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada																																								
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm																																								
<b>Informações gerais</b>	<p><b>Informações Ensaio</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Processo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vel. do Arame</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>Mat. do Arame</td> <td>E 7056</td> </tr> <tr> <td>Dia. do Arame</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Gas</td> <td>C25</td> </tr> <tr> <td>Vazão do Gas</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Medidas</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I<sub>m</sub>(A)</td> <td>151,9</td> </tr> <tr> <td>U<sub>m</sub>(V)</td> <td>26,3</td> </tr> <tr> <td>I<sub>e</sub>(A)</td> <td>184,5</td> </tr> <tr> <td>U<sub>e</sub>(V)</td> <td>26,6</td> </tr> <tr> <td>P(kW)</td> <td>4,4</td> </tr> <tr> <td>t<sub>a</sub>(s)</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>t<sub>c</sub>(s)</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>T(s)</td> <td>0,99</td> </tr> <tr> <td>V<sub>m</sub>(mm<sup>3</sup>)</td> <td>6,50</td> </tr> <tr> <td>D<sub>m</sub>(mm)</td> <td>2,32</td> </tr> <tr> <td>dis/dt (A/ms)</td> <td>103,1</td> </tr> <tr> <td>did/dt (A/ms)</td> <td>107,1</td> </tr> </tbody> </table>		Fonte 1	Processo		Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E 7056	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12		Fonte 1	I <sub>m</sub> (A)	151,9	U <sub>m</sub> (V)	26,3	I <sub>e</sub> (A)	184,5	U <sub>e</sub> (V)	26,6	P(kW)	4,4	t <sub>a</sub> (s)	0,98	t <sub>c</sub> (s)	0,00	T(s)	0,99	V <sub>m</sub> (mm <sup>3</sup> )	6,50	D <sub>m</sub> (mm)	2,32	dis/dt (A/ms)	103,1	did/dt (A/ms)	107,1
	Fonte 1																																								
Processo																																									
Vel. do Arame	5,0																																								
Mat. do Arame	E 7056																																								
Dia. do Arame	1,2																																								
Tipo de Gas	C25																																								
Vazão do Gas	12																																								
	Fonte 1																																								
I <sub>m</sub> (A)	151,9																																								
U <sub>m</sub> (V)	26,3																																								
I <sub>e</sub> (A)	184,5																																								
U <sub>e</sub> (V)	26,6																																								
P(kW)	4,4																																								
t <sub>a</sub> (s)	0,98																																								
t <sub>c</sub> (s)	0,00																																								
T(s)	0,99																																								
V <sub>m</sub> (mm <sup>3</sup> )	6,50																																								
D <sub>m</sub> (mm)	2,32																																								
dis/dt (A/ms)	103,1																																								
did/dt (A/ms)	107,1																																								

### Oscilograma

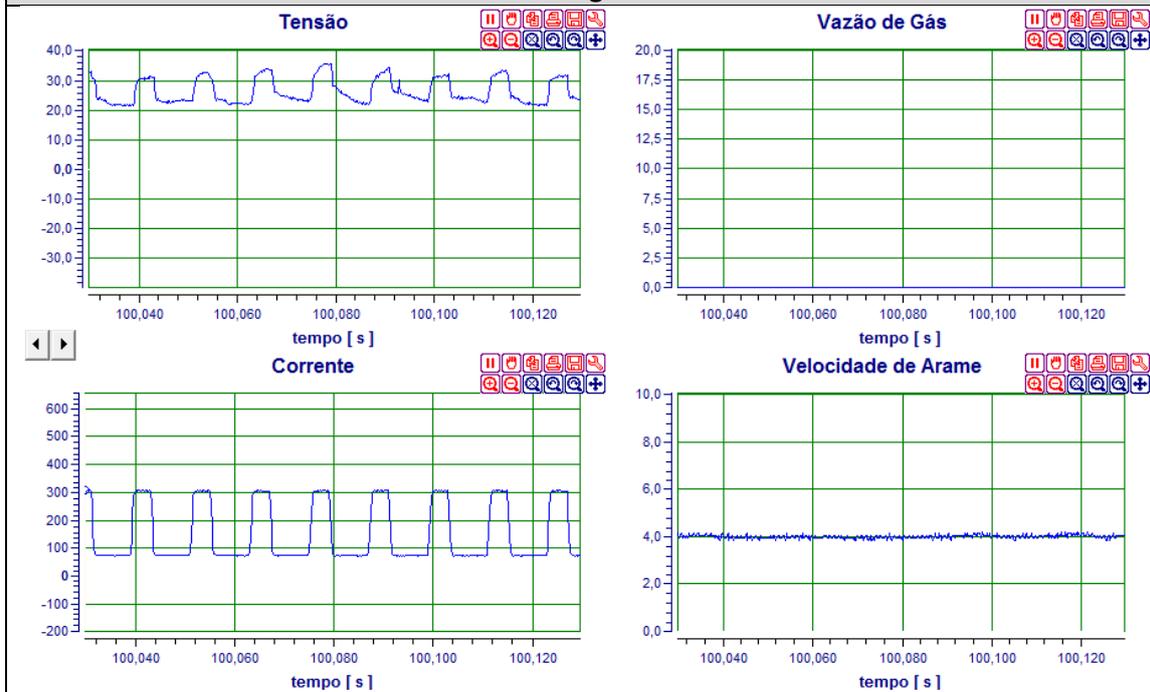
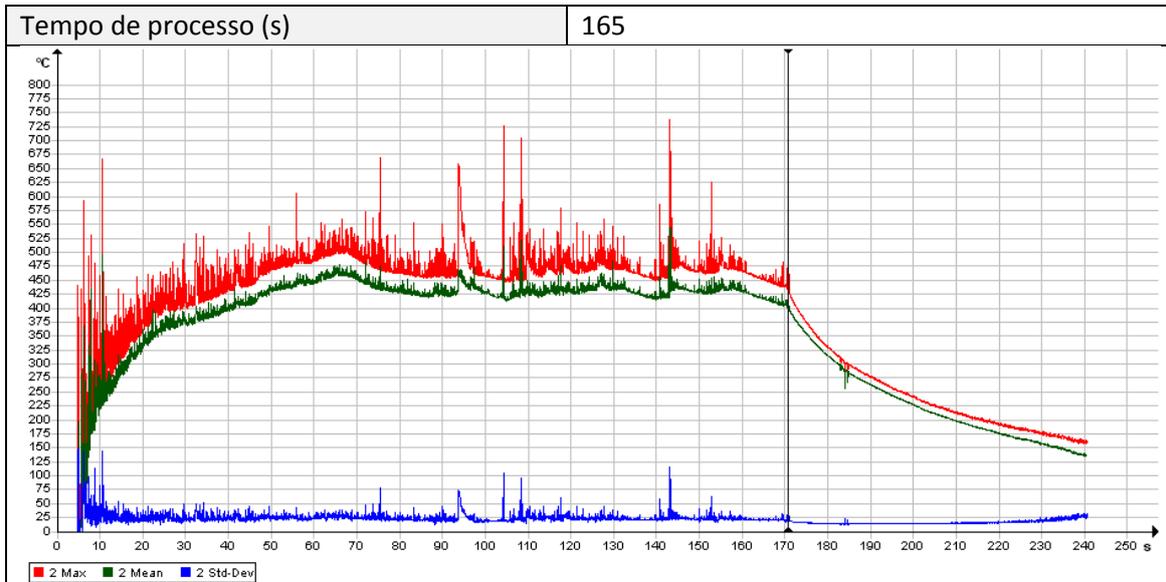


Tabela 3.8 – Ensaio 1 tocha Aletada 150 A

### Gráfico (temperatura x tempo)

Variáveis de medição

Temperaturas máxima, média e desvio padrão

**Observações do gráfico**

Verifica-se a estabilidade de temperatura de regime, fato que viabiliza a análise comparativa entre processos similares e dissimilares.

**Imagem termográfica**

<b>Faixa de medição do sensor</b>	
300 – 1500 °C	
<b>Escala d de cores da palheta</b>	
350 - 500 °C	
<b>Instante do processo de imagem</b>	
Extinção do arco	
<b>Observações do Termograma</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span style="font-size: small;">349.83</span> <span style="font-size: small;">0</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center; margin-top: 5px;"> <span style="font-size: x-small;">■ ■ ■</span> <span style="font-size: x-small;">°C</span> </div>

**Técnica de soldagem**

Passes	Único
Deslocamento de tocha	Linear
Diâmetro de bocal	20mm
Distância Eletrodo-Peça	15 mm
Bico de Contato-Peça	12mm, revestido com cerâmica
Ângulo de inclinação da tocha	0 graus
Limpeza inicial da peça	Lixamento com esmeril
Intervalo máximo entre 1° e 2° passe	n/a

<b>Ensaio</b>	Ensaio A150.2
<b>Tocha</b>	Aletada

<b>Corrente (RMS)</b>	150 A																																								
<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada																																								
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm																																								
<b>Informações gerais</b>	<p><b>Informações Ensaio</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Processo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vel. do Arame</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>Mat. do Arame</td> <td>E 70S6</td> </tr> <tr> <td>Dia. do Arame</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Gas</td> <td>C25</td> </tr> <tr> <td>Vazão do Gas</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Medidas</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Im(A)</td> <td>152,1</td> </tr> <tr> <td>Um(V)</td> <td>26,5</td> </tr> <tr> <td>Ie(A)</td> <td>184,7</td> </tr> <tr> <td>Ue(V)</td> <td>26,8</td> </tr> <tr> <td>P(kW)</td> <td>4,4</td> </tr> <tr> <td>ta(s)</td> <td>0,99</td> </tr> <tr> <td>tc(s)</td> <td>0,01</td> </tr> <tr> <td>T(s)</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Vm(mm3)</td> <td>4,90</td> </tr> <tr> <td>Dm(mm)</td> <td>2,11</td> </tr> <tr> <td>ds/dt (A/ms)</td> <td>94,6</td> </tr> <tr> <td>di/dt (A/ms)</td> <td>121,6</td> </tr> </tbody> </table>	Fonte 1		Processo		Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E 70S6	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12	Fonte 1		Im(A)	152,1	Um(V)	26,5	Ie(A)	184,7	Ue(V)	26,8	P(kW)	4,4	ta(s)	0,99	tc(s)	0,01	T(s)	1,00	Vm(mm3)	4,90	Dm(mm)	2,11	ds/dt (A/ms)	94,6	di/dt (A/ms)	121,6
Fonte 1																																									
Processo																																									
Vel. do Arame	5,0																																								
Mat. do Arame	E 70S6																																								
Dia. do Arame	1,2																																								
Tipo de Gas	C25																																								
Vazão do Gas	12																																								
Fonte 1																																									
Im(A)	152,1																																								
Um(V)	26,5																																								
Ie(A)	184,7																																								
Ue(V)	26,8																																								
P(kW)	4,4																																								
ta(s)	0,99																																								
tc(s)	0,01																																								
T(s)	1,00																																								
Vm(mm3)	4,90																																								
Dm(mm)	2,11																																								
ds/dt (A/ms)	94,6																																								
di/dt (A/ms)	121,6																																								

**Oscilograma**

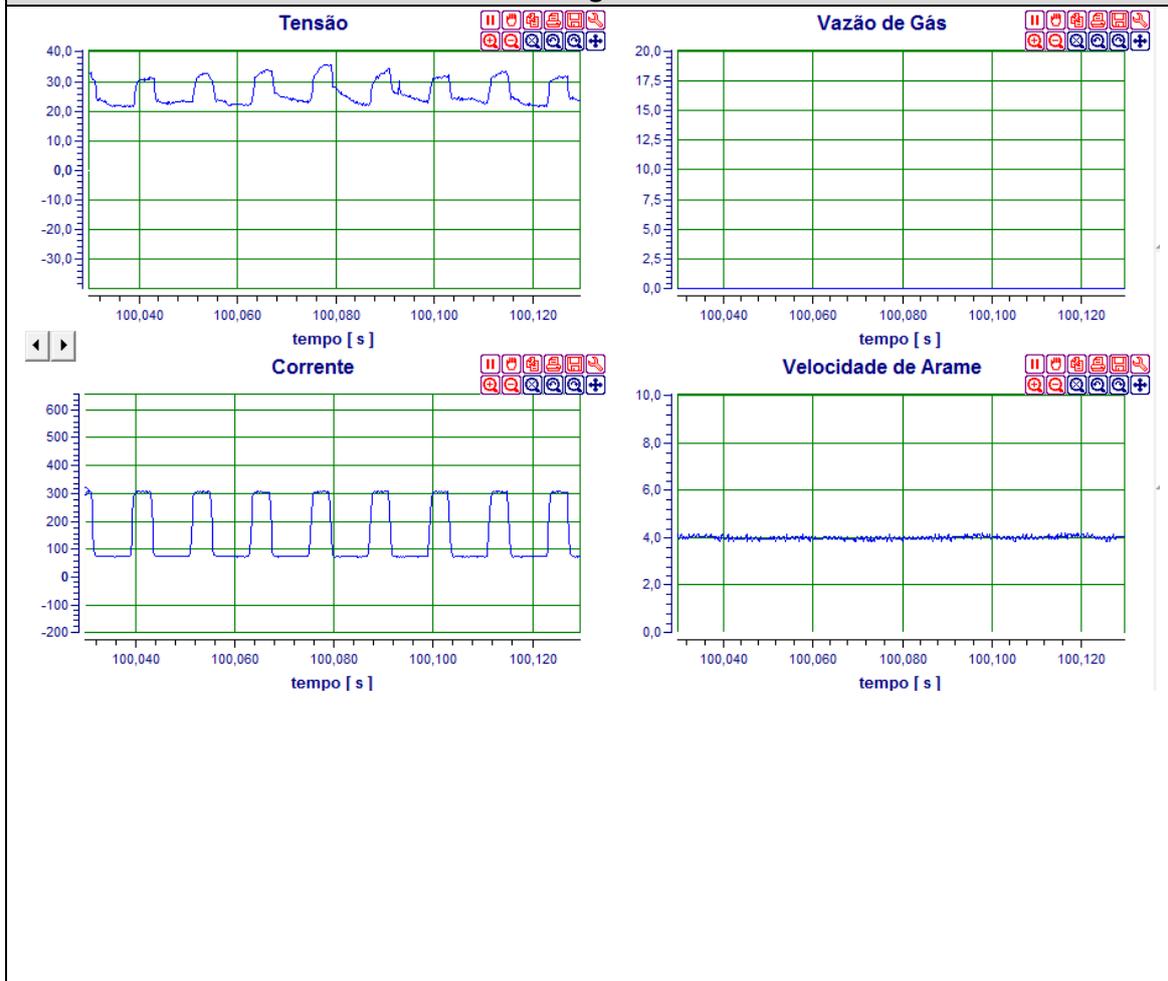
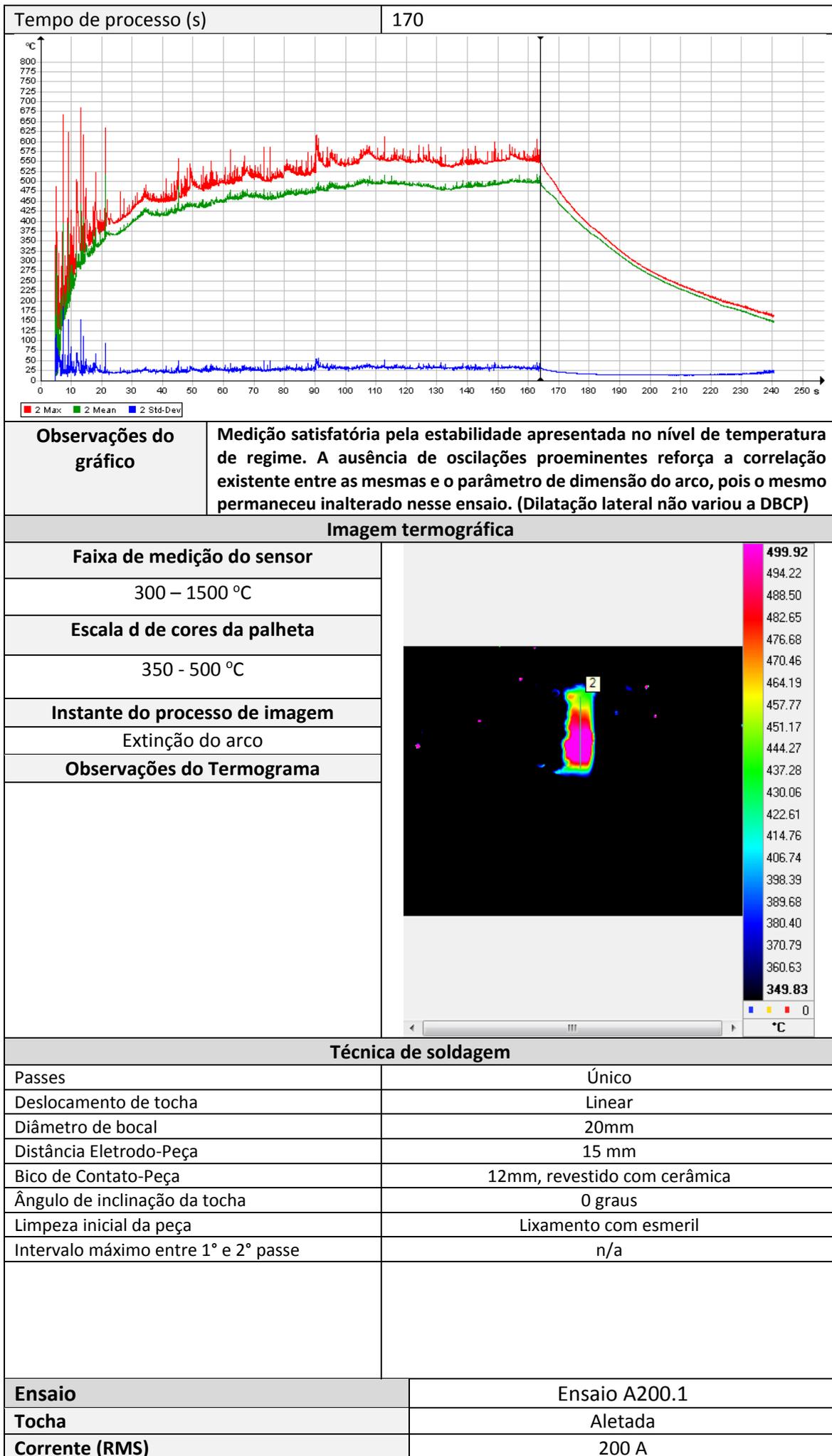


Tabela 3.9 – Ensaio 2 tocha Aletada 150 A

**Gráfico (temperatura x tempo)**

Variáveis de medição	Temperaturas máxima, média e desvio padrão
----------------------	--



<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada																																												
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm																																												
<b>Informações gerais</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Informações Ensaio</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Processo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vel. do Arame</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>Mat. do Arame</td> <td>E 70S6</td> </tr> <tr> <td>Dia. do Arame</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Gas</td> <td>C25</td> </tr> <tr> <td>Vazão do Gas</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Medidas</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Im(A)</td> <td>198,4</td> </tr> <tr> <td>Um(V)</td> <td>33,5</td> </tr> <tr> <td>Ie(A)</td> <td>216,3</td> </tr> <tr> <td>Ue(V)</td> <td>33,6</td> </tr> <tr> <td>P(kW)</td> <td>6,9</td> </tr> <tr> <td>ta(s)</td> <td>0,94</td> </tr> <tr> <td>tc(s)</td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td>T(s)</td> <td>0,96</td> </tr> <tr> <td>Vm(mm<sup>3</sup>)</td> <td>3,20</td> </tr> <tr> <td>Dm(mm)</td> <td>1,83</td> </tr> <tr> <td>da/dt (A/ms)</td> <td>64,5</td> </tr> <tr> <td>di/dt (A/ms)</td> <td>120,1</td> </tr> </tbody> </table>	Informações Ensaio			Fonte 1	Processo		Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E 70S6	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12	Medidas			Fonte 1	Im(A)	198,4	Um(V)	33,5	Ie(A)	216,3	Ue(V)	33,6	P(kW)	6,9	ta(s)	0,94	tc(s)	0,02	T(s)	0,96	Vm(mm <sup>3</sup> )	3,20	Dm(mm)	1,83	da/dt (A/ms)	64,5	di/dt (A/ms)	120,1
Informações Ensaio																																													
	Fonte 1																																												
Processo																																													
Vel. do Arame	5,0																																												
Mat. do Arame	E 70S6																																												
Dia. do Arame	1,2																																												
Tipo de Gas	C25																																												
Vazão do Gas	12																																												
Medidas																																													
	Fonte 1																																												
Im(A)	198,4																																												
Um(V)	33,5																																												
Ie(A)	216,3																																												
Ue(V)	33,6																																												
P(kW)	6,9																																												
ta(s)	0,94																																												
tc(s)	0,02																																												
T(s)	0,96																																												
Vm(mm <sup>3</sup> )	3,20																																												
Dm(mm)	1,83																																												
da/dt (A/ms)	64,5																																												
di/dt (A/ms)	120,1																																												

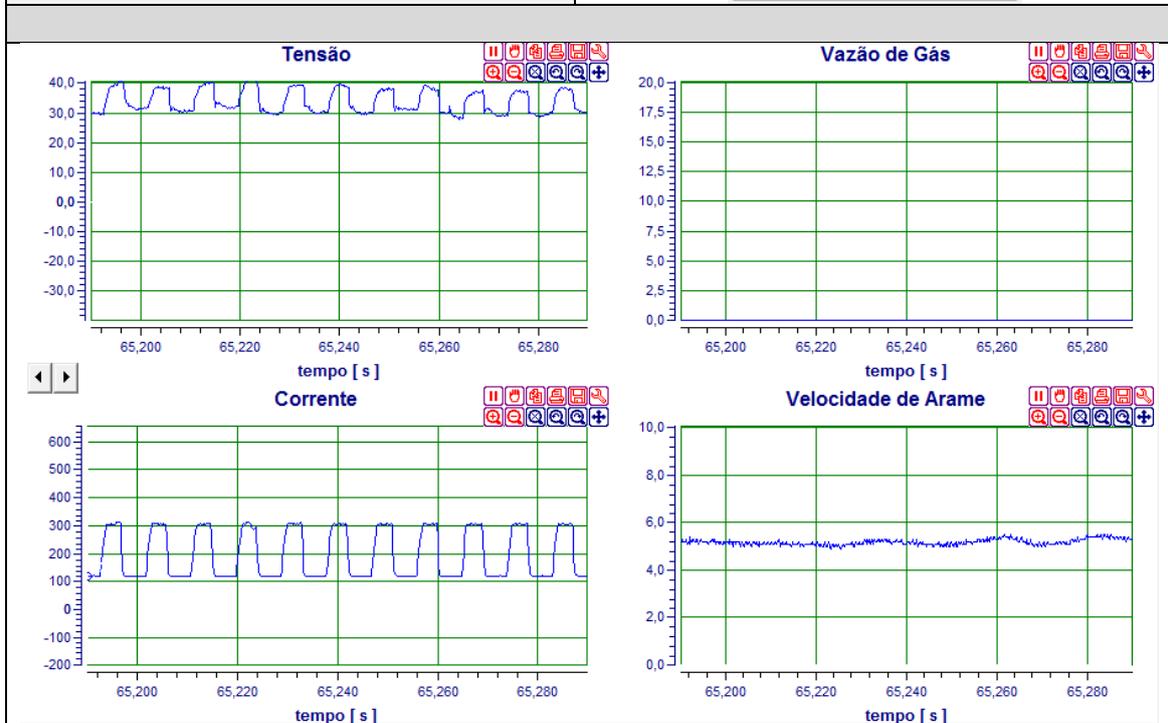
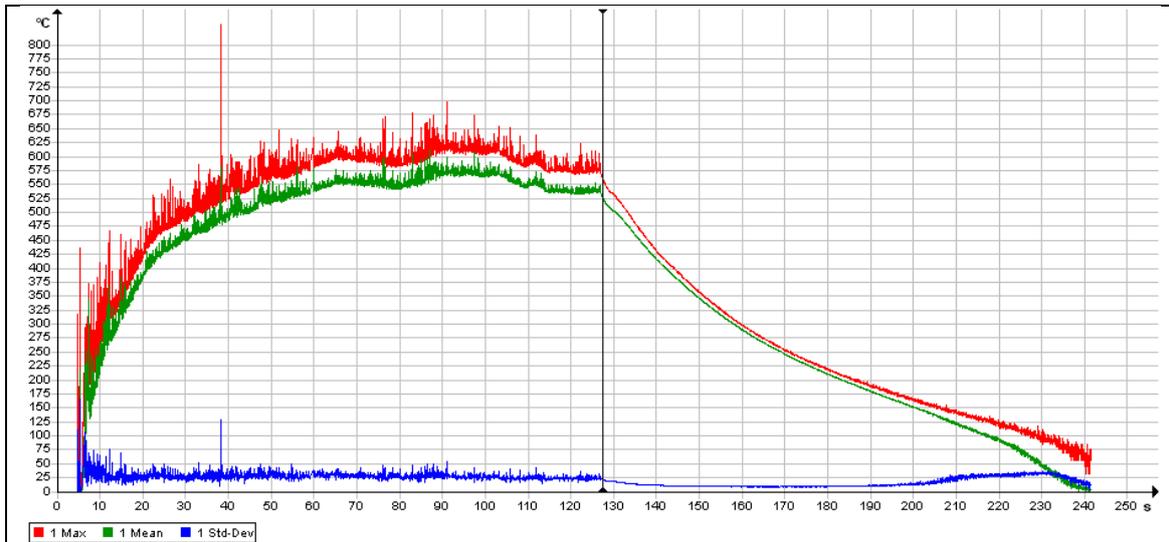


Tabela 3.10 – Ensaio 1 tocha Aletada 200 A

<b>Gráfico (temperatura x tempo)</b>	
Variáveis de medição	Temperaturas máxima, média e desvio padrão
Tempo de processo (s)	130

**Observações do gráfico**

A medição apresenta-se estável na temperatura de regime e isenta de grandes oscilações, pois não houve alteração no comprimento do arco. (BDCO inicial grande o suficiente)

**Imagem termográfica**

<b>Faixa de medição do sensor</b>	
300 – 1500 °C	
<b>Escala d de cores da palheta</b>	
300 - 750 °C	
<b>Instante do processo de imagem</b>	
Extinção do arco	
<b>Observações do Termograma</b>	

**Técnica de soldagem**

Passes	Único
Deslocamento de tocha	Linear
Diâmetro de bocal	20 mm
Distância Eletrodo-Peça	20 mm
Bico de Contato-Peça	12mm, revestido com cerâmica
Ângulo de inclinação da tocha	0 graus
Limpeza inicial da peça	Lixamento com esmeril
Intervalo máximo entre 1º e 2º passe	n/a

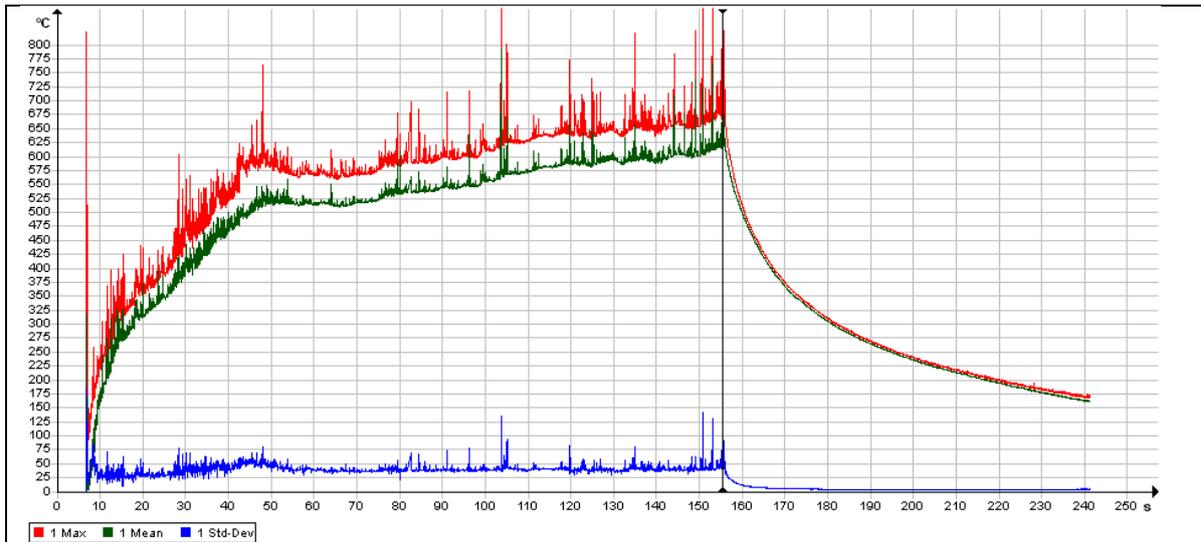
<b>Ensaio</b>	Ensaio A200.2
<b>Tocha</b>	Aletada
<b>Corrente (RMS)</b>	200 A

<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada																																								
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm																																								
<b>Informações gerais</b>	<p><b>Informações Ensaio</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Processo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vel. do Arame</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>Mat. do Arame</td> <td>E 70S6</td> </tr> <tr> <td>Dia. do Arame</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Gas</td> <td>C25</td> </tr> <tr> <td>Vazão do Gas</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Medidas</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Im(A)</td> <td>198,9</td> </tr> <tr> <td>Um(V)</td> <td>33,3</td> </tr> <tr> <td>Ie(A)</td> <td>216,9</td> </tr> <tr> <td>Ue(V)</td> <td>33,5</td> </tr> <tr> <td>P(kW)</td> <td>6,9</td> </tr> <tr> <td>ta(s)</td> <td>0,91</td> </tr> <tr> <td>tc(s)</td> <td>0,05</td> </tr> <tr> <td>T(s)</td> <td>0,96</td> </tr> <tr> <td>Vm(mm3)</td> <td>1,22</td> </tr> <tr> <td>Dm(mm)</td> <td>1,33</td> </tr> <tr> <td>di/dt (A/ms)</td> <td>63,9</td> </tr> <tr> <td>dd/dt (A/ms)</td> <td>117,5</td> </tr> </tbody> </table>		Fonte 1	Processo		Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E 70S6	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12		Fonte 1	Im(A)	198,9	Um(V)	33,3	Ie(A)	216,9	Ue(V)	33,5	P(kW)	6,9	ta(s)	0,91	tc(s)	0,05	T(s)	0,96	Vm(mm3)	1,22	Dm(mm)	1,33	di/dt (A/ms)	63,9	dd/dt (A/ms)	117,5
	Fonte 1																																								
Processo																																									
Vel. do Arame	5,0																																								
Mat. do Arame	E 70S6																																								
Dia. do Arame	1,2																																								
Tipo de Gas	C25																																								
Vazão do Gas	12																																								
	Fonte 1																																								
Im(A)	198,9																																								
Um(V)	33,3																																								
Ie(A)	216,9																																								
Ue(V)	33,5																																								
P(kW)	6,9																																								
ta(s)	0,91																																								
tc(s)	0,05																																								
T(s)	0,96																																								
Vm(mm3)	1,22																																								
Dm(mm)	1,33																																								
di/dt (A/ms)	63,9																																								
dd/dt (A/ms)	117,5																																								



Tabela 3.11 – Ensaio 2 tocha Aletada 200 A

<b>Gráfico (temperatura x tempo)</b>	
Variáveis de medição	Temperaturas máxima, média e desvio padrão
Tempo de processo (s)	160

**Observações do gráfico**

Medição não satisfatória pelo caráter crescente da temperatura. Uma análise da compatibilidade com a medição anterior A200.1 é possível, entretanto não será utilizada na análise comparativa entre as tochas.

**Imagem termográfica****Faixa de medição do sensor**

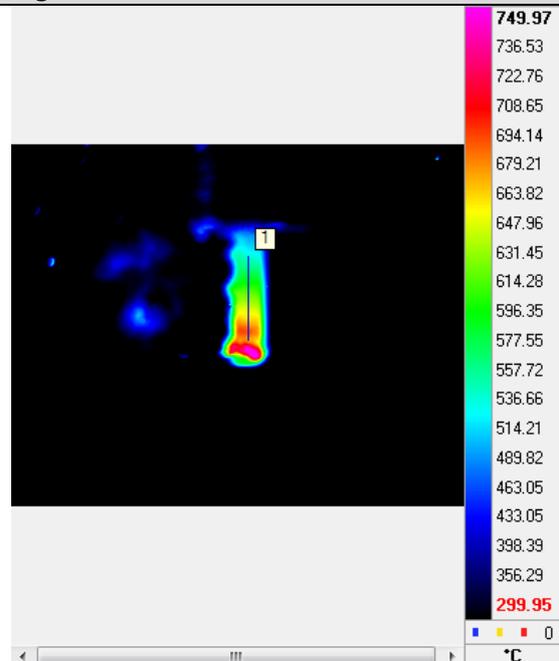
300 – 1500 °C

**Escala de cores da palheta**

300 - 750 °C

**Instante do processo de imagem**

Extinção do arco

**Observações do Termograma****Técnica de soldagem**

Passes	Único
Deslocamento de tocha	Linear
Diâmetro de bocal	20mm
Distância Eletrodo-Peça	15 mm
Bico de Contato-Peça	12mm, revestido com cerâmica
Ângulo de inclinação da tocha	0 graus
Limpeza inicial da peça	Lixamento com esmeril
Intervalo máximo entre 1° e 2° passe	n/a
<b>Ensaio</b>	Ensaio C200.1
<b>Tocha</b>	Convencional
<b>Corrente (RMS)</b>	200 A

<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada																																								
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm																																								
<b>Informações gerais</b>	<p><b>Informações Ensaio</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Processo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vel. do Arame</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>Mat. do Arame</td> <td>E 70S6</td> </tr> <tr> <td>Dia. do Arame</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Gas</td> <td>C25</td> </tr> <tr> <td>Vazão do Gas</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Medidas</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Im(A)</td> <td>198,9</td> </tr> <tr> <td>Um(V)</td> <td>33,3</td> </tr> <tr> <td>Ie(A)</td> <td>216,9</td> </tr> <tr> <td>Ue(V)</td> <td>33,5</td> </tr> <tr> <td>P(kW)</td> <td>6,9</td> </tr> <tr> <td>ta(s)</td> <td>0,91</td> </tr> <tr> <td>tc(s)</td> <td>0,05</td> </tr> <tr> <td>T(s)</td> <td>0,96</td> </tr> <tr> <td>Vm(mm3)</td> <td>1,22</td> </tr> <tr> <td>Dm(mm)</td> <td>1,33</td> </tr> <tr> <td>da/dt (A/ms)</td> <td>63,9</td> </tr> <tr> <td>di/dt (A/ms)</td> <td>117,5</td> </tr> </tbody> </table>	Fonte 1		Processo		Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E 70S6	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12	Fonte 1		Im(A)	198,9	Um(V)	33,3	Ie(A)	216,9	Ue(V)	33,5	P(kW)	6,9	ta(s)	0,91	tc(s)	0,05	T(s)	0,96	Vm(mm3)	1,22	Dm(mm)	1,33	da/dt (A/ms)	63,9	di/dt (A/ms)	117,5
Fonte 1																																									
Processo																																									
Vel. do Arame	5,0																																								
Mat. do Arame	E 70S6																																								
Dia. do Arame	1,2																																								
Tipo de Gas	C25																																								
Vazão do Gas	12																																								
Fonte 1																																									
Im(A)	198,9																																								
Um(V)	33,3																																								
Ie(A)	216,9																																								
Ue(V)	33,5																																								
P(kW)	6,9																																								
ta(s)	0,91																																								
tc(s)	0,05																																								
T(s)	0,96																																								
Vm(mm3)	1,22																																								
Dm(mm)	1,33																																								
da/dt (A/ms)	63,9																																								
di/dt (A/ms)	117,5																																								

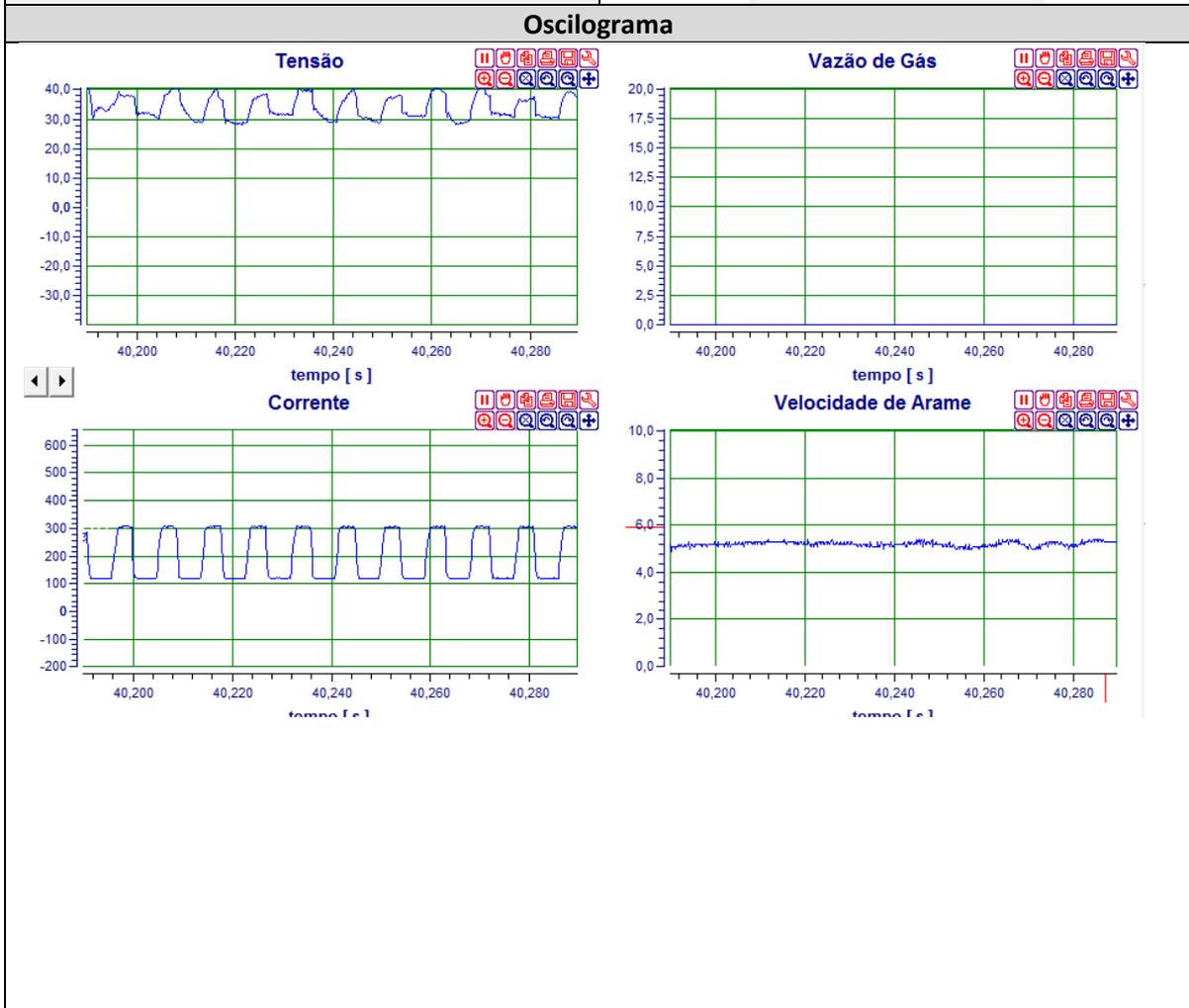
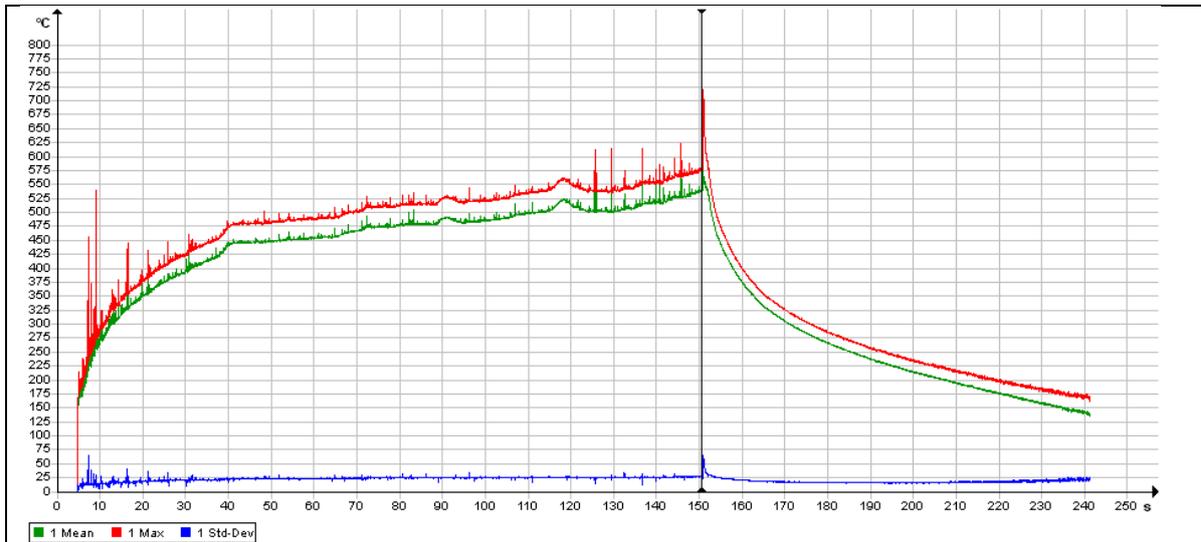


Tabela 3.12 – Ensaio 1 tocha Convencional 200 A

<b>Gráfico (temperatura x tempo)</b>	
Variáveis de medição	Temperaturas máxima, média e desvio padrão
Tempo de processo (s)	155

**Observações do gráfico**

Em virtude das medições anteriores C200.1 e C200.2 não se mostrarem adequadas em virtude do tempo de amostragens, realizou-se novas medições com o intuito de prolongar o tempo de aquisição de dados afim de cumprir o propósito geral do trabalho.

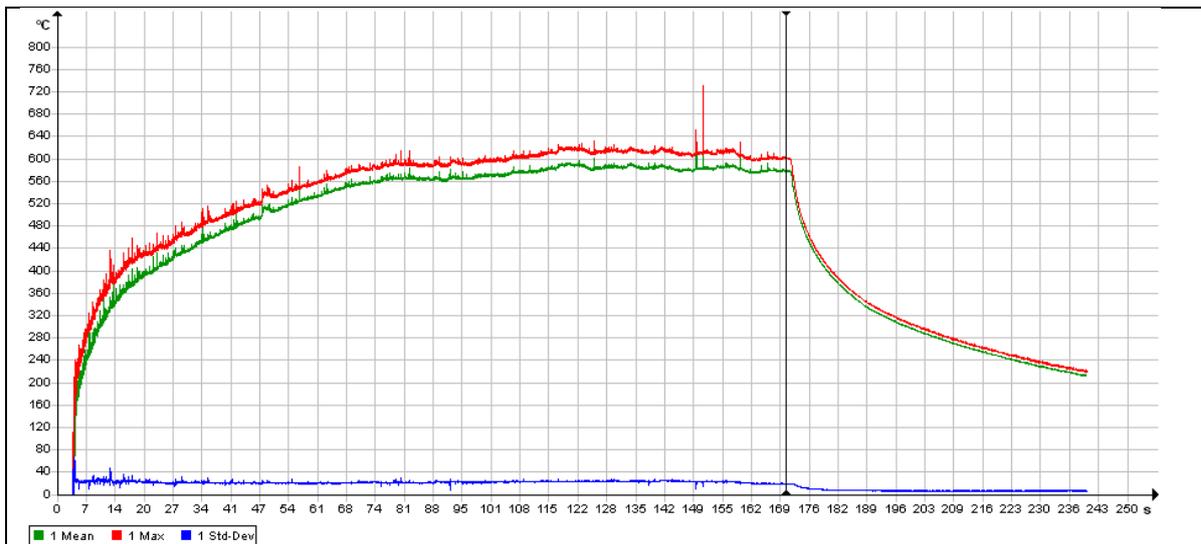
**Imagem termográfica**

<b>Faixa de medição do sensor</b>	
300 – 1500 °C	
<b>Escala d de cores da palheta</b>	
350 - 750 °C	
<b>Instante do processo de imagem</b>	
Extinção do arco	
<b>Observações do Termograma</b>	

**Técnica de soldagem**

Passes	Único
Deslocamento de tocha	Linear
Diâmetro de bocal	20mm
Distância Eletrodo-Peça	15 mm
Bico de Contato-Peça	12mm, revestido com cerâmica
Ângulo de inclinação da tocha	0 graus
Limpeza inicial da peça	Lixamento com esmeril
Intervalo máximo entre 1° e 2° passe	n/a
<b>Ensaio</b>	Ensaio C200.2
<b>Tocha</b>	Convencional
<b>Corrente (RMS)</b>	200 A

<b>Processo de soldagem</b>	MIG/MAG corrente pulsada																																								
<b>Programa</b>	Pulsado, controle de corrente, não térmico, sinérgico C25 1,2 mm																																								
<b>Informações gerais</b>	<p><b>Informações Ensaio</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Processo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vel. do Arame</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>Mat. do Arame</td> <td>E7056</td> </tr> <tr> <td>Dia. do Arame</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Gas</td> <td>C25</td> </tr> <tr> <td>Vazão do Gas</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Medidas</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Fonte 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Im(A)</td> <td>198,9</td> </tr> <tr> <td>Um(V)</td> <td>33,3</td> </tr> <tr> <td>Ie(A)</td> <td>216,9</td> </tr> <tr> <td>Ue(V)</td> <td>33,5</td> </tr> <tr> <td>P(kW)</td> <td>6,9</td> </tr> <tr> <td>ta(s)</td> <td>0,91</td> </tr> <tr> <td>tc(s)</td> <td>0,05</td> </tr> <tr> <td>T(s)</td> <td>0,96</td> </tr> <tr> <td>Vm(mm3)</td> <td>1,22</td> </tr> <tr> <td>Dm(mm)</td> <td>1,33</td> </tr> <tr> <td>di/dt (A/ms)</td> <td>63,9</td> </tr> <tr> <td>di/dt (A/ms)</td> <td>117,5</td> </tr> </tbody> </table>		Fonte 1	Processo		Vel. do Arame	5,0	Mat. do Arame	E7056	Dia. do Arame	1,2	Tipo de Gas	C25	Vazão do Gas	12		Fonte 1	Im(A)	198,9	Um(V)	33,3	Ie(A)	216,9	Ue(V)	33,5	P(kW)	6,9	ta(s)	0,91	tc(s)	0,05	T(s)	0,96	Vm(mm3)	1,22	Dm(mm)	1,33	di/dt (A/ms)	63,9	di/dt (A/ms)	117,5
	Fonte 1																																								
Processo																																									
Vel. do Arame	5,0																																								
Mat. do Arame	E7056																																								
Dia. do Arame	1,2																																								
Tipo de Gas	C25																																								
Vazão do Gas	12																																								
	Fonte 1																																								
Im(A)	198,9																																								
Um(V)	33,3																																								
Ie(A)	216,9																																								
Ue(V)	33,5																																								
P(kW)	6,9																																								
ta(s)	0,91																																								
tc(s)	0,05																																								
T(s)	0,96																																								
Vm(mm3)	1,22																																								
Dm(mm)	1,33																																								
di/dt (A/ms)	63,9																																								
di/dt (A/ms)	117,5																																								
<b>Oscilograma</b>																																									
<p>The oscilloscope displays four waveforms over a time interval from 40,200 s to 40,280 s:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Tensão (Voltage):</b> Shows a pulsating waveform oscillating between approximately 30 V and 40 V.</li> <li><b>Vazão de Gás (Gas Flow):</b> Shows a constant, flat line at 12 L/min.</li> <li><b>Corrente (Current):</b> Shows a square wave pulse between approximately 100 A and 300 A.</li> <li><b>Velocidade de Arame (Wire Speed):</b> Shows a constant, flat line at 5 m/min.</li> </ul>																																									
Tabela 3.13 – Ensaio 2 tocha Convencional 200 A																																									
<b>Gráfico (temperatura x tempo)</b>																																									
Variáveis de medição	Temperaturas máxima, média e desvio padrão																																								
Tempo de processo (s)	160																																								

**Observações do gráfico**

Melhor ensaio realizado com o sistema a esse nível de corrente. Certamente será utilizado na análise comparativa com o melhor ensaio A200.x. Temperatura de regime praticamente linear e ausência de respingos fazem dessa medição um modelo.

**Imagem termográfica**

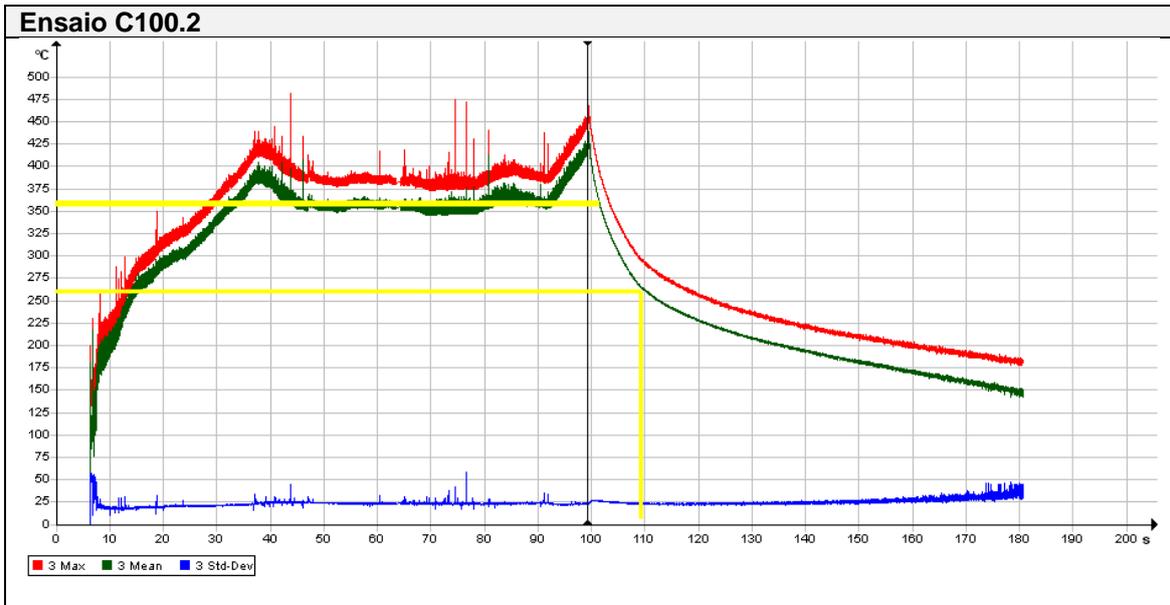
<b>Faixa de medição do sensor</b>	
300 – 1500 °C	
<b>Escala d de cores da palheta</b>	
350 - 750 °C	
<b>Instante do processo de imagem</b>	
Extinção do arco	
<b>Observações do Termograma</b>	

**Técnica de soldagem**

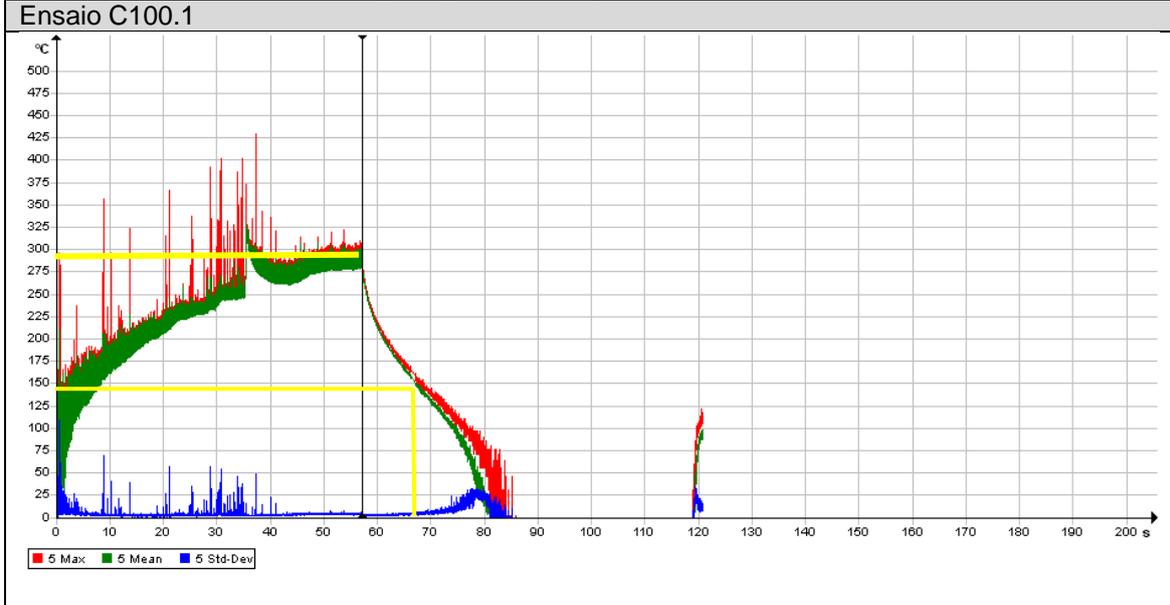
Passes	Único
Deslocamento de tocha	Linear
Diâmetro de bocal	20mm
Distância Eletrodo-Peça	15 mm
Bico de Contato-Peça	12mm, revestido com cerâmica
Ângulo de inclinação da tocha	0 graus
Limpeza inicial da peça	Lixamento com esmeril
Intervalo máximo entre 1° e 2° passe	n/a

**Análise térmica comparativa individual**

	<b>Tocha Convencional</b>
	<b>100A</b>



<b>Temperatura média de estabilização ( °C)</b>	360
<b>Temperatura resfriamento ( °C)</b>	260
<b>Tempo de resfriamento adotado (s)</b>	10
<b>Velocidade de resfriamento ( °C/s)</b>	10



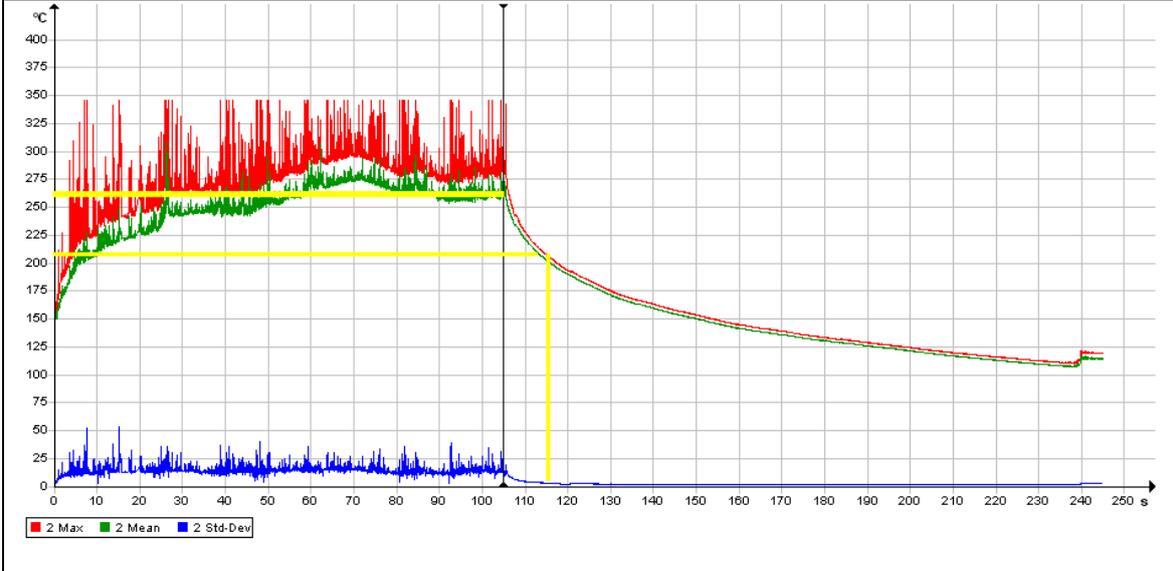
<b>Temperatura média de estabilização ( °C)</b>	290
<b>Temperatura média de resfriamento ( °C)</b>	140
<b>Tempo de resfriamento adotado (s)</b>	10
<b>Velocidade de resfriamento ( °C/s)</b>	15

**Observações**  
 Pode-se inferir dos dois melhores ensaios realizado com a tocha convencional à 100 A que os níveis de temperatura são próximos, apesar de não serem idênticos. Quanto a velocidade de resfriamento média calculada pode-se concluir que os resultados possuem proximidade. Uma análise mais detalhada dos fatores que influenciam na velocidade de resfriamento se faz necessária

Tabela 3.14 – Análise térmica comparativa individual tocha Convencional 100 A

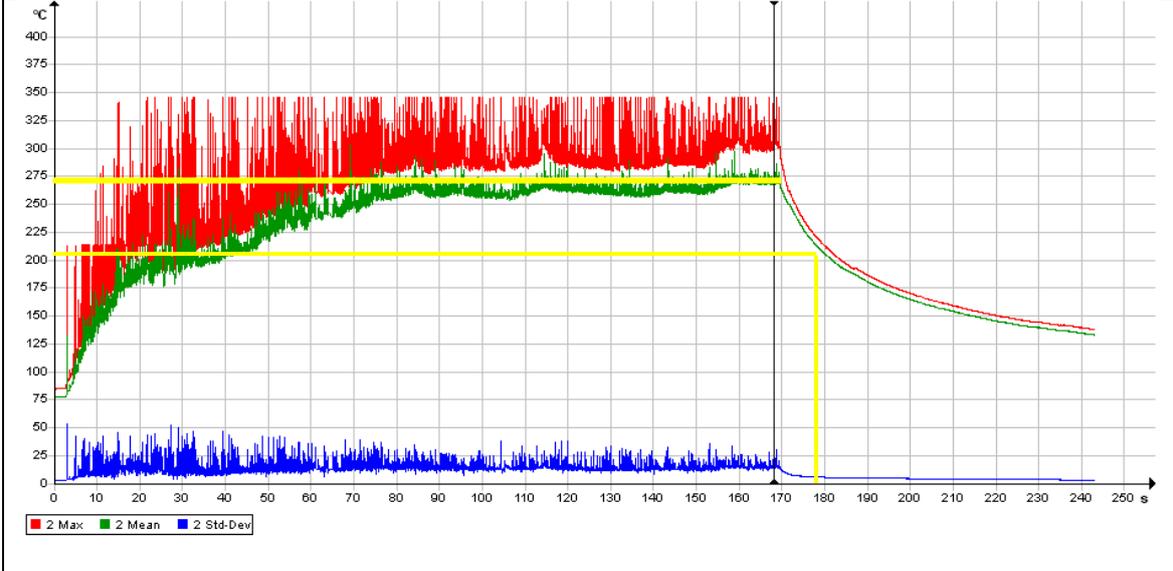
<b>Análise térmica comparativa individual</b>	
	<b>Tocha Aletada</b>
	<b>100A</b>

**Ensaio A100.1**



Temperatura média de estabilização ( °C)	260
Temperatura resfriamento ( °C)	210
Tempo de resfriamento adotado (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	5

**Ensaio A100.2**



Temperatura média de estabilização ( °C)	275
Temperatura média de resfriamento ( °C)	210
Tempo de resfriamento adotado (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	6,5

**Observações**

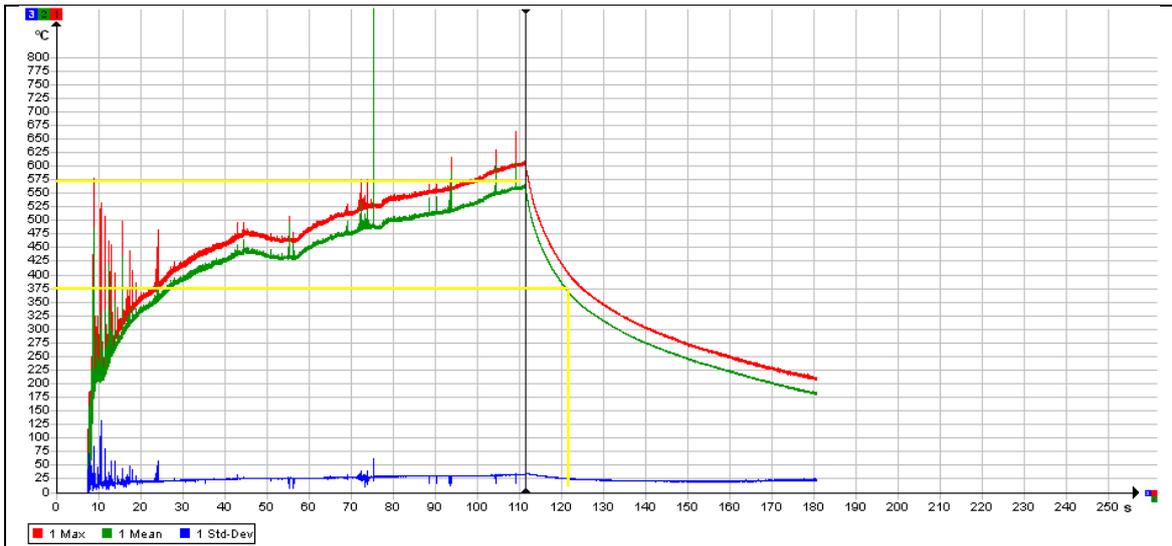
Ensaio realizado com a tocha aletada à 100 A mostra que os níveis de temperatura são muito próximos com menos de 5% de diferença relativa. Quanto a velocidade de resfriamento média calculada pode-se concluir que os resultados possuem alto grau de proximidade. Uma análise mais detalhada dos fatores que influenciam na velocidade de resfriamento se faz necessária, porém a reprodutibilidade dos resultados das medições é notável.

Tabela 3.15 – Análise térmica comparativa individual tocha Aletada 100 A

**Análise térmica comparativa individual**

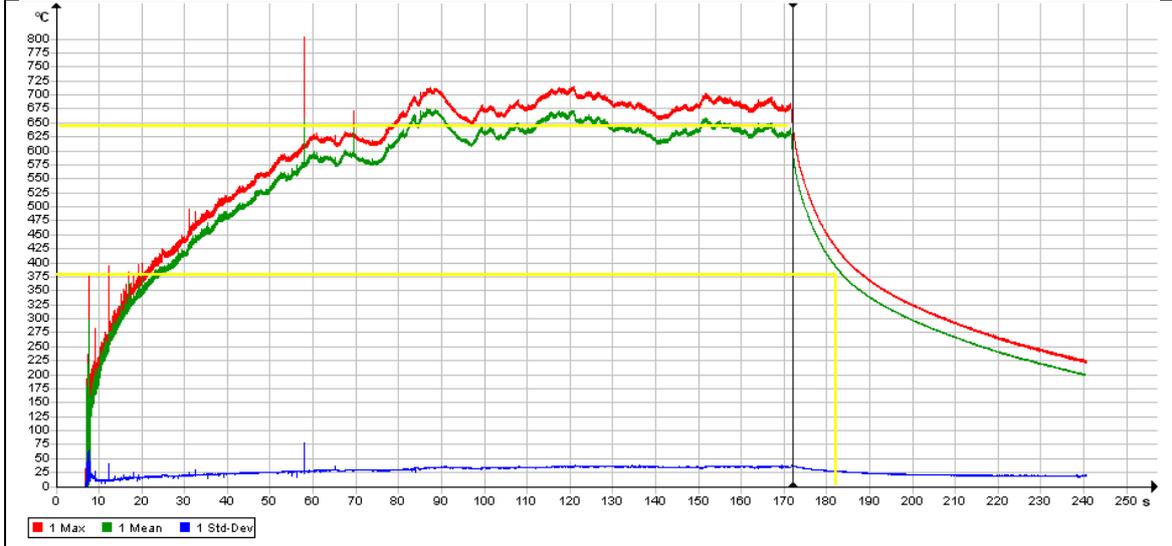
	<b>Tocha Convencional</b>
	<b>150A</b>

**Ensaio C150.1**



Temperatura média de estabilização ( °C)	575
Temperatura resfriamento ( °C)	350
Tempo de resfriamento adotado (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	22,5

**Ensaio C150.2**



Temperatura média de estabilização ( °C)	650
Temperatura resfriamento arbitraria ( °C)	375
Tempo de resfriamento arbitrário (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	27,5

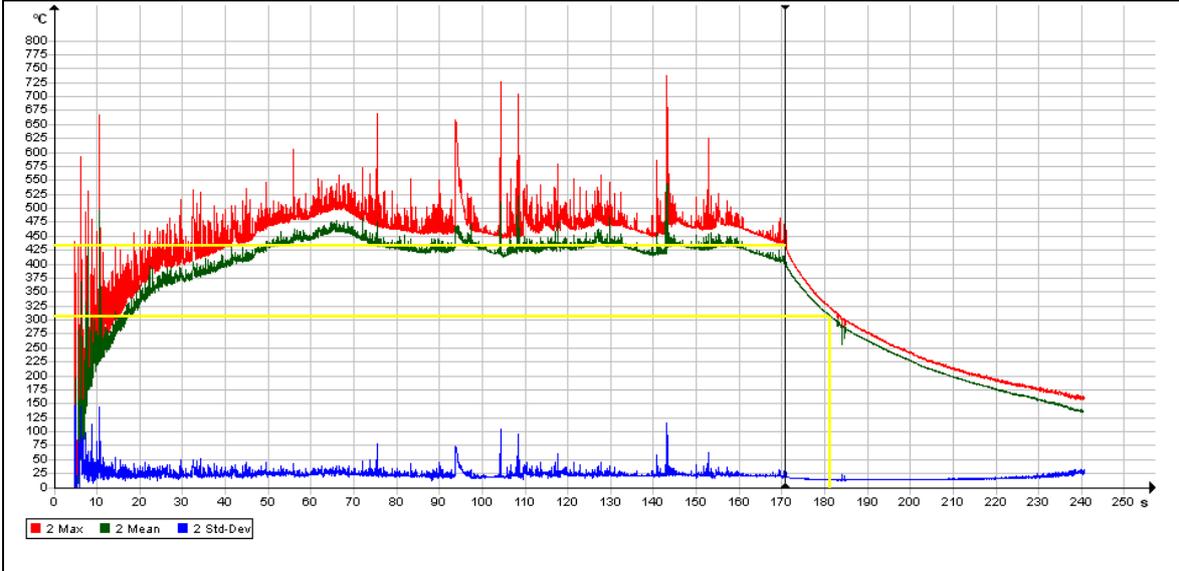
**Observações**

Ensaio realizado com a tocha convencional sujeita a 150 A mostram que os níveis de temperatura são próximos, porém mais dispersos comparado às medições com o sistema aletado, apresentando dispersão de 10% relativos. Quanto a velocidade de resfriamento média calculada pode-se concluir que os resultados possuem alto grau de proximidade. A magnitude relativamente elevada na velocidade de resfriamento do sistema convencional deve-se ao fato do alto gradiente de temperatura inerente a esse sistema.

Tabela 3.16 – Análise térmica comparativa individual tocha Convencional 150 A

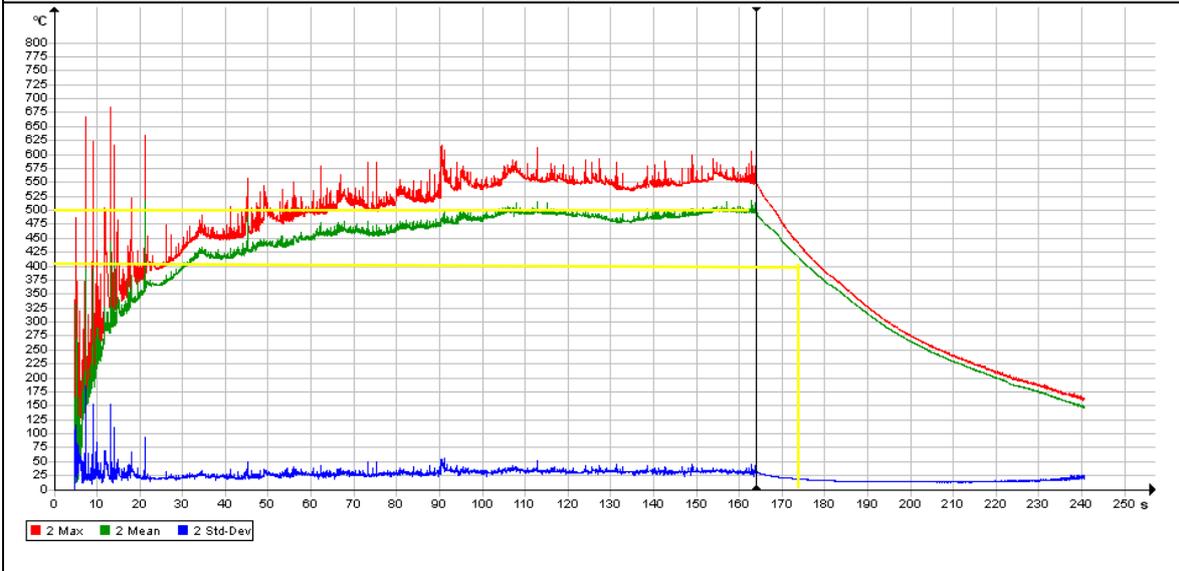
Análise térmica comparativa individual	
	Tocha Aletada
	150A

**Ensaio A150.1**



Temperatura média de estabilização ( °C)	430
Temperatura resfriamento ( °C)	300
Tempo de resfriamento adotado (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	13

**Ensaio A150.2**

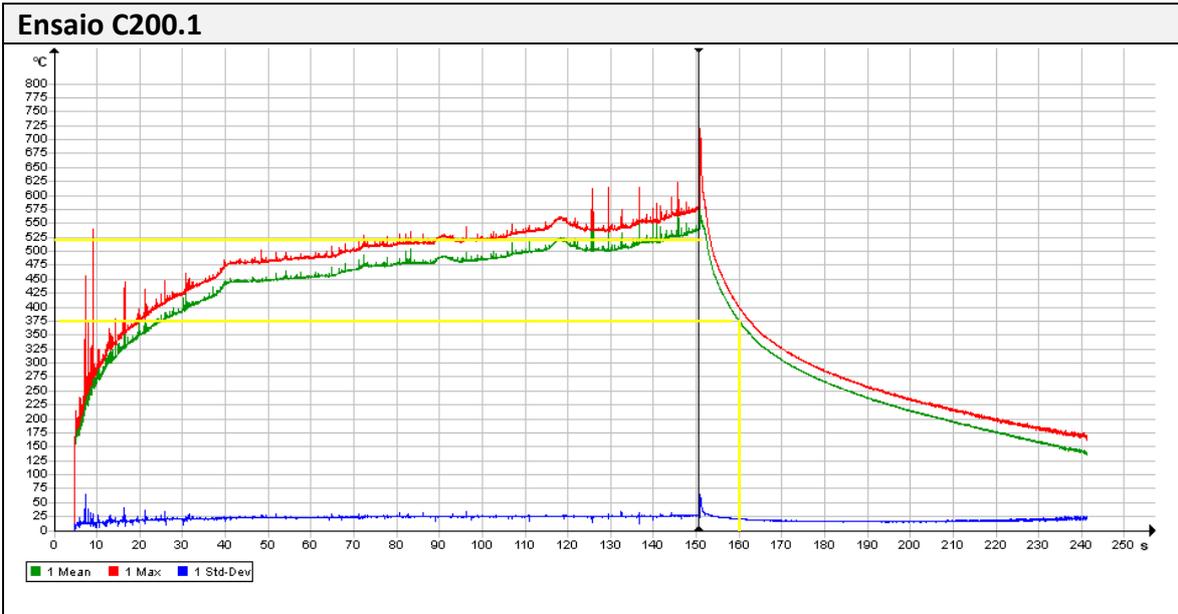


Temperatura média de estabilização ( °C)	500
Temperatura resfriamento arbitraria ( °C)	400
Tempo de resfriamento arbitrário (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	10
<b>Observações</b>	

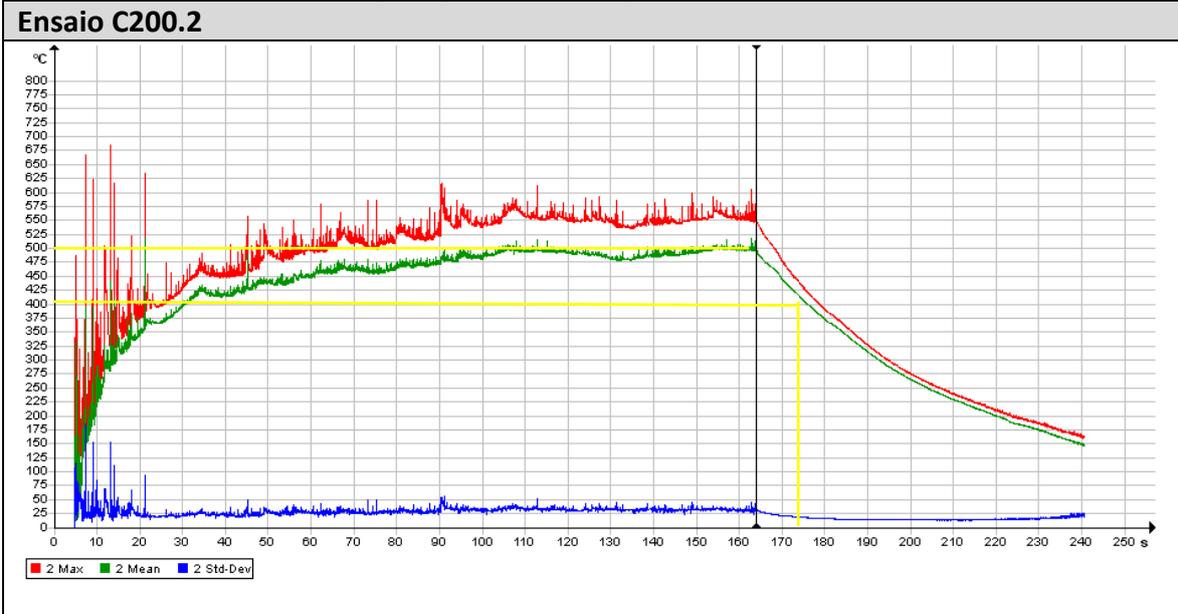
Ensaio realizado com a tocha aletada sujeita a 150 A revelam reprodutibilidade nos dados de análise, apresentando dispersão de aproximadamente 15% relativos. Quanto a velocidade de resfriamento média calculada, pode-se concluir que os resultados também possuem alto grau de proximidade. A magnitude relativamente moderada na velocidade de resfriamento do sistema convencional deve-se ao fato de que os níveis de temperatura atingidos não são tão altos quanto os relativos ao sistema convencional.

Tabela 3.17 – Análise térmica comparativa individual tocha Aletada 150 A

<b>Análise térmica comparativa individual</b>	
	<b>Tocha Convencional</b>
	<b>200 A</b>



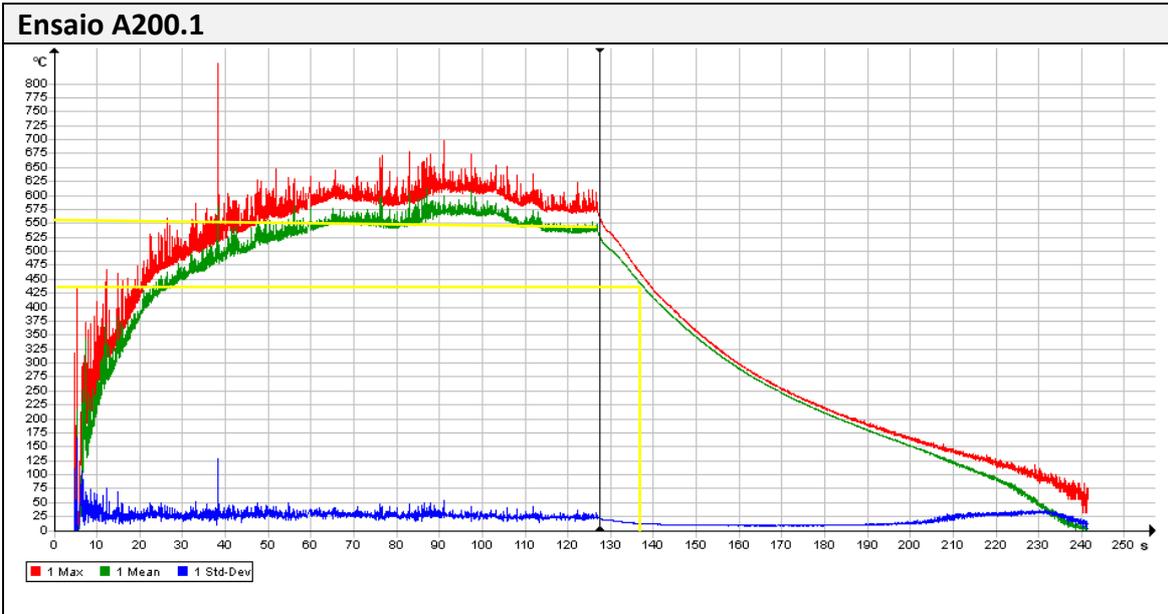
Temperatura média de estabilização ( °C)	525
Temperatura resfriamento ( °C)	375
Tempo de resfriamento adotado (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	15



Temperatura média de estabilização ( °C)	500
Temperatura resfriamento arbitraria ( °C)	400
Tempo de resfriamento arbitrário (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	10
Observações	
n/a	

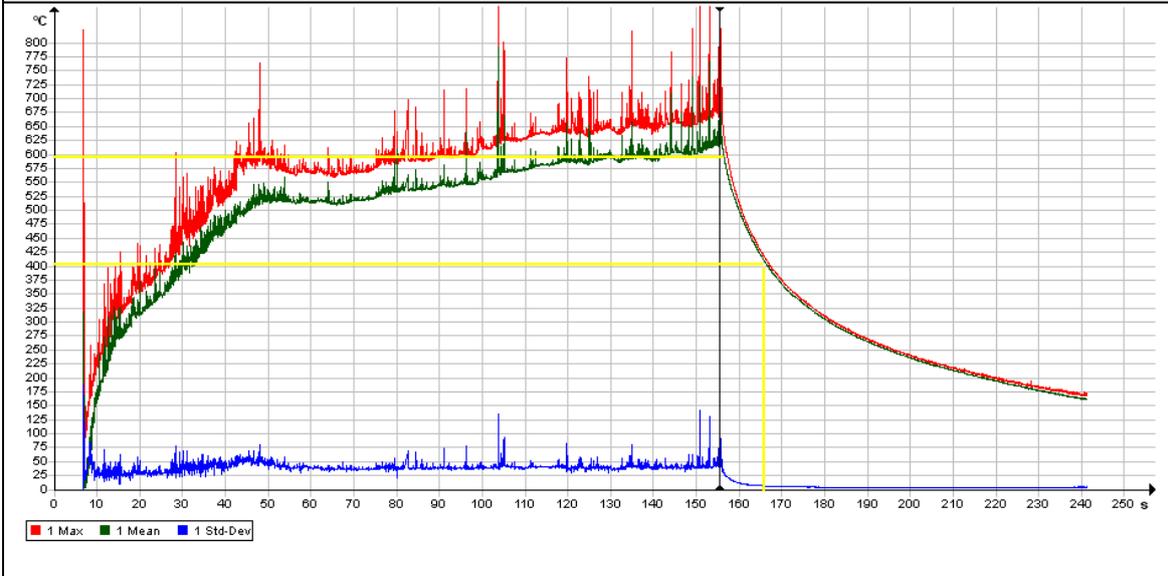
Tabela 3.18 – Análise térmica comparativa individual tocha Convencional 200 A

Análise térmica comparativa individual	
	Tocha Aletada
	200 A



Temperatura média de estabilização ( °C)	550
Temperatura resfriamento ( °C)	425
Tempo de resfriamento adotado (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	12,5

**Ensaio A200.2**

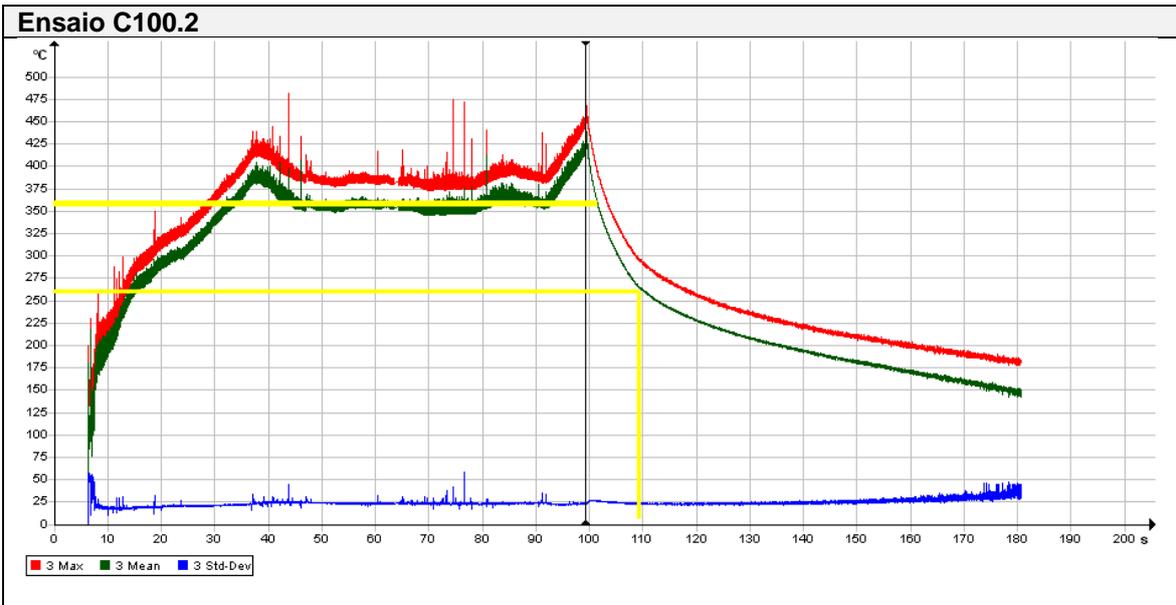


Temperatura média de estabilização ( °C)	600
Temperatura resfriamento arbitraria ( °C)	400
Tempo de resfriamento arbitrário (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	20
<b>Observações</b>	

Ensaio realizado com a tocha convencional sujeita a 200 A mostram que os níveis de temperatura são próximos, porém mais dispersos comparado às medições com o sistema aletado, também apresentando dispersão de 10% relativos. Quanto a velocidade de resfriamento média calculada pode-se concluir que os resultados já não apresentaram proximidade com quase 80 % de diferença. Novamente conclui-se que magnitude relativamente elevada na velocidade de resfriamento do sistema convencional deve-se ao fato do alto gradiente de temperatura inerente a esse sistema.

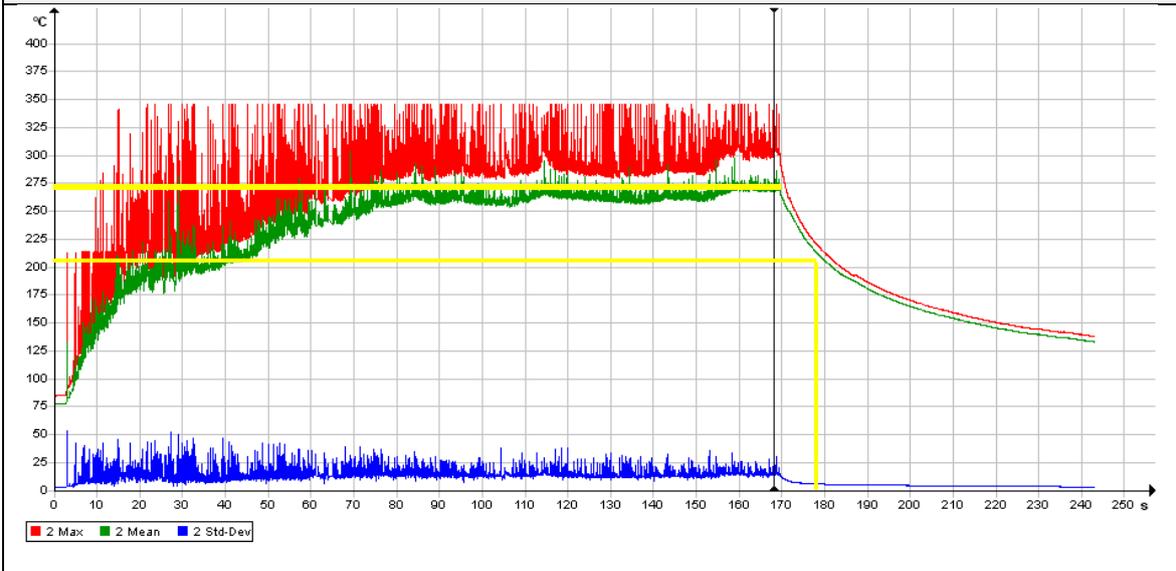
Tabela 3.19 – Análise térmica comparativa individual tocha Aletada 200 A

<b>Análise térmica comparativa entre tochas</b>	
	<b>Nível de corrente</b>
	<b>100A</b>
<b>Tocha Convencional</b>	



Temperatura média de estabilização ( °C)	360
Temperatura resfriamento ( °C)	260
Tempo de resfriamento adotado (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	10

**Tocha Aletada**  
**Ensaio A100.3**



Temperatura média de estabilização ( °C)	275
Temperatura média de resfriamento ( °C)	210
Tempo de resfriamento adotado (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	6,5

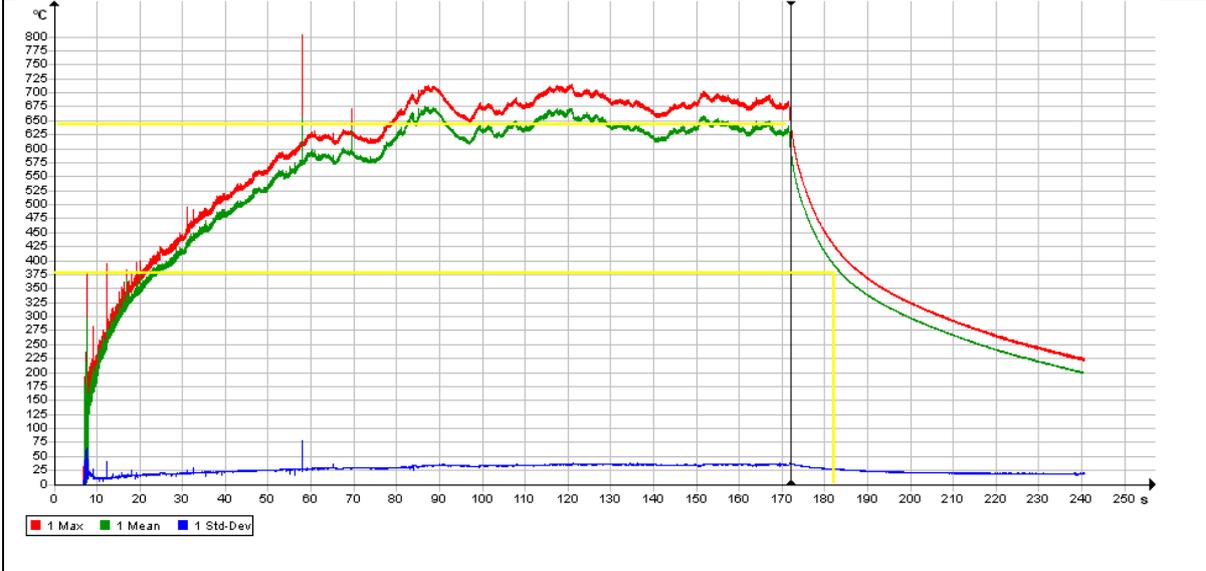
**Observações**

Para essas condições de processo, realmente o sistema aletado possui um nível de temperatura de regime menor que o sistema convencional em cerca de 30% relativos. Já a velocidade de resfriamento é menor. Em parte compreensível devido à natureza do fenômeno de refrigeração o qual sabe-se ser proporcional a diferença de temperatura entre o volume de controle e seus arrabaldes. Porém questiona-se a efetividade do projeto do sistema de arrefecimento convectivo quanto às resistências de acoplamento internas. Uma pesquisa interessante seria realizar uma análise comparativa entre as velocidades de resfriamento e temperaturas de regime do sistema aletado utilizando-se e não de uma pasta térmica afim de diminuir a resistência térmica condutiva interna nas partes de acoplamento entre o bico de contato e partes internas até as aletas.

Tabela 3.20 – Análise térmica comparativa entre tochas Nível de corrente 100 A

Análise térmica comparativa entre tochas	
	Nível de corrente
	150 A
Tocha Convencional	

**Ensaio C150.1**



Temperatura média de estabilização ( °C)	650
Temperatura resfriamento arbitraria ( °C)	375
Tempo de resfriamento arbitrário (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	27,5

**Tocha Aletada**

**Ensaio A150.2**



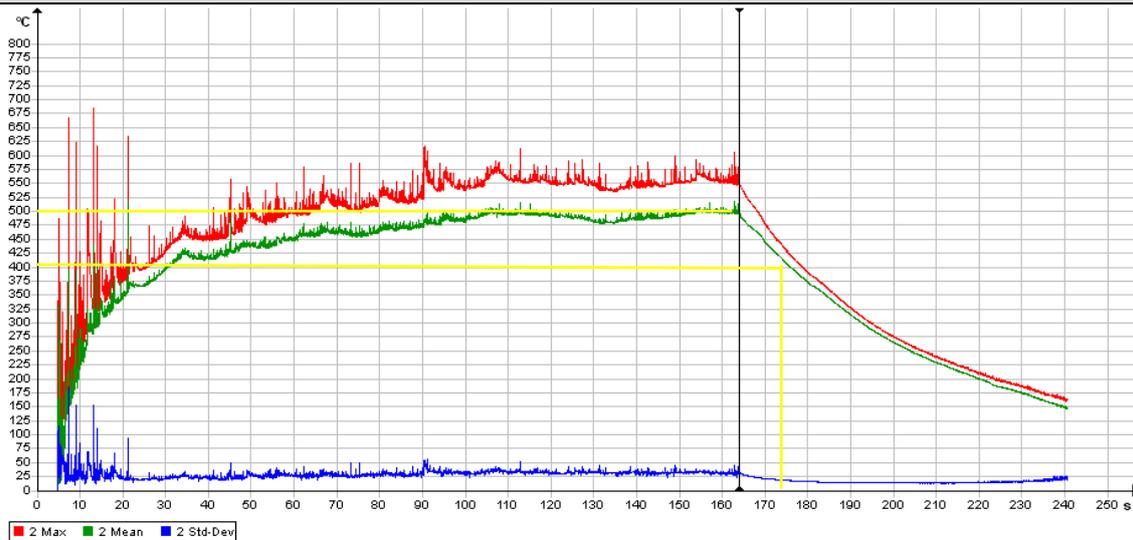
Temperatura média de estabilização ( °C)	500
Temperatura resfriamento arbitraria ( °C)	400
Tempo de resfriamento arbitrário (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	10

**Observações**

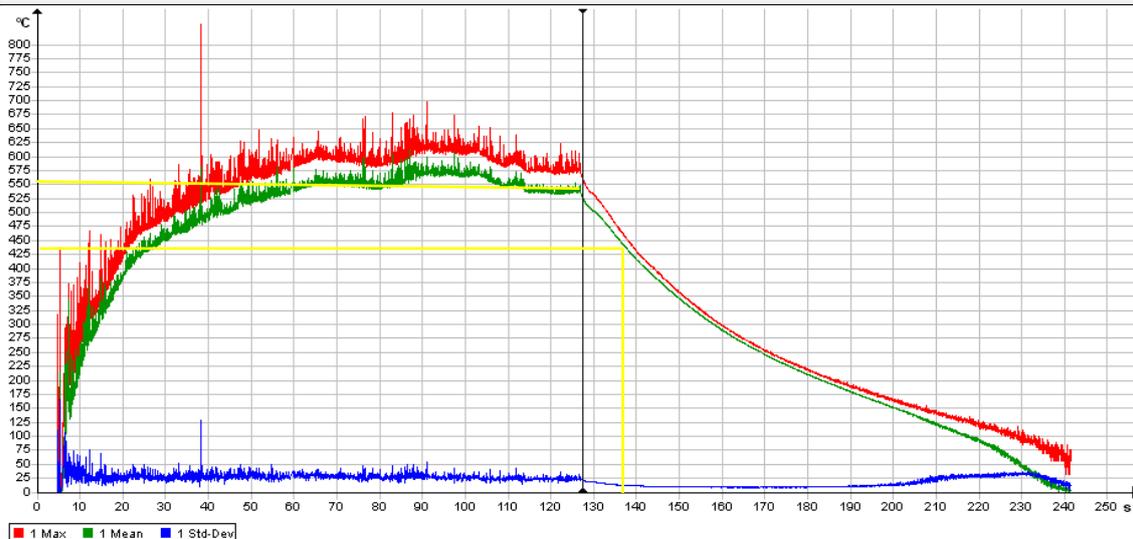
Para essas condições de processo um tanto mais severo, novamente o sistema aletado possui um nível de temperatura de regime menor que o sistema convencional em 150 °C e cerca de 30% relativos à menor temperatura. Já a velocidade de resfriamento é consideravelmente menor. Reforça-se a ideia da utilização de uma pasta térmica para uma pesquisa comparativa.

Tabela 3.21 – Análise térmica comparativa entre tochas Nível de corrente 150 A

<b>Análise térmica comparativa entre tochas</b>	
	<b>Nível de corrente</b>
	<b>200 A</b>
<b>Tocha Convencional</b>	

**Ensaio C200.2**

Temperatura média de estabilização ( °C)	500
Temperatura resfriamento arbitraria ( °C)	400
Tempo de resfriamento arbitrário (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	10

**Tocha Aletada****Ensaio A200.1**

Temperatura média de estabilização ( °C)	550
Temperatura resfriamento ( °C)	425
Tempo de resfriamento adotado (s)	10
Velocidade de resfriamento ( °C/s)	12,5

**Observações**

Para surpresa, um resultado discrepante com os demais é encontrado. Para as condições de processos sujeitos à 200 A o sistema convencional torna-se ligeiramente mais frio em 10% relativos à temperatura de regime. Em termos de resposta dinâmica o resultado também se inverte e finalmente a tocha aletada resfria-se mais rapidamente segundo à velocidade de resfriamento calculada. A validade dos resultados já foi demonstrada ser concisas, inclusive pela repetição dos ensaios referes, os quais demonstraram repetitividade das amostras, a qual pode ser verificada na apresentação dos resultados.

As hipóteses para esse fenômeno são muitas. Tal fenômeno de transição pode ser explicado teoricamente fundamentado na transferência de calor condutiva bidimensional (teoria das aletas) pela perda de efetividade de arrefecimento do sistema de refrigeração convectivo o qual é função da temperatura de base das aletas. A medida que as temperaturas de base do sistema se elevam, as aletas podem deixar de se comportar como um sistema de refrigeração, passando a introduzir uma resistência térmica adicional. Pensando em um sistema em regime permanente sujeito a geração de calor, condução e posterior convecção para o meio externo, sabendo que a taxa de transferência de

calor convectiva é uma função do design das aletas (área, espaçamento e propriedades físicas do material). Há uma taxa de extração de calor máxima intrínseca aos trocadores de calor, quando essa taxa de extração de calor se iguala a geração ocorre a transição entre um sistema de refrigeração eficiente para ineficiente. Esse fenômeno é muito comum em sistemas de refrigeração convectivo de microprocessadores eletrônicos mal projetados.

Tabela 3.22 – Análise térmica comparativa entre tochas Nível de corrente 200 A

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Para condições de processo de soldagem de baixa intensidade, sujeitos à corrente de 100 A, o sistema aletado possui uma resposta térmica expressa por um nível de temperatura de

regime menor que o sistema convencional em cerca de 30% relativos. Porém a velocidade de resfriamento média do sistema aletado apresenta-se menor. Em parte esse fato mostra-se compreensível devido à natureza do fenômeno de refrigeração, o qual sabe-se ser a taxa de resfriamento proporcional a diferença de temperatura entre o sistema e a fronteira. Entretanto, questiona-se a efetividade do projeto do sistema de arrefecimento convectivo (aletas) quanto às resistências à condução relacionados aos acoplamentos internos ao dispositivo.

Para confirmar tal hipótese seria necessária uma nova pesquisa, a qual se buscaria uma comparação entre o comportamento térmico de um mesmo sistema de soldagem, primeiramente analisado sob condições normais de projeto e posteriormente utilizando-se um material acoplante de alta condutividade térmica entre os componentes do sistema afim de aumentar a área real de transferência de calor por condução. Ao se comparar as velocidades de resfriamento e temperaturas de regime do sistema nas duas situações, verificar-se-ia a eficácia do uso de tal substância acoplante. Com a finalidade de diminuir a resistência térmica de contato condutiva interna relativas as partes de acoplamento entre o bico de contato e partes internas do sistema até as aletas, o uso de um material térmico adequado pode introduzir ganhos relativos à resposta térmica do sistema de análise.

Para condições de processo um tanto mais severo, quando sujeita a 150 A de corrente média, novamente o sistema aletado possui um nível de temperatura de regime menor que o sistema convencional. Representado por uma diferença de 150 °C entre os sistemas, e curiosamente, novamente 30% de redução de temperatura de regime, o sistema aletado cumpre seu propósito. Já a velocidade de resfriamento é consideravelmente menor

Para surpresa da pesquisa, um resultado discrepante com os demais é encontrado. Para as condições de processos sujeitos à 200 A, contraditoriamente o sistema convencional torna-se ligeiramente mais frio em 10% relativos à temperatura de regime. Em termos de resposta dinâmica o resultado também se inverte e finalmente a tocha aletada resfria-se mais rapidamente segundo à velocidade de resfriamento calculada.

Quanto a razão dessa inversão de comportamentos entre as tochas, pode se explicar com base no comportamento térmico das aletas da tocha. Em um dado sistema de arrefecimento, sua capacidade de transferir calor é relacionada a sua geometria, material e condições prescritas de temperatura e fluxo de calor entre suas fronteiras. Assumindo como hipótese que a geometria e posição do sistema estejam estabelecidas e as taxas de resfriamento convectivo do sistema em análise, por ser convecção natural, não sofram grandes alterações e portanto sejam constantes. Também, assumindo que o sistema esteja sujeito às condições de geração de calor, em função do aporte térmico representado pela corrente de soldagem. Portanto, assumindo todas os parâmetros anteriores constantes, a capacidade das aletas em transferir calor por condução passa a ser função da temperatura na base das mesmas. Também correlacionamos a temperatura de base das aletas à temperatura do bico de contato, sabendo não ser a mesma mas proporcional.

Estabelecida as hipóteses anteriores, em um trocador de calor, para um dado aumento gradual de temperatura de base, haverá um momento em que a capacidade das aletas em transferir calor por condução se igualará à capacidade do ambiente em extrair calor por convecção. A partir do momento em que a temperatura de base atinge um determinado valor, o trocador de calor atinge seu limite em termos de capacidade de transferir calor. Em ultrapassando tal limite de temperatura de base, o trocador de calor deixa de ser efetivo e passa a se comportar como uma resistência à transferência de calor.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 *Conclusões*

No caso do sistema de soldagem sujeito a determinadas condições de processo, e portanto aporte de calor, existe um ponto em que o nível de temperatura na base do trocador de calor supera o nível de temperatura de base das aletas de projeto. Nesse ponto temos a transição de efetividade do trocador de calor, pois atinge-se o limite da capacidade do sistema em transferir calor.

Portanto, como conclusão global relativa à comparação entre os sistemas, conclui-se que até certos níveis de intensidade de calor gerado, aqui representado pela variação da corrente elétrica aportada ao processo, o uso do sistema aletado é efetivo por possuir menor temperatura de regime de processo. A partir de um certo nível de geração de calor, a capacidade das aletas em extrair calor é saturada de maneira a se tornar ineficaz em se aumentando a geração de calor em sua base.

Uma investigação aprofundada desse fenômeno é importante. Em uma abordagem empírica, a realização de ensaios a níveis de corrente intermediários com intervalos menores no nível de corrente entre um ensaio e outro, até que se atingir um nível corrente em que supere a capacidade das aletas em extrair calor. Esse detalhamento, apesar de custoso, proporcionaria a verificação do exato momento onde ambos os sistemas seriam igualmente eficazes.

De maneira geral, conclui-se satisfatoriamente esse trabalho por atingir todos os objetivos concebidos desde o início. A realização de medições qualitativas, bem como a comparação entre as medições individualmente, a adequação do uso da técnica e da metodologia dos ensaios. A verificação de mudança no comportamento de um sistema de arrefecimento é outro ponto interessante, pois relembra que o uso de sistemas de refrigeração possui limites bem estabelecidos pelas condições de aplicação. Descobre-se o brilho da pesquisa justamente no fato da não linearidade dos resultados e complexidade das análises.

### 5.2 *Sugestões para trabalhos futuros*

Mesmo tendo por satisfatório a análise dos dados obtido, um aprofundamento na mesma linha de pesquisa se faz necessário. A uma abordagem estatística de cada ensaio traria uma maior confiabilidade nos resultados obtidos. A sistematização de tempos de processos bem definidos, apesar de difíceis de conseguir pela instabilidade do processo, traria uma melhor comparação entre os eventos.

Outra iniciativa interessante seria investigar a influência de outros parâmetros de

soldagem, como a DBCP e comprimento do arco, além da corrente média no comportamento térmico de um mesmo sistema. Verificou-se intuitivamente alterações discretas dos resultados das medições, principalmente no que tange à temperatura de estabilização do processo, ao variar esses parâmetros.

Ainda outra pesquisa interessante seria uma comparação entre o comportamento térmico de um mesmo sistema de soldagem, primeiramente analisado sob uso em condições normais de projeto. Posteriormente realizar medições utilizando-se um material acoplante de alta condutividade térmica (similar à pasta térmica utilizada na refrigeração de microprocessadores) entre os componentes internos da tocha. Tal acoplante seria utilizado afim de aumentar a área real de transferência de calor por condução, portanto diminuindo a resistência térmica à condução de calor. Ao se comparar as velocidades de resfriamento e temperaturas de regime do sistema nas duas situações, verificar-se-ia a eficácia do uso de tal substância acoplante. Com o uso de um material acoplante adequado pode introduzir ganhos relativos à resposta térmica do sistema de análise, tanto em regime permanente quanto em transientes do processo.

Em se tratando de projeto de tochas, para solução do problema apresentado propõem-se duas abordagens distintas. De maneira simplificada, o acoplamento de um sistema de convecção forçada (ventilador ou cooler adaptado) ao sistema de aletas seria uma solução simples de ser implementada. Uma segunda abordagem seria partir para o reprojeto do sistema de aletas, bem como componentes internos integrantes, alterando-os através de uma abordagem analítica em conjunto à simulação numérica computacional.

## REFERÊNCIAS

- G. GAUSSORGUES, **Infrared Thermography**, 3rd ed., Chapman & Hall, London (1994).
- ThermaCAM™ **Researcher user's manual**, professional edition. Version 2.8.FLIR Systems; 2006.
- SIEGEL, R. and J. R. Howell, ***Thermal Radiation Heat Transfer***, 2d ed., Hemisphere, NY, p. 63 (1981).
- CHRZANOWSKI, K.; “**Non-Contact Thermometry - Measurement**”, SPIE PL, Research and development Treaties, Vol. 7, Warsaw, 2001.
- EDWARD F. Zalewski., “**Radiometry and Photometry**,” Handbook of optics, n.5 p. 843-888, 1995
- DE WITT DP. **Theory and practice of radiation thermometry**. Wiley-Interscience; 1988 (ISBN 10: 0471610186/0-471-61018-6, ISBN 13: 9780471610182).
- JAMES M. Palmer., “**The Measurement Of Transmission , Absorption , Emission , And Reflection**,” Optical Sciences Center University of Arizona Tucson , Arizona.,Handbook of optics, n.5 p. 892-909, 1995
- SCHRER K. **A method for measuring infrared emissivities of near-black surfaces at ambient temperatures**. *Infrared Phys* 1976;16:157–63.
- ASTM, “**Test for Total Normal Emittances of Surfaces Using Inspection Meter Techniques**,” *ASTM E408*, ASTM, Philadelphia (1990).