

[illegible]

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 2 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico	PÚBLICO	
		POCOS/EP/ITC/ETP	

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 ESCOPO	3
3 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	4
4 SIGLAS OU ABREVIATURAS.....	5
5 TERMOS E SÍMBOLOS.....	8
6 DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS FUNCIONAIS E TÉCNICOS	9
7 REQUISITOS COMPLEMENTARES	24
8 DOCUMENTAÇÃO	24
ANEXO 1	26
ANEXO 2	29
ANEXO 3	30

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 3 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP

1 INTRODUÇÃO

- 1.1 Esta Especificação Técnica foi elaborada com o objetivo de definir os requisitos técnicos e o protocolo de testes mínimos exigidos pela **PETROBRAS** para determinar o coeficiente global de transferência de calor (**U**) de Tubulares com Isolamento Térmico (**TIT**).
- 1.2 O TIT é um elemento tubular formado por tubos concêntricos e conexões em suas extremidades, cujo anular dos tubos:
- a) contém um elemento isolante térmico com baixa condutividade térmica;
 - b) é submetido a vácuo;
 - c) ambos.
- 1.2.1 As conexões do TIT poderão ou não possuir isolamento térmico, desde que o TIT atenda o desempenho esperado.
- 1.3 O TIT é uma tecnologia projetada para minimizar a perda de calor dos fluidos de produção e/ou injeção e reduzir a troca de calor do seu interior com o exterior (vice e versa), podendo ser aplicado, por exemplo, mas não exclusivamente, para prevenir a formação de hidratos e/ou parafinas e assim garantir o escoamento ou para mitigar a pressurização de anular (*pressure buildup*) devido a expansão do fluido confinado no anular com o aumento da temperatura do poço.

2 ESCOPO

- 2.1 Esta Especificação Técnica (ET) estabelece os requisitos funcionais e técnicos básicos para projetar, verificar e validar os testes para qualificação do TIT.
- 2.2 Os requisitos técnicos listados nesta ET deverão balizar os fornecedores e os técnicos responsáveis pela confecção da ET-RBS acerca das necessidades técnicas e funcionais mínimas do TIT. A especificação exata do equipamento será estabelecida na ET-RBS, que deverá seguir no mínimo os requisitos desta ET-R, tendo em conta as características do cenário de aplicação definido para o processo de compra.
- 2.2.1 Caso haja divergências de informações de condições dos testes de qualificação (como por exemplo, mas não exclusivamente, temperatura, pressão, carregamento, composição dos fluidos) descritas nas ET, incluindo a ET-RBS e respectivas normas de referência, devem prevalecer as condições mais rigorosas para os objetivos dos testes.
- 2.3 Os Tubulares com Isolamento Térmico (TIT) poderão ser de dois tipos a depender da presença ou não de Acessório Específico para Isolamento da Luva (AEIL). Um AEIL é qualquer elemento mecânico externo posicionado sobre a luva do TIT para complementar o seu isolamento:

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 4 de 30
	TÍTULO:		PÚBLICO
	Tubulares com Isolamento Térmico		POCOS/EP/ITC/ETP

2.3.1 TIT sem AEIL: o coeficiente global de transferência de calor (U) será cálculo conforme item 5.4.1;

2.3.2 TIT com AEIL: o coeficiente global de transferência de calor (U) será cálculo conforme item 5.4.2.

3 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Devem ser consideradas as últimas revisões das normas e especificações a seguir.

3.1 **OTC 31260** – *Novel Experimental Method to Determine the Performance of Vacuum Insulated Tubing VIT for Deepwater Applications*;

3.2 **API SPEC Q1/ ISO TS 29001** – *Specification for Quality Management System Requirements for Manufacturing Organizations for the Petroleum and Natural Gas Industry*;

3.3 **API RP 5C5** – *Procedures for Testing Casing and Tubing Connections*;

3.4 **API 5CT: 2011**– *Specification for Casing and Tubing*;

3.5 **AWS 3.0: 2025** – *Standard Welding Terms and Definitions*

3.6 **AWS D1.6** - *Structural Welding Code — Stainless Steel*;

3.7 **IEIS** – Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem;

3.8 **ISO 9001** – *Quality management systems – Requirements*;

3.9 **ISO 14175** - *Welding consumables — Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes*;

3.10 **DNV-RP-F108** - *Assessment of flaws in pipeline and riser girth welds* (ed. 2019 – am 2021);

3.11 **NACE MR 0175/ ISO 15156** – *Petroleum and Natural Gas Industries – Materials for use in H2S-containing Environments in Oil and Gas Production*;

3.12 **NACE TM 0316** - *Four-Point Bend Testing of Materials for Oil and Gas Applications*;

3.13 **IEC 60812** – *Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*;

3.14 **ET-3000.00-1210-210-PPQ-001** - TUBOS, CONEXÕES E REDUÇÕES PARA REVESTIMENTOS E COLUNAS DE PRODUÇÃO;

3.15 **ET-300000-5524-823-PEK-005** - PROTETORES DE CABO PARA COLUNA DE POÇO SUBMARINO;

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 5 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP
3.16 I-ET-0000.00-0000-210-P9U-005 - ALTERNATIVE FLAW ACCEPTANCE CRITERIA OF SUBMARINE RIGID PIPELINE AND RISER WELDS (revision B); 3.17 ASME BPVC.IX - <i>ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX – Welding and Brazing Qualifications</i>; 3.18 ET-0000.00-0000-972-1AL-001 – REQUISITO GERAL DA QUALIDADE (RGQ); 3.19 N-133 - Soldagem 3.20 N-1594 – Ensaio Não Destrutivo – Ultrassom em Solda; 3.21 N-1596 – Ensaio Não Destrutivo - Líquido Penetrante; 3.22 N-1597 - Ensaio Não Destrutivo Visual; 3.23 N-2301 - Elaboração da Documentação Técnica de Soldagem; 3.24 N-2941 - Competências Pessoais em Atividades de Inspeção.			
4 SIGLAS OU ABREVIATURAS 4.1 AEIL - Acessório Específico para Isolamento da Luva (AEIL); 4.2 API – <i>American Petroleum Institute</i>; 4.3 AWS – <i>American Welding Society</i>; 4.4 CAD – Define-se como um programa CAD, <i>Computer-Aided Design</i>, uma tecnologia computadorizada com foco no desenho do produto e na documentação da fase de projeto, durante o processo de engenharia; 4.5 CVN – Ensaio de impacto tipo “Charpy” com entalhe em “V”; 4.6 ECA – <i>Engineering Critical Assessment</i> – Avaliação crítica de engenharia, incluindo os estados limites fratura, fadiga, corrosão-fadiga e colapso, para determinação de critério para aceitação de descontinuidades planares em juntas soldadas; 4.7 END – Ensaio Não Destrutivo 4.8 EPS – Especificação do Procedimento de Soldagem ou WPS – <i>Welding Procedure Specification</i>; 4.9 ET – Especificação Técnica da PETROBRAS;			

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 6 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP
4.10 ET-R – Especificação Técnica de Requisitos da PETROBRAS. É um documento que contém os requisitos gerais que deverão ser atendidos por todas as contratações quando se tratar do objeto de referência da ET-R: sistema, equipamento, material ou serviço; 4.11 ET-RBS – Especificação Técnica de Requisição de Bens e Serviço – É um documento que é emitido no processo de contratação de uma tecnologia. Possui requisitos complementares aos da ET-R; 4.12 EVS – Ensaio Visual de Solda 4.13 FCGR – <i>Fatigue Crack Growth Rate</i> – Taxa de crescimento de descontinuidades por fadiga; 4.14 FEA – <i>Finite Element Analysis</i>; 4.15 FMC - Full Matrix Capture; 4.16 FMECA – <i>Failure Mode, Effects and Criticality Analysis</i>; 4.17 FPB - <i>Four Point Bend</i> – corpo de prova com flexão a quatro pontos; 4.18 GMAW – Gas Metal Arc Weld 4.19 GTAW – Gas Tungsten Arc Weld 4.20 IAF – <i>International Accreditation Forum</i>; 4.21 KV - Energia medida no ensaio de impacto tipo CVN, em Joules 4.22 ILAC – <i>International Laboratory Accreditation Cooperation</i>; 4.23 ISO - <i>The International Organization for Standardization</i>; 4.24 KDF - <i>Knock Down Factor</i> – Fator de Degradação do Dano a Fadiga S-N 4.25 NACE – <i>National Association of Corrosion Engineers</i>; 4.26 NTU - <i>Number of Transfer Units</i> – Número de Unidades de Transferência; 4.27 PAUT – Phased Array Ultrasonic Testing; 4.28 RGQ – Requisito Geral da Qualidade; 4.29 RQPS - Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem 4.30 SDSS – <i>Super Duplex Stainless Steel</i>; 4.31 SMSS - <i>Super Martensitic Stainless Steel</i>; 4.32 SMYS – <i>Specified Minimum Yield Stress</i> – Limite de Escoamento Mínimo Especificado;			

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 7 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP
4.33 SSC – <i>Sulfide Stress Cracking</i>; 4.34 TTAT (PWHT) – Tratamento Térmico de Alívio de Tensões (<i>Post Weld Heat Treatment</i>); 4.35 Test Lot – conforme especificado na norma ISO 13680 4.36 TFM – <i>Total Focusing Method</i>; 4.37 TIT – Tubular com Isolamento Térmico; 4.38 TTPS – Tratamento Térmico Pós-Soldagem; 4.39 UNS - Unified Number System 4.40 UTS - <i>Ultimate Tensile Strength</i> – Limite de Resistência a Tração; 4.41 ZTA - Zona Termicamente Afetada.			

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 8 de 30
	TÍTULO:	Tubulares com Isolamento Térmico	PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP

5 TERMOS E SÍMBOLOS

A_i – Área interna da superfície do tubo interno;

A_o – Área externa da superfície do tubo externo;

c_P – Calor específico à pressão constante;

D_{ii} – Diâmetro interno do tubo interno;

D_{io} – Diâmetro externo do tubo interno;

D_{oi} – Diâmetro externo do tubo interno;

D_{oo} – Diâmetro externo do tubo externo;

e - Efetividade (ou eficiência) térmica;

h_i – Coeficiente de transferência térmica do meio interno;

h_o – Coeficiente de transferência térmica do meio externo;

k_{air} – Condutividade Térmica do Ar;

k_{eff} – Condutividade Térmica Efetiva;

$\dot{m}$ - Vazão mássica;

m – Viscosidade dinâmica para cálculo de Pr ;

Nu – Número de Nusselt;

Pr – Número de Prandtl;

Re – Número de Reynolds;

T_{ave} – Temperatura média;

T_{in} - Temperatura de entrada do TIT;

t_n - Espessura nominal da junta soldada;

T_{out} - Temperatura de saída do TIT;

T_{WB} – Temperatura do Banho de Água;

U – Coeficiente Global de Transferência de Calor (overall heat transfer coefficient), $W/m^2.K$.

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 9 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP

6 DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS FUNCIONAIS E TÉCNICOS

6.1 REQUISITOS FUNCIONAIS

- 6.1.1 O TIT depois de pronto deverá ter comprimento dentro da faixa equivalente ao range 3, conforme API 5CT. Excepcionalmente, os tubos poderão ter outro comprimento, se assim for estabelecido na ET-RBS;
- 6.1.2 O tubo interno deve estar centralizado ao tubo externo para não prejudicar a passagem de ferramentas e equipamentos e não promover troca térmica entre os tubos por condução, caso encostem um no outro;
- 6.1.3 Os tubos internos, assim como os externos, devem possuir propriedades geométricas (drift, excentricidade, ovalização, etc.) definidas pela API 5CT. As dimensões e pesos dos tubos externos e internos devem seguir a ET-3000.00-1210-210-PPQ-001.

6.2 REQUISITOS TÉCNICOS

- 6.2.1 O TIT deve ser projetado para suportar os esforços decorrentes do diferencial de temperatura entre o tubo interno e externo;
- 6.2.2 O tubo interno deve possuir metalurgia igual ou superior à do tubo externo;
- 6.2.3 O TIT deve ter resistência mecânica igual ou superior ao do tubo externo.

6.3 REQUISITOS TÉCNICOS DE SOLDAGEM E INSPEÇÃO

- 6.3.1 É importante notar a complexidade de se soldar o aço inoxidável super martensítico (SMSS), garantindo sua resistência à trincamento assistido pelo meio, o que implica na necessidade do atendimento dos requisitos deste item 6.3;
- 6.3.2 Os requisitos das normas Petrobras N-133, N-1594, N-1596, N-1597, N-2301 e N-2941, alterados e/ou modificados conforme este item 6.3, devem ser atendidos. Não conformidades devem ser submetidas à Petrobras para avaliação podendo ou não ser aprovadas;
- 6.3.3 Qualificação dos Procedimentos de Soldagem
 - a) A qualificação dos procedimentos de soldagem (RPQS ou PQR – *Procedure Qualification Record*) deve apresentar o conteúdo completo requerido da norma Petrobras N-2301.
 - b) Os testes de qualificação dos procedimentos de soldagem devem atender aos requisitos contidos nos itens a), 6.3.3.1, e 6.3.4 e serem documentados consistentemente;
 - c) Estes testes devem ser representativos das soldas de produção em relação à soldagem, posições, temperatura entre passes, aplicação de pré-aquecimento, condução de calor, etc.;
 - d) As soldas de produção devem manter o controle das temperaturas de soldagem, de maneira a garantir a repetibilidade microestrutural das zonas testadas das juntas

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 10 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP
soldadas, em suas várias configurações, viabilizando o uso dos respectivos procedimentos de soldagem para a fabricação do TIT; e) O procedimento de soldagem deve produzir repetibilidade dos parâmetros de soldagem. Se usados processos manuais, a habilidade dos soldadores para a manutenção da velocidade de soldagem, do aporte térmico e sua performance em não gerar descontinuidades, principalmente planares, deve ser controlada e registrada com frequência diária. Os registros desta atividade devem ser apresentados à Petrobras; f) Todos os procedimentos de soldagem (EPS ou WPS – <i>Welding Procedure Specification</i>) utilizados na fabricação do TIT, incluindo os utilizados na soldagem de tamponamento do furo do tubo externo ou qualquer “ponto de solda” (<i>tack weld</i>) devem ser suportados por qualificação conforme os requisitos da Seção IX do código ASME BPVC e deste item 6.3, além de previamente submetidos à Petrobras para aprovação; g) Não são aceitáveis procedimentos de soldagem previamente qualificados. Caso o fornecedor queira utilizar outra norma para a qualificação das EPS, tal como a AWS D1.6, deve submeter consulta e obter aprovação previa da Petrobras, não podendo desconsiderar os demais requisitos de soldagem desta ET-R; h) Devem ser emitidas EPS individuais (ou IEIS), conforme os requisitos deste item 6.3, para cada configuração de junta soldada, incluindo as faixas de todas as variáveis essenciais, detalhes da configuração da junta, tolerâncias dimensionais, sequência de passes e requisitos de inspeção (tipo e extensão dos END), devidamente suportadas pela RQPS e requisitos desta ET-R; i) Toda a documentação de soldagem deve atender aos requisitos e conteúdo mínimo da norma Petrobras N-2301 e ser assinada por inspetor de soldagem nível 2 ou equivalente, conforme item 6.1 da norma Petrobras N-2941 e deverá ser submetida a Petrobras para aprovação. 6.3.3.1 Adicionalmente à Seção IX do código ASME BPVC, devem ser consideradas “essenciais” e que implicam na requalificação das EPS, as seguintes variáveis: a) <i>Metais de base</i> – mudança na identificação UNS (<i>Unified Number System</i>) da liga do material de base (tubo) e/ou mudança no processo de fabricação e/ou condição de fornecimento do metal de base e/ou no fornecedor do aço e/ou aumento superior a 0,01% do teor de Carbono. b) <i>Especificação, marca comercial e fabricante do consumível de soldagem</i> – A mudança da especificação AWS, da marca comercial ou do fabricante do consumível utilizados nos testes de qualificação da EPS. c) <i>Heat Input</i> - As faixas de aporte térmico (<i>heat input</i>) da EPS final devem ser divididas por regiões da junta soldada. i. Sobre os valores de aporte térmico médio registrados nos passes de raiz, passe de reforço, enchimento e acabamento, durante a qualificação do procedimento de soldagem é aplicável uma tolerância máxima de ± 15% para as soldas de produção;			

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 11 de 30
	TÍTULO:		PÚBLICO
	Tubulares com Isolamento Térmico		POCOS/EP/ITC/ETP
ii. É requerido o uso de <i>data logger</i> para registro do <i>heat input</i>, ou aporte térmico, durante a qualificação dos procedimentos de soldagem e durante a execução das soldas de produção; iii. Valores inconsistentes de <i>heat input</i>, tais como registrados durante abertura ou fechamento do arco elétrico, devem ser desconsiderados do cálculo do <i>heat input</i> médio; iv. Para calcular o <i>heat input</i> médio de cada passe, os valores mínimo e máximo registrados devem refletir medições simultâneas, não sendo permitidas combinações de corrente e tensão obtidas em instantes distintos; v. Para a qualificação de procedimentos que utilizam processos de soldagem manuais ou semiautomáticos, é necessário realizar duas qualificações completas, conforme a seguir: - A primeira qualificação deve abranger os valores mínimos de aporte térmico previstos para todas as juntas soldadas; - A segunda qualificação deve cobrir os valores máximos de aporte térmico previstos para essas juntas. vi. Os valores de aporte térmico da primeira qualificação devem ser inferiores aos valores de aporte térmico da segunda qualificação na comparação individual de todas os passes/camadas das juntas soldada; vii. A faixa final qualificada não pode ser inferior ao aporte térmico médio da primeira qualificação e nem superior ao aporte térmico médio da segunda qualificação. Os parâmetros usados no TTAT das duas qualificações têm que ser idênticos. d) <i>Temperatura mínima de preaquecimento e Temperatura Máxima Interpasse</i> - A menor temperatura de preaquecimento registrada durante a soldagem dos cupons de qualificação não deve ser reduzida nas soldas de produção; i. A temperatura de preaquecimento mínima deve ser mantida em todos os passes; ii. O máximo valor de temperatura interpasse de qualquer passe de soldagem não deve ser maior do que o maior valor registrado durante a qualificação. Os valores finais das temperaturas de preaquecimento mínima e de interpasse máxima da EPS final não precisam atender aos limites da norma Petrobras N-133; iii. A interrupção da execução da soldagem durante o procedimento de soldagem antes de três passes terem sido totalmente concluídos, de modo a que temperatura caia abaixo da temperatura mínima de pré-aquecimento, é variável essencial e deve ser simulada durante a qualificação;			

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 12 de 30
	TÍTULO:	Tubulares com Isolamento Térmico	PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP
e) <i>Inclusão ou exclusão de qualquer tipo de tratamento térmico ou pós aquecimento, ou alteração</i> de +8/-0°C na temperatura de tratamento e de +10/-0% no tempo de tratamento, redução no tempo ou temperatura de pós aquecimento (para saída de hidrogênio) ou de métodos, meios e tempos para acelerar o resfriamento; f) A faixa de espessura nominal ("t_n") qualificada deve ser limitada entre "0,75 x t_n" e "1,25 x t_n" da espessura nominal da junta. i. A definição da espessura nominal ("t_n") da junta soldada, deve ser definida como: • Para juntas de topo com penetração total, entre membros de mesma espessura, a espessura nominal "t_n" será a profundidade total da solda, excluindo qualquer reforço. • Para juntas de topo com penetração total, entre membros de espessura diferente, a espessura nominal "t_n" será a profundidade do membro de menor espessura, excluindo qualquer reforço; • Para soldas em ângulo, a espessura nominal "t_n" será a dimensão da garganta da solda, excluindo qualquer reforço; • Para juntas em ângulo com penetração total (compostas por soldagem em ângulo sobrepondo a soldagem em chanfro simultaneamente), a espessura nominal será a dimensão da garganta solda mais a penetração do chanfro, excluindo qualquer reforço; • Para solda de tamponamento, <i>plug weld</i>, a espessura nominal deverá ser a profundidade total da penetração da solda, excluindo reforços. g) <i>A faixa de diâmetro interno nominal qualificada</i> deve ser limitada entre metade e duas vezes o diâmetro interno nominal da junta utilizada na qualificação da EPS, de maneira a representar as temperaturas observadas durante o aquecimento e resfriamento no processo de soldagem; h) <i>Configuração da junta</i>, incluindo tolerância dimensional descrita na EPS - As tolerâncias dimensionais estabelecidas devem refletir de maneira coerente a manutenção da faixa de aporte térmico, do número de passes e das temperaturas envolvidos durante o procedimento de soldagem; i) <i>Alteração entre passes estreitos ou oscilantes</i>. Deverão ser considerados como estreitos os passes com largura equivalente a até 3 vezes o diâmetro do eletrodo ou arame; j) Alteração entre soldagem por passe único e por múltiplos passes, e vice-versa;			

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 13 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP
k) Alteração de posições de soldagem fora dos limites da tabela QW-461.9 e de progressão de soldagem entre ascendente e descendente, devem ser consideradas variáveis essenciais do “procedimento” de soldagem também; l) Alteração entre o número de arcos abertos simultaneamente, do número de arames do conjunto de soldagem, da sequência de soldagem, ou de outra variável que afete as temperaturas a que os metais estão envolvidos durante o procedimento de soldagem não descrita aqui; m) <i>Alteração do processo (s) de soldagem e/ou da sequência de processos de soldagem e/ou alteração entre processo de soldagem manual ou semiautomática e processo de soldagem mecanizado ou automatizada e vice-versa e/ou alteração entre arame quente ou frio e/ou mudança do tipo ou modelo do equipamento usado em soldagem mecanizada ou automatizada, são consideradas variáveis essenciais;</i> n) <i>Gases de proteção, purga ou plasma:</i> Alteração na designação ou classificação de acordo com a norma ISO 14175 e/ou redução da pureza nominal e/ou da composição individual em misturas de gases e/ou aumento do teor de oxigênio testado na qualificação (limitado a 1000 ppm nas soldas de produção) e/ou variação da vazão de gás de proteção acima de ±15%. Em função das geometrias envolvidas, caso não seja possível a realização de purga, e a EPS seja aprovada conforme essa especificação, a exigência de purga da norma Petrobras N-133 pode ser desconsiderada; o) <i>Alteração na versão do programa</i> utilizado para a soldagem mecanizada ou automatizada, a não ser que se evidencie que as variáveis essenciais de soldagem não sofreram alteração. 6.3.4 A qualificação da EPS deverá incluir os ensaios e condições a seguir: 6.3.4.1 Ensaio de tração e dobramento transversais à junta soldada: a quantidade, localização e critério devem atender à Seção IX do Código ASME BPVC, com exceção dos ensaios de tração, que deve incluir medição e registro do escoamento, e cujos resultados devem ser iguais ou superiores aos SMYS e UTS do tubo UNS S41426; a) O alongamento mínimo apresentado nos ensaios de tração deve atender aos requisitos da norma ISO 13680. Os corpos de prova de tração indicados na Seção IX do Código ASME BPVC são aceitáveis, porém é recomendado o uso de corpos de prova de tração com a espessura completa da junta; b) Para seleção entre corpos de prova de dobramento lateral ou de face e raiz, as orientações da tabela QW-451.1 da Seção IX do Código ASME BPVC devem ser seguidas. 6.3.4.2 Ensaio de dureza e de corrosão sob tensão: a) As juntas soldadas devem atender aos requisitos da norma NACE MR-0175 / ISO-15156-3 para serviço com H₂S. A qualificação da EPS deve incluir ensaios de dureza			

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 14 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP
e de corrosão sob tensão conforme descrito a seguir. Reteste só é permitido se demonstrado que a reprovação se deu em decorrência da confecção dos corpos de prova ou da execução dos ensaios. Se um dos ensaios for reprovado, deve ser esclarecida a razão para a falha e deve ser realizada nova qualificação após alterações dos parâmetros de soldagem e/ou tratamento de alívio indicados EPS. b) TiT com SMYS 95 ksi: a dureza do metal de base e da ZTA das juntas soldadas em aço inoxidável UNS S41426 não pode ser superior a 286 HV10 e a dureza do metal de adição em SDSS não pode ser superior a 302 HV10; c) TiT com SMYS 110 ksi: a dureza do metal de base e da ZTA das juntas soldadas em aço inoxidável UNS S41426 não pode ser superior a 318 HV10 e a dureza do metal de adição em SDSS não pode ser superior a 302 HV10. d) Procedimento dos ensaios de dureza: o procedimento de medição de dureza deve ser apresentado a Petrobras para aprovação antes da sua execução. i. As indentações, tanto dos ensaios de qualificação da EPS quanto dos ensaios de produção, devem ser conforme método de dureza Vickers, perfis da norma Petrobras N-133 e carga de 10 kgf/cm²; ii. Os perfis de dureza do anexo B desta norma apresentam indentações espaçadas ao longo de linhas que atravessam as diferentes regiões da ZTA (desde próximo à linha de fusão, passando por região de grãos grosseiros, grãos finos em direção ao metal de base); iii. Configurações de juntas e perfis não existentes na N-133 podem ser propostos para a avaliação da Petrobras, desde que esta característica seja mantida e apresente ao menos linhas próximo às duas superfícies e próximo à raiz da junta; iv. O perfil da junta em ângulo conforme NACE MR-0175/ISO-15156-3 pode ser aceito se apresentar três indentações atravessando a ZTA na mesma linha de perfil ou, caso a espessura da ZTA não permita a distância mínima de 1,5 mm (-0,0 +0,5 mm), admite-se apenas duas indentações. Para <i>plug welds</i>, o perfil da figura B.2 da N-133 pode ser adaptado e mantidas as condições descritas; v. Ensaios de dureza pelo método <i>Vickers</i>, com perfil de indentação conforme a norma Petrobras N-133. Uma vez aprovadas as amostras nos ensaios de corrosão, a dureza máxima da junta qualificada não poderá ser ultrapassada em nenhuma das configurações de juntas previstas para as soldas de produção. Observar a característica destes perfis, há indentações ao longo de diferentes regiões da ZTA. e) Ensaio de corrosão sob tensão: Os ensaios de corrosão sob tensão devem ser realizados de acordo com os requisitos especificados na norma NACE TM0316, por meio de corpos de prova do tipo FPB (<i>Four Points Bending</i>), na condição “após			

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 15 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP
soldagem e tratamento térmico” e “usinagem” da raiz do corpo de prova”, em dois meios de teste diferentes. i. O primeiro meio de teste deve ter a seguinte condição: • pH ajustado para 4,5; • Mistura gasosa composta por 7% H₂S e 93% CO₂. • A solução aquosa deve conter 20% em peso de NaCl e 4 g/L de acetato de sódio; • pH ajustado por meio de ácido acético; • Para atingir o valor especificado de pH, considerando o efeito da adição da mistura gasosa (CO₂ + H₂S), estima-se uma concentração de aproximadamente 0,95 g/L de ácido acético; • O teste deve ser realizado em condições de temperatura ambiente, pressão atmosférica com borbulhamento contínuo da mistura gasosa; • O pH da solução deve ser aferido no início e ao final do teste para assegurar a estabilidade das condições experimentais. ii. O segundo meio de teste deve ter a seguinte composição: • Mistura gasosa composta por 1% H₂S e 99% CO₂; • Todas as outras condições iguais às da condição de teste 1. iii. Considerando-se que a junta soldada será heterogênea (metal de adição em SDSS, ER 2594 ou ER2209), a tensão aplicada no ensaio deve ser equivalente a 100% do AYS obtido por meio de ensaio de tração transversal da junta soldada, obtido durante a qualificação, e não inferior a 95 ksi ou 110 ksi, conforme for o respectivo SMYS do TIT; iv. Se o teste de SSC falhar com o nível de 95 ksi ou 110 ksi, utilizando um corpo de prova obtido por uma junta soldas de nível de AYS inferior a 95 ksi ou 110 ksi, conforme ensaio de tração, um segundo teste pode ser considerado em um nível de tensões equivalente a 100% do AYS da junta soldada testada durante a qualificação da EPS, desde que esse valor seja comprovadamente inferior ao nível máximo de tensões aplicado nas regiões das juntas soldadas identificado na FEA, conforme item 6.3.7.2; v. Nesse caso, o valor de SMYS do tubo requeridos para os testes de tração poderá ser desconsiderado para a qualificação da EPS, considerando-se apenas o valor requerido de UTS do tubo.			

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 16 de 30
	TÍTULO:		PÚBLICO
	Tubulares com Isolamento Térmico		POCOS/EP/ITC/ETP

6.3.4.3 Ensaios de *Charpy*:

- Testes de conjuntos compostos por 03 (três) corpos de prova de impacto, tipo *Charpy* com entalhe em V (CVN), conforme norma ASTM A370, na temperatura máxima de 0°C, são requeridos para cada uma das seguintes regiões da junta soldada: metal de solda e ZTA (Zona Termicamente Afetada);
- Caso a junta soldada seja composta de materiais com UNS diferentes, ambas as ZTA devem ser testadas. O critério de aceitação para a energia absorvida nos ensaios CVN deve ser no mínimo 55 Joules para a média de 03 (três) corpos de prova e 45 Joules para cada corpo de prova individual;
- Os ensaios de impacto CVN devem, em geral, ser realizados em corpos de prova com seção transversal de 10 mm x 10 mm (conforme ASTM A370);
- Quando se fizer necessário, em função das dimensões da junta soldada, corpos de prova com largura < 10 mm, a energia de impacto média (KV_{med}) medida na seção transversal do corpo de prova medida sob o entalhe (A, em mm²) deve ser relatada.
- A menor seção transversal admissível para corpos de prova *sub size* é de 5 mm x 10 mm. Para comparação da energia absorvida por corpos de prova *sub size* com os valores do critério acima, a energia medida no ensaio deve ser convertida em energia de impacto (KV) em Joules usando a equação a seguir. A mesma fórmula deve ser adotada para o critério da energia mínima (KV_{min}) obtida no ensaio, substituindo-se o valor de KV_{med} por KV_{min} na equação a seguir:

$$KV = (8 \times 10 \times KV_{med})/A$$

6.3.4.4 *Mock-ups*

- Juntas em ângulo, soldas de tamponamento, selagem ou quaisquer outras configurações de junta soldada com impossibilidade física de obtenção de corpos de prova, podem ser qualificadas por juntas de topo com soldas em chanfro, em função de restrições geométricas para remoção de corpos de prova. Porém, devem ser soldados de cupons de “*mock up*” para complementar a qualificação destas configurações de juntas;
- Os “*mock ups*” devem ser representativos das configurações e temperaturas de soldagem destas juntas, e deles devem ser extraídos corpos de prova para:
 - ensaio macrográfico;
 - para confirmar a penetração da solda em ângulo;
 - para ensaios de dureza, com o perfil de dureza conforme a norma Petrobras N-133 e;
 - para identificação das durezas máximas das configurações diferentes de topo.

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 17 de 30
	TÍTULO:		PÚBLICO
	Tubulares com Isolamento Térmico		POCOS/EP/ITC/ETP
c) Deve ser realizada avaliação microestrutural em todas as regiões das juntas soldadas em cada uma das configurações de juntas soldadas previstas, incluindo a dos cupons de “<i>mock up</i>”, juntas em ângulo, soldas de tamponamento, selagem ou quaisquer outras configurações de juntas soldadas com impossibilidade física para obtenção de corpos de prova. d) O metal de base e o metal de solda devem se apresentar essencialmente livre de carbeto, nitreto e fases intermetálicas. Essencialmente livre significa que a ocorrência ocasional de fases deletérias no metal de base e no metal de solda é aceitável desde que inferior a 1% da área investigada na macrografia (carbeto, nitreto e fases intermetálicas) e inferior a 0,5% para fases intermetálicas; e) Especificamente para metal fundido em SDSS, o teor de ferrita deve ser situar entre 35% e 65%; f) Micro trincas não são permitidas; g) Os cupons de teste do tipo “<i>mock up</i>” requeridos devem atender às mesmas faixas de aporte de térmico da EPS final, com identificação individual das faixas qualificadas para os passes de raiz, passes de reforço ou aplicados diretamente sobre o passe de raiz, passes de enchimento e passes de acabamento. A sequência de passes utilizada no cupom de “<i>mock up</i>” deverá ser bem estabelecida e reproduzida entre o e as soldas de produção; h) Retestes não são aceitáveis, a menos que provado a falha ocorreu que em função de execução inadequado do corpo de prova ou do ensaio. Falhas em testes devidas a questões metalúrgicas, mecânicas ou de resistência a corrosão devem implicar em mudanças nos procedimentos de soldagem que impactem nos aspectos que levaram à reprovação; 6.3.5 Qualificação de Soldadores e/ou Operadores de Soldagem a) Os soldadores ou operadores de soldagem devem ser qualificados conforme as variáveis essenciais do artigo III da Seção IX do código ASME BPVC; b) A qualificação dos soldadores e/ou operadores de soldagem (RQS ou WQR – <i>Welder and Welding Operator Performance Qualification Record</i>) deve apresentar o conteúdo completo da norma Petrobras N-2301; c) A qualificação dos soldadores e operadores de soldagem deve demonstrar a sua habilidade na reprodução da faixa de aporte térmico qualificada para as diferentes configurações de juntas, para as soldas de produção. Este requisito é crítico para processos de soldagem manuais ou semiautomáticos, não aceitáveis por esta especificação técnica. 6.3.6 Requisitos de Fabricação (soldas de produção)			

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 18 de 30
	TÍTULO:		PÚBLICO
	Tubulares com Isolamento Térmico		POCOS/EP/ITC/ETP
a) Todos os TITs produzidos devem ser agrupados em conjuntos de no máximo 50 tubos produzidos sequencialmente. Cada conjunto deste deve ser considerado uma “unidade de teste”; b) As unidades de teste devem ser obtidas a partir de tubos externos de um mesmo <i>test lot</i>, conforme definição da ISO 13680; c) Todas as unidades de teste devem ser submetidas a testes de produção para controle de qualidade, conforme aqui especificado; d) Poderá ser necessário um controle e separação de tubos externos (pintura das pontas de mesma corrida por exemplo) para que de um mesmo <i>test lot</i> se obtenha uma unidade de teste de TITs; e) De cada unidade de teste, deve ser selecionada aleatoriamente uma única extremidade de TIT para realizar os seguintes testes de produção: i. macrografia; ii. micrografia; iii. ensaios de dureza em todas as soldas da extremidade escolhida. f) Em uma mesma seção transversal podem ser realizados os três tipos de ensaios. Se houver “<i>plug weld</i>” em uma das extremidades, essa extremidade deve ser a selecionada; g) Os perfis de dureza devem ser os mesmos perfis especificados no item 6.3.4.2 d); h) Nos testes de produção, a dureza máxima aceitável no MB e na ZTA das juntas soldadas dos TITs de 95 ksi é de 286 HV10; i) A dureza máxima aceitável no MB e na ZTA das juntas soldadas dos TITs de 110 ksi é o valor da dureza obtida nos ensaios de SSC durante a qualificação, com tolerância de 5% para cima, limitada a 318 HV10; j) A dureza máxima aceitável no MS em SDSS das juntas soldadas dos TITs é de 302 HV10; k) A avaliação microestrutural das soldas deve atender ao item 6.3.4.4. Os ensaios macrográficos durante os testes de produção também deve atender ao critério descrito no item 6.3.4.4. As extremidades de TIT utilizadas nos testes de produção podem ser reprocessadas. Entende-se como reprocessamento, refazer a extremidade do TIT, por meio de reusinagem, ressoldagem e retratamento completo destas extremidades; l) Para se aceitar ou rejeitar uma unidade de teste como resultado da reprovação de um ensaio de dureza, micrografia ou macrografia, uma ampliação de amostragem da unidade de teste deve ser feita, conforme a seguir:			

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 19 de 30
	TÍTULO:		PÚBLICO
	Tubulares com Isolamento Térmico		POCOS/EP/ITC/ETP
i. devem ser testadas duas seções transversais obtidas aleatoriamente de outros TITs da mesma unidade de teste, apenas do mesmo tipo de junta soldada (e.g. <i>plug weld</i> ou <i>fillet weld</i>) em que ocorreu a falha do teste de produção; ii. Ambos os testes realizados nesta ampliação de amostragem devem atender aos requisitos dos testes de produção; iii. Em caso de reprovação de um destes testes executados para ampliação de amostragem toda a unidade de teste deve ser reprovada não admitindo-se reprocessamento de nenhum dos TITs desta unidade de teste. A razão para a falha no teste deve ser estabelecida e ações corretivas devem ser tomadas para prevenir a sua recorrência; iv. Caso ambos os testes realizados nesta ampliação de amostragem sejam aprovados, apenas o TIT que falhou no teste inicial deve ser descartado, os outros dois TITs podem passar por reprocessamento das suas extremidades testadas; v. Para a realização dos ensaios de macrografia das juntas soldadas, é necessário realizar inspeção visual nas suas duas superfícies em toda a circunferência, com registro fotográfico. Os locais e seções angulares que apresentem potenciais descontinuidades, como “falta de penetração” ou, no caso de “<i>plug weld</i>”, penetração abaixo do valor mínimo estabelecido, além de outras irregularidades superficiais, deve ser obrigatoriamente selecionados para o seccionamento e posterior análise macroscópica nos ensaios de produção. m) Devem ser especialmente observados os requisitos de temperatura mínima de preaquecimento, temperatura máxima de interpasse, faixa de aporte térmico (mínimo e máximo) para a totalidade dos passes das soldas de produção. Tanto durante a qualificação do procedimento de soldagem, quanto para as soldas de produção, somente é permitida a verificação e registro de quaisquer temperaturas de soldagem por meio de termômetros de contato; n) Em ambos os casos, os locais para medição e registro das temperaturas de preaquecimento e interpasse devem atender à norma Petrobras N-133; o) Inspetor de solda devidamente certificado deverá controlar 100% das temperaturas mínimas de pré-aquecimento e de interpasse máximo qualificadas durante a execução das soldas de produção; p) O uso dos consumíveis de soldagem da tabela 21 da N-133 é mandatório. A adoção de consumíveis alternativos para o TIT de SMYS 95 ksi não são aceitáveis e para o TIT de 110 ksi devem ser discutidas e aprovadas previamente pela Petrobras; q) A temperatura mínima de 621°C (1100°F) para tratamento térmico após a soldagem deve atendida de acordo com a NACE MR-0175/ISO-15156-3 e o tempo mínimo de tratamento deverá ser ajustado para atingir os requisitos de dureza e resistência da ZTA do material SMSS (<i>Super Martensitic Stainless Steel</i>), UNS S41426. Portanto, o tempo de tratamento térmico da norma Petrobras N-133, pode ser desconsiderado;			

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 20 de 30
	TÍTULO:		PÚBLICO
	Tubulares com Isolamento Térmico		POCOS/EP/ITC/ETP
r) Somente são aceitáveis os processos de soldagem GMAW e GTAW. Se o procedimento de soldagem utilizar processos manuais ou semiautomáticos, deverá ser executado na posição 1GR (conforme AWS 3.0) para solda de topo e 2FR para solda de filete, não sendo admitida soldagem em posição diferente; s) Deverão ser apresentados os registros de soldagem de todas as soldas de produção, incluindo os valores de aporte térmico dos passes, temperaturas de pré-aquecimento mínimo, interpasse máximo e de tratamento térmico após a soldagem, assinado por inspetor de soldagem (IS-N1) que tenha comprovado conhecimento e habilidade em medição do <i>heat input</i> e das temperaturas de soldagem. 6.3.7 Requisitos de Projeto a) As propriedades mecânicas das juntas soldadas devem ser compatíveis com todos os esforços inerentes ao ambiente ao qual elas serão submetidas. Alguns exemplos de esforços são: tensões causadas pelo processo de soldagem, pela dilatação ou contração dos tubos, pelo vácuo aplicado no espaço anular dos tubos, etc.; b) Soldas estruturais devem possuir propriedades mecânicas iguais ou superiores às do metal-base conforme aos itens 6.3.4.1 e 6.3.4.3 de corrosão conforme item 6.3.4.2 e adequada performance a fadiga conforme item 6.3.7.1. c) Metalurgia das juntas de produção representativas das soldas dos cupons de teste e controle de geral de qualidade deve estar conforme este item 6.3; d) A junta soldada do acesso à câmara de vácuo, caso exista, deve ser considerada uma solda estrutural. e) A junta soldada do acesso à câmara de vácuo deve ter penetração total, possuir a mesma espessura do tubo externo e deve ser tratada termicamente de acordo com o item 6.3.6 q); f) Se não for possível obter penetração total na solda, o estudo de ECA deve definir as dimensões máximas aceitáveis para a falta de penetração, mostrando que a intensificação de tensões causada pela altura projetada, considerada como “trinca”, não implica risco de fratura frágil. Além disso, a inspeção por ultrassom prevista no item 6.3.8 d) apresenta PoD de 90%/95% para detectar e dimensionar a profundidade não penetrada; g) O projeto do TIT deve prever método construtivo, incluindo a localização das soldas nos componentes e a sequência de montagem deles no TIT etc., que viabilize o atendimento aos requisitos de inspeção do item 6.3.8. 6.3.7.1 Avaliações Numéricas (ECA e Avaliação de Dano por Corrosão Fadiga S-N) a) Especial atenção deve ser dada ao risco de fragilização devido à exposição do aço SMSS ao meio. Deve ser elaborada avaliação de ECA (<i>Engineering Critical Assesment</i>), para a fase operacional, para todas as configurações de juntas, exceto para as sobrepostas (solda em ângulo), conforme a Categoria V da DNV-RP-F108; b) O meio deve ser considerado “<i>não imune</i>” para fins de ensaios de tenacidade a fratura e de crescimento de trincas por fadiga. Os requisitos a seguir, para a obtenção de			

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 21 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP
critério de aceitação detectável pelo ensaio ultrassônico, qualificado e validado conforme item 6.3.8 d); c) Procedimentos para os testes de tenacidade a fratura e de crescimento de trinca ao meio, de acordo com os requisitos a seguir devem ser preparados e submetido a Petrobras para aprovação; d) Os dados de variações cíclicas de tensões usados na avaliação de ECA devem ser obtidos conforme item 6.3.7.2; e) A lei de propagação de descontinuidade por fadiga (FCGR) deverá ser obtida por meio de ensaios para a determinação da taxa no meio corrosivo, conforme requisitos do apêndice C da DNV-RP-F108, modificados pela I-ET-0000.00-0000-210-P9U-005 e por essa ET-R, modificados conforme item i), para determinar uma curva <i>Upper Bound</i> (média + 2 DP) para a Lei de Paris. f) É aplicável o Fator de Segurança = 1,5 (equivalente a <i>low class</i> conforme DNV-RP-F108 e DNV-ST-F101) sobre a vida estimada do poço na análise de ECA; g) Ensaio de tenacidade a fratura no meio representativo do ambiente operacional, devem ser realizados conforme os requisitos do apêndice C da DNV-RP-F108, modificados pela I-ET-0000.00-0000-210-P9U-005 e por esta ET-R. O tempo mínimo de imersão ao meio antes do ensaio (<i>pre soaking time</i>) deverá ser calculado e os cálculos apresentados a Petrobras para aprovação; h) Os meios de teste devem ser os mesmos utilizados para os ensaios de SSC. Um procedimento completo para a realização dos ensaios de tenacidade a fratura <i>in situ</i> deve ser apresentado à Petrobras para aprovação; i) Ensaio para a determinação da taxa de crescimento de descontinuidades no meio representativo do ambiente operacional, FCGR devem ser realizados conforme os requisitos do apêndice C da DNV-RP-F108, modificados pela I-ET-0000.00-0000-210-P9U-005 e por esta ET-R. O tempo mínimo de imersão ao meio antes do ensaio (<i>pre soaking time</i>) deverá ser calculado e os cálculos apresentados a Petrobras para aprovação. 6.3.7.2 Análise de FEA a) A partir de análise de FEA para determinação dos valores previstos de variações de tensões nas regiões das juntas soldadas, deve ser realizada avaliação do dano previsto a fadiga resultante do número total de ciclos de variação de tensões em operação ($\Delta S-N$) conforme a Regra de Palmgren-Miner; b) O dano resultante não deve exceder a 2,5% do dano equivalente à “curva de projeto F1 ao ar” da norma DNV-RP-C203 rebaixada por um <i>knock down fator</i> equivalente a 40 vezes e a configuração das soldas deve ser compatível com as configurações previstas para esta curva, incluindo concentradores de tensões e demais requisitos da DNV-RP-C203; c) O histograma de tensões ($\Delta S-N$) resultantes deve alimentar a avaliação de ECA. Uma análise preliminar do dano a fadiga S x N do componente deve ser feita nas fases			

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 22 de 30
	TÍTULO:		PÚBLICO
	Tubulares com Isolamento Térmico		POCOS/EP/ITC/ETP
iniciais, de maneira a redimensionar o componente caso o dano se mostre sensível a fadiga; d) A análise de FEA e os seus resultados com os valores das máximas tensões atuantes em operação deve ser apresentada à Petrobras e demonstrar que o nível máximo atende aos critérios de projeto em todas as regiões das soldas. 6.3.8 Inspeção a) Os requisitos de inspeção a seguir se aplicam tanto para as juntas utilizadas para a qualificação das EPSs, quanto para as juntas soldadas dos TITs produzidos; b) É requerida a realização de Ensaio Visual de Solda 100% da extensão das juntas soldadas nos biseis antes da soldagem, após os passes de raiz, e após o término da soldagem, em ambas as superfícies e a realização de e Ensaio Não Destrutivo por Líquido Penetrante em 100% da extensão das juntas soldadas nos biseis antes e após a soldagem, em ambas as superfícies. c) Especial cuidado deve ser tomado com a limpeza deve ser tomado, nas etapas intermediárias, antes da continuidade da soldagem. O critério de aceitação dos ensaios superficiais de inspeção deve atender aos critérios para ensaio visual na condição “<i>high pressure</i>” da norma ASME B31.3, i.e., tabela K341.3.2; d) Ensaio Não Destrutivo por meio de técnicas avançadas de ultrassom (i.e, PAUT, TFM/FMC etc.) devem ser realizados em toda a extensão e volume das juntas soldadas e garantir a detectabilidade do critério obtido no item conforme a análise numérica indicada no item 6.3.6 s), como PoD 90%/95% (i.e, 90% de probabilidade de detecção e 95% de intervalo de confiança); e) É necessária a validação da detectabilidade e incerteza do procedimento ultrassônico (i.e., PoD 90%/95%) por meio de ensaios macrográficos em <i>mock ups</i> de todas as configurações de juntas soldadas, (exceto para a configuração da solda em ângulo na junta sobreposta entre o tubo externo e interno) e conforme requisitos da DNV-RP-F118; f) Para a configuração da solda em ângulo na junta sobreposta entre o tubo externo e interno, poderá opcionalmente ser utilizado ultrassom convencional, com no mínimo os ângulos de 60°, 70° para a inspeção pelo lado interno e cabeçote 0° para a inspeção pelo lado externo; i. Neste caso, ao invés da validação da detectabilidade mínima, uma avaliação de ECA com base em modelo “trincado” FEA, deverá aprovar uma trinca com 3 mm de altura por 15 mm de comprimento, e o critério de aceitação do ensaio por US da configuração da solda em ângulo deve atender aos critérios de inspeção por US da condição “<i>high pressure</i>” da norma ASME B31.3, i.e., tabela K341.3.2; g) Toda a inspeção pós soldagem (exceto LP anteriores à conclusão da solda) tanto do cupom de qualificação, quanto das soldas de produção deve aguardar 24 horas após o término da soldagem. h) Todos os procedimentos de inspeção, incluindo os utilizados durante a qualificação das EPSs devem ser qualificados conforme os requisitos da Seção V do código ASME			

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 23 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP
BPVC, das normas Petrobras N-1594, N-1596 e N-1597, assinados por inspetor de END nível 3 da respectiva modalidade, conforme norma Petrobras N-2941 e submetidos à Petrobras para aprovação; i) Os inspetores de soldagem, de Ensaio Não Destrutivos (END) e de Ensaio Visual de Soldagem (EVS) devem atender aos requisitos da norma Petrobras N-2941. Os inspetores de soldagem devem demonstrar conhecimento e habilidade para verificação controle e registro do <i>heat input</i>, que deve ser executado em 100% dos passes dos cupons de qualificação e juntas soldadas de produção; 6.4 CONEXÕES a) As conexões da extremidade do TIT serão definidas na ET-RBS. b) Caso seja utilizado algum Acessório Específico para Isolamento da Luva (AEIL) para proteger e/ou reduzir a perda de calor na área de conexão será mandatório que: i. Se o AEIL contiver o clamp de completação embutido em sua estrutura, ou seja, se o AEIL e o clamp formarem um corpo, este “clamp AEIL” deve atender a ETR ET-3000.00-5524-823-PEK-005 e aos critérios definidos na ET-RBS; ii. Se o AEIL não contiver o clamp em sua estrutura, ou seja, se o AEIL for uma estrutura e o clamp for uma estrutura adicional ao AEIL, a contratada deve fornecer o <i>clamp</i> e deve obrigatoriamente atender aos requisitos da ETR ET-300000-5524-823-PEK-005 e aos critérios definidos na ET-RBS; iii. Caso o AEIL seja interno, ele não deve alterar o <i>drift</i> de passagem do tubo interno do produto; iv. Caso a conexão tenha o seu projeto original alterado para uso do AEIL de forma que suas propriedades mecânicas sejam mudadas (por exemplo, conexões <i>special clearance</i>), a conexão deve ser testada de acordo com protocolo determinado na norma API 5C5, CAL IV; v. O AEIL externo deve possuir OD máximo que não interfira na descida de coluna no revestimento de produção; vi. O AEIL externo não deve interferir no uso de <i>flatpacks</i> e linhas hidráulicas; 6.5 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR - U a) TIT sem AEIL: o método experimental para medir o Coeficiente Global de Transferência de Calor (U) consiste em obrigatoriamente realizar os testes definidos no protocolo contido no ANEXO 1 em duas configurações distintas de amostras de TIT. As configurações são apresentadas no ANEXO 2, TESTE 1 e TESTE 2; b) TIT com AEIL: método experimental para medir o Coeficiente Global de Transferência de Calor (U) consiste em realizar os mesmos testes do item acima (TIT sem AEIL) acrescentando o acessório específico para isolamento da luva no TESTE 2.			

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 24 de 30
	TÍTULO:		PÚBLICO
	Tubulares com Isolamento Térmico		POCOS/EP/ITC/ETP

- c) Somente serão aceitos valores de “U” determinados utilizando a metodologia especificada neste item 6.5.

7 REQUISITOS COMPLEMENTARES

- a) O fornecedor deverá manter em arquivo digital as especificações e ensaios realizados nos materiais utilizados na fabricação e os desenhos com todas as dimensões e tolerâncias dos equipamentos do TIT testado, assim como dos tubulares com isolamento térmico fornecidos à PETROBRAS.
- i. Estas informações deverão ser fornecidas com prazo de até 36 horas, sempre que solicitado pela PETROBRAS.
- b) O fornecedor deve disponibilizar os recursos necessários, incluindo a documentação técnica e pelo menos 1 (um) profissional qualificado com conhecimento do projeto, da funcionalidade e da instalação dos equipamentos, para a realização da FMECA e/ou análises de riscos das tarefas e dos componentes da instalação do equipamento ou prestação de serviços.
- c) O fornecedor deve documentar os testes necessários para a determinação dos requisitos solicitados no item 6.5;
- i. Salvo expressamente manifestado o contrário pela PETROBRAS em seus processos de contratação, o fornecedor deve arcar com os custos dos testes e com acompanhamento por empresa acreditada pelo IAF/ILAC presente no item 8.

8 DOCUMENTAÇÃO

- 8.1 Documentação Técnica mínima a ser fornecida para atendimento da ET-R para cada configuração do TIT a ser ofertado:

- 8.1.1 Certificado acreditado por entidade reconhecida pelo IAF/ILAC de aprovação nos testes de qualificação definidos neste documento;

- 8.1.1.1 Documento com simulações computacionais e dados dos materiais que constituem o TIT. O documento deve demonstrar, como base na forma de cálculo definida no ANEXO 1, que o produto proposto pode atender aos requisitos de isolamento propostos na ET-RBS;

- 8.1.1.2 Deve ser exibida a EPS para ser avaliada e deve ser fornecido o RQPS de todas as juntas soldadas do TIT. A EPS deve conter, no mínimo, as seguintes informações:

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 25 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO
			POCOS/EP/ITC/ETP
• Número do procedimento; • Tipo de procedimento; • Tipo e tamanho do consumível; • Espessura da junta; • Diâmetros dos tubos; • Posições de soldagem; • Preparação das juntas soldadas (limpeza, alinhamento, etc.); • Preaquecimento; • TTPS (tempo e temperatura); • Limitações do processo de soldagem; • Desenho esquemático das juntas soldadas. 8.1.2 <i>Data Sheet</i> do TIT; 8.1.2.1 Conjunto completo de desenhos explicitando diâmetros externos, <i>drifts</i>, diâmetros internos e comprimentos de cada componente do TIT; 8.1.3 FEA conforme item 6.3.7.2; 8.1.4 Resumo do Plano de Inspeção e Teste de Fabricação conforme ET-0000.00-0000-972-1AL-001. 8.2 Documentação complementar que demonstre atendimento aos requisitos especificados nesta ET-R. 8.3 Todos os documentos deverão ser fornecidos a PETROBRAS em formato PDF preferencialmente em português, tendo a opção de Inglês; 8.4 Antes de iniciar o processo de qualificação da ET, a empresa deverá apresentar à PETROBRAS o plano de qualificação com o cronograma e protocolos de testes para avaliação da PETROBRAS; 8.4.1 A PETROBRAS verificará se o plano de qualificação está de acordo com as exigências desta ETR e da ET-RBS; 8.4.2 Em caso de dúvidas para confeccionar o plano de qualificação a CONTRATADA deverá entrar em contato com a PETROBRAS; 8.4.3 Os testes só podem ser iniciados após a PETROBRAS aprovar o plano de qualificação; 8.5 Os dados dos testes devem ser disponibilizados de forma organizada e simultânea virtualmente em tempo real durante todo período de testes.			

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 26 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO POCOS/EP/ITC/ETP

ANEXO 1

PROTOCOLO DE TESTE DE TUBOS COM ISOLAMENTO TÉRMICO (TIT)

- O método consiste soprar ar quente pelo interior de uma junta de TIT que deverá estar mergulhado em um banho de água gelada e medir a perda de calor sensível.
- Durante um teste, as seguintes 4 grandezas são medidas:
 - vazão de ar;
 - temperatura de entrada do TIT (T_{in});
 - temperatura de saída do TIT (T_{out});
 - temperatura do banho de água (T_{WB}).
- A metodologia de redução de dados calcula as seguintes grandezas:
 - coeficiente global de transferência de calor (U);
 - condutividade térmica efetiva do espaço isolante (k_{eff}).
- Modelando a seção de teste como um trocador de calor, pode-se utilizar a abordagem de efetividade-Número de Unidades de Transferência (ϵ -NTU) de Kays & London para analisar seu desempenho. Primeiro, a efetividade é calculada da seguinte forma:

$$\epsilon = (T_{in} - T_{out}) / (T_{in} - T_{WB})$$

- Devido à mudança de fase, a capacitância térmica do lado do banho de água do trocador de calor é infinita (ou seja, o calor transferido para o banho de água não altera sua temperatura). Para esses trocadores de calor, o NTU pode ser calculado a partir de ϵ usando a seguinte fórmula:

$$NTU = -\ln(1 - \epsilon)$$

- O coeficiente global de transferência de calor agora pode ser calculado a partir do NTU:

$$U = NTU \frac{\dot{m} \cdot c_p}{A_{ref}}$$

- A_{ref} é uma área de transferência de calor de referência. Sua definição é arbitrária, desde que a mesma definição seja utilizada em toda a análise. Na maioria das aplicações de petróleo e gás, o tamanho do tubo, ou seja, o diâmetro externo do tubo, é especificado (por exemplo, tubo de 3 ½ polegadas), então escolhemos a área externa do tubo interno como A_{ref} .

$$A_{ref} = \pi D_{io} L$$

6.1.1. O Comprimento L do TIT testado deve ser o valor inferior da faixa (range) definido na ET-RBS, segundo descrito no item 5.2 desta ETR.

6.2. Essa escolha permite a comparação do desempenho de vários projetos de TIT entre si e com tubos sem isolamento.

7. Para calcular a condutividade térmica efetiva, considera-se a rede de resistências térmicas mostrada na Figura 1. Desconsiderando a resistência de transferência de calor das paredes de aço dos tubos interno e externo, o coeficiente global de transferência de calor é dado por:

$$\frac{1}{UA_{ref}} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_{oi}/D_{io})}{2\pi k_{eff} L} + \frac{1}{h_o A_o}$$

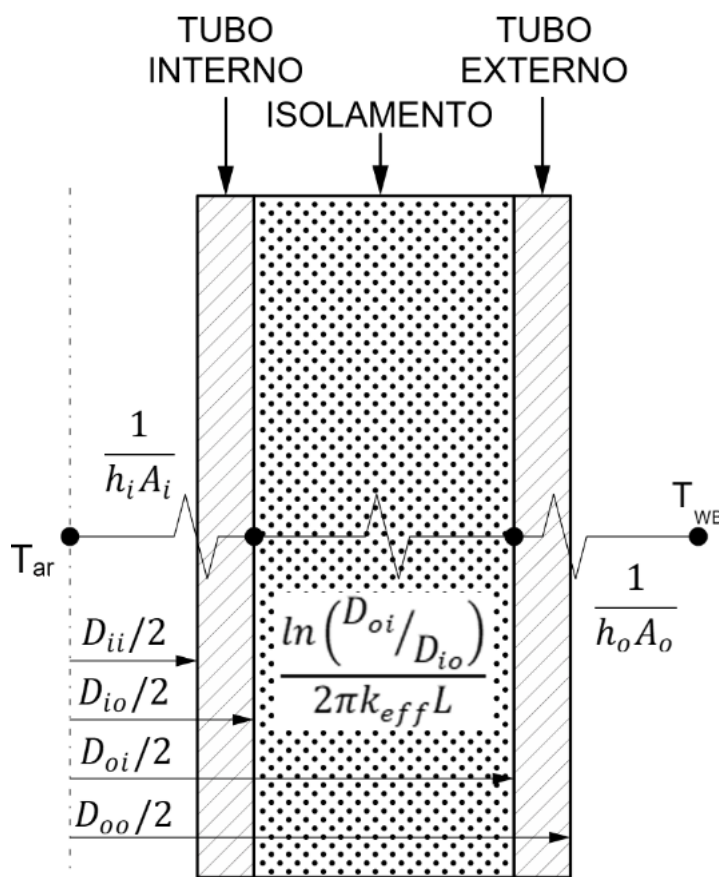


Figura 1 - Modelo de circuito de resistência térmica

8. Devido à mudança de fase na superfície externa, o último termo da equação acima é pequeno (ou seja, $h_o A_o$ é elevado) e pode ser negligenciado em comparação com os outros termos (anexo 1). Resolvendo a equação restante para k_{eff} , obtemos a seguinte expressão:

$$k_{eff} = \frac{A_{ref} \ln(D_{oi}/D_{io})}{2\pi L} \left(\frac{1}{U} - \frac{A_{ref}}{h_i A_i} \right)^{-1}$$

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 28 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico	PÚBLICO	
		POCOS/EP/ITC/ETP	

8.1. Para calcular h_i , usamos a correlação de **Dittus-Boelter**:

$$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^{0,3}$$
$$h_i = Nu \frac{k_{air}}{D_{ii}}$$

8.2. onde as propriedades (μ , Pr e k) são avaliadas em $T_{ave} = (T_{in} + T_{out})/2$.

8.3. Os desenhos esquemáticos dos TESTE 1 e o TESTE 2 são representados na Figura 2 e na Figura 3, respectivamente, do ANEXO 3.

	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Nº ET-2000.00-1210-493-PPQ-001	REV. 0
	COMPLETAÇÃO		Folha 29 de 30
	TÍTULO: Tubulares com Isolamento Térmico		PÚBLICO POCOS/EP/ITC/ETP

ANEXO 2

Os resultados dos testes do TESTE 1 e do TESTE 2 devem ser usados para separar o desempenho do isolamento da área de conexão e do corpo do tubo da seguinte forma:

1. Calcular a perda de calor (por unidade de diferença de temperatura) observada no teste de junta dupla:

$$Q_{DJ}/\Delta T = UA_{ref} = 1,92 \frac{W}{m^2^{\circ}C} \times 5,370 m^2 = 10,3 W/^{\circ}C$$

2. Calcular a perda de calor que teria sido observada em um teste de junta dupla (dois TIT's) se o desempenho da conexão fosse tão bom quanto o desempenho do corpo do tubo. Isso é feito usando o valor de U do teste de junta única (que representa o desempenho do corpo do tubo) juntamente com o valor de A_{ref} do teste de junta dupla:

$$Q'_{DJ}/\Delta T = UA_{ref} = 0,626 \frac{W}{m^2^{\circ}C} \times 5,370 m^2 = 3,36 W/^{\circ}C$$

A diferença é devida à perda de calor da conexão:

$$Q_C/\Delta T = Q_{DJ}/\Delta T - Q'_{DJ}/\Delta T = 10,3 W/^{\circ}C - 3,36 W/^{\circ}C = 6,9 W/^{\circ}C$$

3. A perda de calor de uma única junta (9,59 m ou 4,207 m²) de TIT é:

$$Q_{SJ}/\Delta T = UA_{ref} = 0,626 \frac{W}{m^2^{\circ}C} \times 2,678 m^2 = 1,68 W/^{\circ}C$$

Para estimar a perda de calor de uma única junta, adicione o valor do acoplamento ao valor da junta única:

$$Q_{TOT}/\Delta T = Q_{SJ}/\Delta T + Q_C/\Delta T = 1,68 W/^{\circ}C + 6,9 W/^{\circ}C = 8,6 W/^{\circ}C$$

ANEXO 3

ESQUEMATICO DE TESTE PARA TIT E TIT COM CONEXÃO

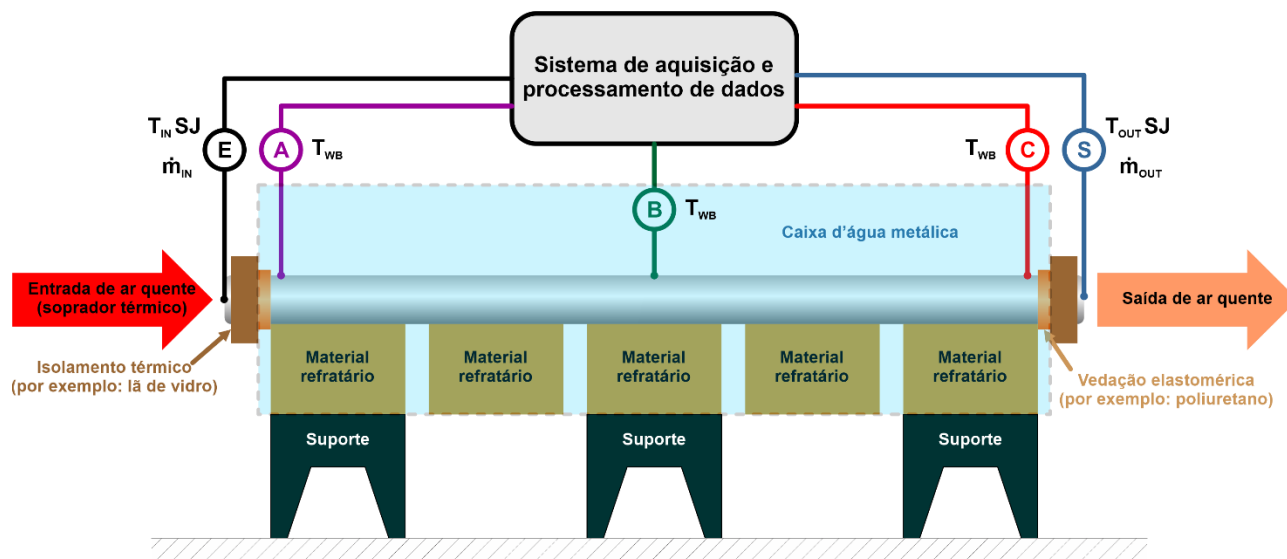


Figura 2 - Desenho esquemático do TESTE 1

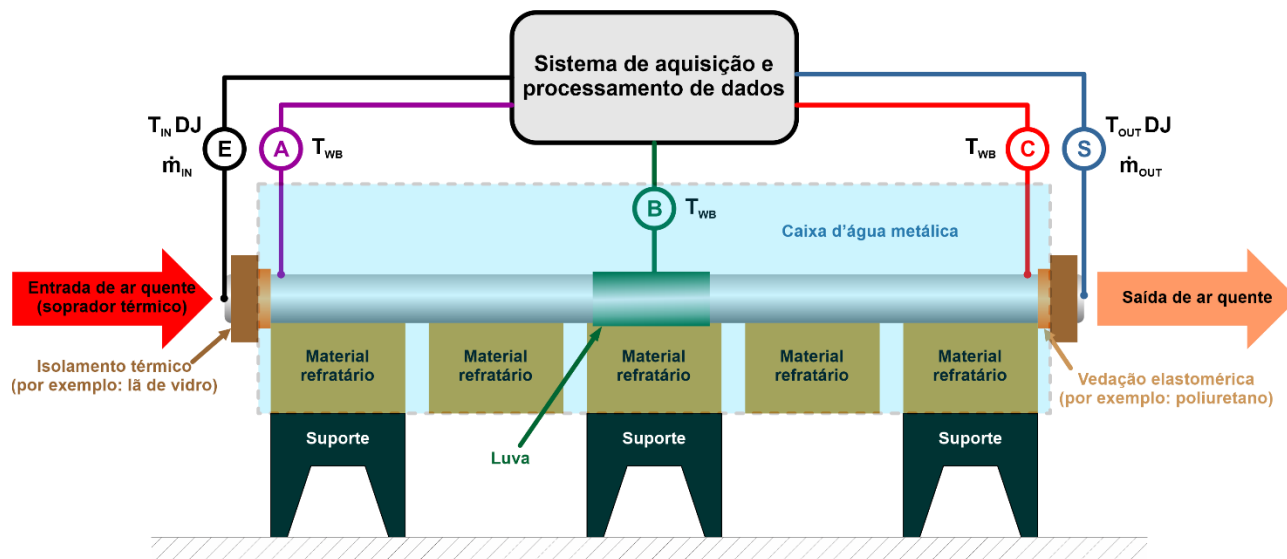


Figura 3 - Desenho esquemático do TESTE 2

(FIM DOS ANEXOS)