

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS

INDICADORES DE PATENTES PARA O MONITORAMENTO TECNOLÓGICO
EM AÇOS PARA DUTOS UTILIZADOS EM TRANSPORTE DE
HIDROCARBONETOS

Bráulio Salumão de Oliveira

São Carlos
2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**INDICADORES DE PATENTES PARA O MONITORAMENTO TECNOLÓGICO
EM AÇOS PARA DUTOS UTILIZADOS EM TRANSPORTE DE
HIDROCARBONETOS**

Bráulio Salumão de Oliveira

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Materiais como requisito
parcial à obtenção do título de MESTRE EM
CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

Orientador: Dr. Tomaz Toshimi Ishikawa
Coorientador: Dr. Daniel Rodrigo Leiva
Agências Financiadoras: CAPES / CNPq

São Carlos
2016

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O48i Oliveira, Bráulio Salumão de
Indicadores de patentes para o monitoramento
tecnológico em aços para dutos utilizados em
transporte de hidrocarbonetos / Bráulio Salumão de
Oliveira. -- São Carlos : UFSCar, 2016.
93 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de
São Carlos, 2016.

1. Aço. 2. Indicadores tecnológicos. 3. Patentes.
4. Dutos. 5. Hidrocarbonetos. I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedicado a memória de Cassimira Valeriana Frade.

VITAE DO CANDIDATO

Engenheiro de Materiais pela UFSCar (2010); Especialista em Gestão da Produção pela UNESP (2015).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Bráulio Salumão de Oliveira, realizada em 05/08/2016:



Prof. Dr. Tomaz Toshimi Ishikawa
UFSCar



Prof. Dr. José Angelo Rodrigues Gregolin
UFSCar

Prof. Dr. Ricardo Nolasco de Carvalho
Vallourec

Certifico que a sessão de Defesa realizou-se com a participação à distância do membro Ricardo Nolasco de Carvalho e, depois das arguições e deliberações realizadas, o participante à distância está de acordo com o conteúdo do Parecer da Comissão Julgadora redigido neste Relatório de Defesa.



Prof. Dr. Tomaz Toshimi Ishikawa – Presidente de Comissão Julgadora

AGRADECIMENTOS

À Deus e Nossa Senhora Aparecida,

aos meus pais Francisco Vieira Oliveira e Maria do Carmo Salumão, minhas irmãs Flávia e Daniela e à sobrinha e afilhada Maria Fernanda, por todo o apoio e amor,

aos orientadores, Prof. Dr. Daniel Rodrigo Leiva e Prof. Dr. Tomaz Toshimi Ishikawa por manterem viva minha motivação para elaboração do trabalho, pelas contribuições e, sobretudo, por compreenderem minhas limitações e esforços,

aos colegas do NIT/Materiais pelo companheirismo ao longo da jornada e contribuição ao meu conhecimento que tornou possível a realização deste trabalho,

aos funcionários da secretaria do PPG-CEM, pela dedicação e presteza em todas as solicitações,

a todos os amigos do “Não deixe o DEMa morrer”, pelos bons momentos de amizade,

à CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

RESUMO

Boa parte das reservas de hidrocarbonetos utilizados na matriz energética mundial se encontram longe de seus principais mercados consumidores. Um dos meios mais viáveis técnica e economicamente para esse transporte é realiza-lo através de dutos, em sua grande maioria construídos em aços. Desafios técnicos como baixas temperaturas e ambientes ácidos exigem produtos e processos inovadores que, por sua vez, demandam evolução contínua da pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e processos. Este estudo objetivou analisar o desenvolvimento tecnológico de aços para construção de dutos para transporte de hidrocarbonetos, a partir da elaboração de indicadores a partir de documentos de patentes indexados na base *Derwent Innovations Index* entre os anos de 1971 e 2014. Foram elaborados indicadores de evolução temporal, de ciclo de vida da tecnologia, de identificação dos elementos de liga, das tecnologias em processamento dos produtos e das propriedades requeridas, além de comparativos entre principais desenvolvedores e seus mercados de interesse. O número de documentos de patentes sobre o tema aumentou significativamente durante o período estudado. Foram notados países com destaque no número de depósitos de patentes, com diferentes comportamentos quanto à proteção de suas invenções em outros territórios. Os principais titulares são empresas japonesas, embora a China tenha apresentado a maior tendência de crescimento de depósitos no tema. As ligas de maior destaque foram as que contém adições de manganês, cromo, molibdênio e titânio e visam auxiliar nos desafios de melhoria das propriedades mecânicas e aplicações em ambientes ácidos, enquanto em termos de processos de produção, os mais citados foram laminação seguida de tratamentos térmicos e os processos termomecânicos. Uma análise realizada a partir de ligas contendo manganês em teores acima de 1,5 % em peso apresentou uma evidência de que os documentos de patentes neste setor se antecipam às normas em relação a quantidade de elementos de liga presentes nos aços.

PATENT INDICATORS FOR TECHNOLOGICAL MONITORING ON STEELS USED FOR HYDROCARBONS PIPELINES

ABSTRACT

Most part of the hydrocarbons reserves used in the global energy matrix are far from their main consumer markets. One of the most technically and economically viable means for such transport is carrying it out through pipelines, mostly built in steel. Technical challenges such as low temperatures and acid environments demands innovative products and processes that, consequently, require research and development of new materials and processes. This study aimed to analyze the technological development of steel for hydrocarbons pipelines through the patent indicators from documents indexed in the Derwent Innovations Index base between the years 1971 and 2014. The developed indicators includes temporal evolution, life cycle of technology, identification of the alloying elements, technologies for products processing and properties required, and also comparison among major developers and their interest markets. The number of patent documents on the subject increased significantly during the study period. Some countries stand out due to the number of patent applications with different behaviors about their inventions protection along other territories. The main holders are Japanese companies while China was the country that had the highest growth trend of deposits in steels for pipelines. The most prominent alloys were those containing manganese, chromium, molybdenum and titanium additions, and these are intended to assist in the technological challenges, like the improvement of mechanical properties and resistance to sour environments, while in terms of production processes, the most cited were rolling followed by heat treatments and thermomechanical processes. An analysis from alloys containing manganese at levels above 1.5 wt. % evidences that patent documents in this sector anticipates standards, at least regarding the amount of alloying elements present in the steels.

PUBLICAÇÕES

EM ANAIS DE EVENTOS CIENTÍFICOS NACIONAIS

OLIVEIRA, B. S.; MILANEZ, D. H. ; ISHIKAWA, T. T. ; FARIA, L. I. L. ; LEIVA, D. R. . INDICADORES SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS EM CONEXÕES PARA TUBOS UTILIZADOS EM EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE ÓLEO E GÁS. In: Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2015, Campina Grande. Anais CONEPETRO, 2015. v. 1.

EM ANAIS DE EVENTOS CIENTÍFICOS INTERNACIONAIS

OLIVEIRA, B. S.; ISHIKAWA, T. T. ; FARIA, L. I. L. ; LEIVA, D. R. . MONITORAMENTO TECNOLÓGICO EM LIGAS FERROSAS UTILIZADAS EM TUBOS NA INDÚSTRIA PETROLÍFERA A PARTIR DA ANÁLISE DE DOCUMENTOS DE PATENTES. In: ABM Week - 70º Congresso Anual da ABM, 2015, Rio de Janeiro. Anais de Eventos, 2015. v. 1.

SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO.....	i
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vii
SUMÁRIO.....	xi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos da pesquisa.....	2
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 A indústria de energia baseada em hidrocarbonetos.....	5
2.2 Tubos de aço para construção de dutos.....	7
2.3 Desafios Técnicos em aços para dutos.....	9
2.4 Fabricação de Tubos de Aço.....	12
2.4.1 Tubos sem costura.....	13
2.4.2 Tubos Soldados.....	18
2.4.3 Tratamentos Térmicos e Termomecânicos.....	21
2.5 Aços para dutos.....	23
2.6 Indicadores de patentes para prospecção e monitoramento tecnológico ..	29
3 METODOLOGIA.....	35
3.1 Procedimentos gerais.....	35
3.2 Busca e Coleta de registros dos documentos de patentes.....	36
3.3 Construção de Indicadores.....	39
3.3.1 Evolução temporal e ciclo de vida da tecnologia.....	40
3.3.2 Análise geográfica dos titulares e regiões de depósito de patentes.....	41
3.3.3 Identificação dos Principais Desafios Tecnológicos.....	41
3.3.4 Elementos de Liga e Processos de Interesse.....	42
3.4 Análise dos indicadores.....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1 Evolução temporal e ciclo de vida da tecnologia.....	45

4.2 Análise geográfica dos titulares e regiões de depósito de patentes	47
4.3 Evolução da composição química	50
4.4 Processos de Interesse	52
4.5 Desafios Tecnológicos e Soluções Propostas	55
4.6 Evolução do Manganês como elemento de liga	62
5 CONCLUSÕES	65
6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	67
7 REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A.....	77
APÊNDICE B.....	79
APÊNDICE C.....	89
ANEXO A.....	91
ANEXO B.....	93

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tabela 2.1 - Especificação de propriedades mecânicas para os produtos de nível de especificação 2 (PSL 2) da API 5L 45th Edition.....	11
Tabela 2.2 Especificação de composição química para os produtos de nível de especificação 2 (PSL 2) da API 5L 45th Edition.....	26
Tabela 3.1 - Expressão de busca final utilizada nesta pesquisa.....	38
Tabela 4.1 - Países e regiões de origem e de depósito das patentes relacionadas a aços com aplicação em dutos para transporte de hidrocarbonetos entre os anos de 1971 e 2014.....	48
Tabela 4.2 - Distribuição do número de documentos de patentes por setor da produção e beneficiamento de aços de acordo com códigos da Classificação Internacional de Patentes para o período entre os anos de 1995 e 2014.....	53
Tabela A.1 - Expressão de busca com a inserção do termo “steel” para todos os períodos de indexação da base Derwent Innovations Index.....	77
Tabela A.2 - Expressão de busca com a inserção do termo “F16L*” para todos os períodos de indexação da base Derwent Innovations Index.....	77
Tabela C.1 - Número de documentos por subgrupo da Classificação Internacional de Patentes entre os anos de 1971 e 2014.....	89
Tabela A.3 - Descrição dos subgrupos do grupo C22C-038 da Classificação Internacional de Patentes.....	91
Tabela B.1 - Tabela de composição química segundo a Especificação de Produto nível 2 da API 5L 43rd revision.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 - Número de depósitos de documentos de patentes por ano e setor da indústria petrolífera, segundo relatório da ThomsomReuters.....	6
Figura 2.2 - Exemplo da construção de duto através da união de tubos de aço.....	8
Figura 2.3 - Relação fundamental da Engenharia de Materiais que apresenta a interdependência da estrutura, processamento, propriedades e o desempenho de um material.....	10
Figura 2.4 - Processo de Laminação por perfuração.....	14
Figura 2.5 - Processo de laminação por plugue.....	15
Figura 2.6 - Laminação por mandril flutuante.....	16
Figura 2.7 - Laminação Peregrina.....	17
Figura 2.8 - Processo de formação e solda ERW.....	19
Figura 2.9 - Sistema de soldagem a arco submerso.....	20
Figura 2.10 - Diagrama temperatura-tempo das etapas da laminação controlada.....	22
Figura 2.11 - Produção mundial de aço bruto e percentual referente a produtos tubulares.....	24
Figura 2.12 - Evolução dos aços de graus API ao longo dos anos.....	28
Figura 2.13 - Destaque da etapa de prospecção no ciclo de Pesquisa e Desenvolvimento.....	29
Figura 2.14 - Estágios de ciclo de vida de tecnologia proposto por Ernst.....	32
Figura 2.15 - Estágios do ciclo de vida de tecnologia proposto por Moge.....	33
Figura 3.1 - Fluxograma simplificado do procedimento para recuperação de informação e elaboração de indicadores a partir de documentos de patentes.....	35
Figura 3.2 - Relação entre os principais temas de pesquisa e o foco do estudo.....	36
Figura 4.1 - Evolução temporal do número de pedidos de patentes por período de prioridade entre os anos de 1971 a 2014.....	45

Figura 4.2 - Ciclo de vida da tecnologia a partir do modelo proposto por Mogege entre os períodos de 1971-1974 e 2011-2014.....	47
Figura 4.3 - Evolução temporal da utilização dos principais elementos de liga de acordo com a Classificação Internacional de patentes no período entre 1971-1974 e 2011-2014.....	51
Figura 4.4 - Desafios tecnológicos citados nos documentos de patentes para aços utilizados em dutos para transporte de hidrocarbonetos.....	55
Figura 4.5 - Evolução da participação percentual dos elementos de liga, por período, referente ao desafio tecnológico de resistência à tração.....	57
Figura 4.6 - Evolução da participação percentual dos elementos de liga, por período, referente ao desafio tecnológico de resistência ao impacto.....	59
Figura 4.7 - Evolução da participação percentual dos elementos de liga, por período, referente ao desafio tecnológico de aplicação Sour Service.....	60
Figura 4.8 - Evolução temporal do número de documentos de patentes com Manganês acima de 1,5% em peso entre os períodos de 1995-1998 e 2011-2014.....	62

1 INTRODUÇÃO

Grande parte das reservas de petróleo e gás natural já exploradas, e das que ainda virão a ser, estão localizadas distantes de seus principais centros consumidores. Dessa maneira, o transporte desses hidrocarbonetos até os centros de refino e desses, na forma de derivados, até o usuário final, possui influência significativa na dinâmica de atividades da indústria de energia.

De acordo com o volume e a distância, o transporte de hidrocarbonetos através de dutos geralmente se apresenta como a alternativa mais vantajosa em termos econômicos, de segurança e de impacto ambiental [1]. Dutos são constituídos de segmentos individuais de tubos unidos por soldagem ou conexões mecânicas. Nesse caso, é fundamental que os requisitos de engenharia do projeto de dutos sejam atendidos tanto pelos elementos individuais (tubos) quanto pelas regiões de união.

Os aços são amplamente utilizados neste setor por apresentarem boa relação entre suas propriedades mecânicas e disponibilidade [2]. Entretanto, os desafios técnicos da indústria petrolífera exigem também desempenho em diversas propriedades funcionais de acordo com as condições de ambiente das reservas, e geográficas, dependentes da região de traçado dos dutos. Uma parcela significativa das reservas, por exemplo, está localizada sob águas profundas, em regiões árticas, e/ou apresentam componentes com alto potencial corrosivo [2].

Diversas normas e regulamentos visam padronizar a seleção de materiais e processos para construção de equipamentos em toda a cadeia petroquímica, inclusive dutos [3]. Entretanto, a tendência crescente de descobertas de novos reservatórios considerados não convencionais, e o alto investimento em pesquisa pelas empresas do setor favorece um ambiente de desenvolvimento de novas tecnologias. Essas novas invenções, por sua vez, visam superar os desafios técnicos, muitas vezes tão iminentes ou característicos que não se encontram previstos nos documentos das agências reguladoras.

O estudo de documentos de patentes é uma maneira de avaliar a dinâmica de desenvolvimento de uma tecnologia. A patente é um título de propriedade temporário que permite ao detentor o direito de exploração comercial exclusiva da tecnologia desenvolvida. Em contrapartida, o depositante é obrigado a revelar detalhadamente todo o conteúdo técnico da matéria no documento de patente [4]. De acordo com Schenk e Webster [5], em geral cerca de 70% da informação contida em patentes não está disponível em nenhuma outra fonte.

Indicadores tecnológicos podem ser construídos baseados na informação contida nos documentos de patentes. A análise de tais indicadores pode fornecer subsídios importantes para fundamentar a tomada de decisões nas empresas, centros de pesquisas, órgãos de fomento em ciência e tecnologia, universidades, dentre outros. Dado o grande volume de informação, é geralmente necessário utilizar softwares de tratamento de informação para viabilizar a análise de grande quantidade de documentos em uma mesma área tecnológica [6].

Em um mercado altamente disputado e influente na economia, o domínio de conhecimento que torne operações e processos mais eficazes, seguros ou com menor custo se torna um diferencial competitivo. O monitoramento tecnológico, portanto, trata-se de um excelente instrumento para uma melhor compreensão do estado da técnica de uma tecnologia, que serve de base para o progresso em seu desenvolvimento.

1.1 Objetivos da pesquisa

O objetivo geral deste estudo é construir e analisar indicadores tecnológicos, a partir de informações contidas em documentos de patentes, referentes ao desenvolvimento de aços com aplicação em produtos tubulares utilizados em transporte de hidrocarbonetos, e contribuir com uma melhor compreensão da dinâmica de inovação neste tema.

Como objetivos específicos, se encontram:

- a) Desenvolver uma estratégia de busca e recuperação de registros de patentes em ligas de aço com aplicação em dutos para transporte de hidrocarbonetos.
- b) Mapear o ciclo de vida da tecnologia, evolução temporal e geográfica, principais atores em destaque no depósito de documentos de patentes e suas áreas de desenvolvimento consideradas estratégicas.
- c) Identificar quais são os principais desafios técnicos que são foco das propostas de inovação de acordo com as informações contidas nos documentos de patentes.
- d) Analisar como se comportam as soluções propostas aos principais desafios técnicos em termos de alterações da composição química dos aços.
- e) Verificar, dentro da cadeia de produção de tubos, os processos que apresentam a maior atenção em propostas de inovação, junto ao desenvolvimento das ligas, e que permitem o aperfeiçoamento das propriedades finais do produto.
- f) Contribuir com informação estruturada como mecanismo de suporte ao direcionamento e tomada de decisões em pesquisa e desenvolvimento no setor.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A indústria de energia baseada em hidrocarbonetos

O petróleo e o gás natural exercem grande impacto na economia global e, por consequência, nas relações comerciais internacionais, principalmente entre seus maiores produtores e os grandes consumidores. Quanto mais um país se desenvolve economicamente, maior se torna sua demanda por energia. Dessa maneira, a indústria petrolífera e toda sua cadeia produtiva se tornaram um grande alicerce da economia industrial moderna [7].

Além de produzir combustível, os hidrocarbonetos passaram a ser fundamentais para a obtenção de novos materiais utilizados em larga escala como plásticos, borrachas sintéticas, produtos farmacêuticos, cosméticos, etc. [8]. A produção mundial atual de petróleo é ligeiramente superior ao consumo, embora a demanda tenha apresentado um maior índice de crescimento recente em relação aos incrementos em sua disponibilidade [9]. A mesma tendência se apresenta para a dinâmica de produção e consumo do gás natural, embora suas taxas de crescimento tenham sido significativamente superiores comparadas às do óleo cru [10].

Frequentemente são realizados estudos, por empresas, agências internacionais e órgãos ligados a governos, referentes ao futuro da disponibilidade e demanda de petróleo e gás natural. Muitos dos resultados dessas análises divergem a respeito do momento em que a produção e consumo de petróleo chegarão ao seu ponto de máximo (*peakoil*) embora se mostre um consenso de que, nos próximos 20 anos, o petróleo e o gás natural continuarão a ser os principais responsáveis pelo suprimento da matriz energética mundial [11-13]. Portanto, por se tratar de uma atividade industrial e econômica de difícil previsão, torna-se importante seu constante monitoramento e análise de tendências, inclusive em desenvolvimento de tecnologias para o setor.

A indústria petrolífera, assim como sua cadeia de fornecedores e prestadores de serviços, é reconhecida por constantemente buscar melhorias

em sua eficiência operacional através de novas ferramentas, produtos e processos [14]. Atualmente, as empresas produtoras de óleo e gás investem cerca de 0,4% de sua receita de vendas em atividades de pesquisa e desenvolvimento enquanto esse índice, para as companhias de serviços, é ainda mais agressivo, em torno de 3,0% [15]. Dentre as principais motivações para tal podem ser consideradas: 1) a necessidade de redução de custos, dado um mercado competitivo, de altos risco e valores de investimentos e; 2) desafios técnicos, como novas descobertas em reservatórios considerados não convencionais para a atividade atual [16].

Devido ao grande volume de investimentos em desenvolvimento tecnológico, o setor também é responsável pelo grande número de depósitos de documentos de patentes em escritórios de propriedade intelectual em todo o mundo [17]. A Figura 2.1 apresenta dados referentes à dinâmica de patenteamento da indústria de óleo e gás em seus principais setores.

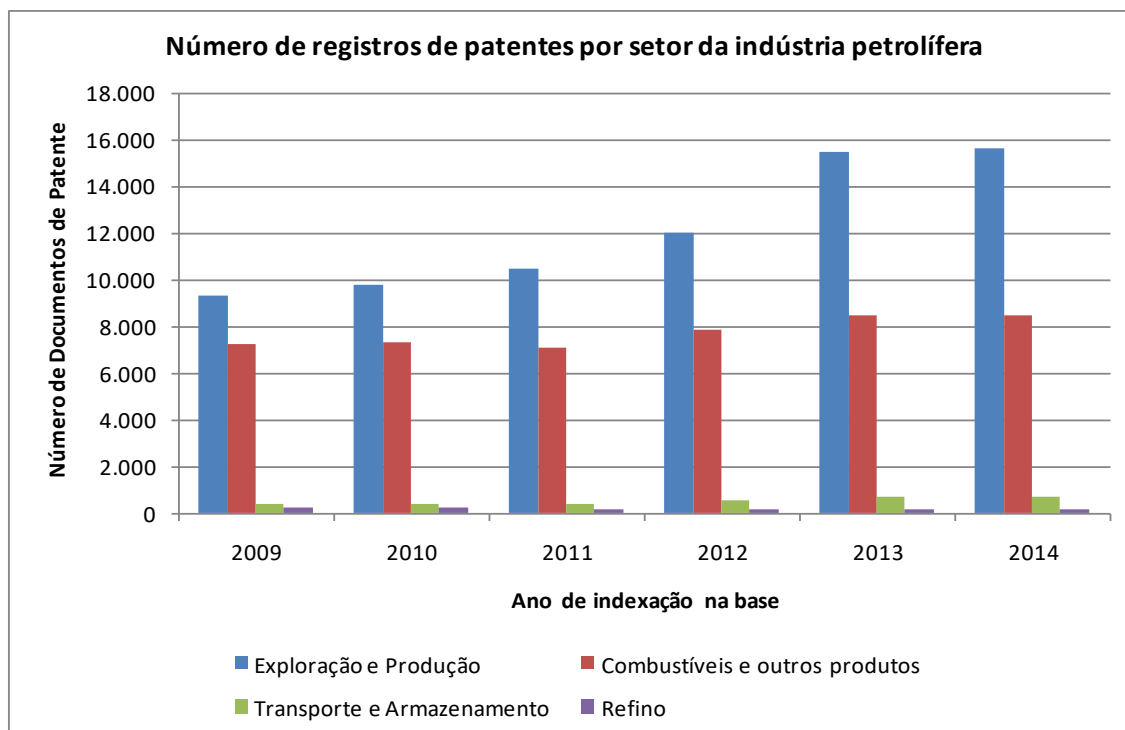


Figura 2.1 Número de depósitos de documentos de patentes por ano e setor da indústria petrolífera, segundo relatório da ThomsomReuters. Adaptado de ThomsomReuters [18].

Além deste volume, que se aproxima dos 25 mil depósitos anuais, devem ser considerados também todo o esforço de desenvolvimento pelas indústrias que fornecem produtos e oferecem serviços aos produtores de petróleo e gás natural. Como exemplos podem ser citados, dentre outros, a indústria naval, de construção de equipamentos, de materiais refratários e toda a cadeia siderúrgica. A parceria com fornecedores é representada como uma grande fonte de inovação enquanto o ato de inovar é considerado vital para a maior parte das empresas do setor [14].

Dessa maneira, estudos de monitoramento de tecnologias podem ser considerados estratégicos para empresas e governos que desejam manter ou ampliar seu poder de influência no poder econômico e industrial baseado na exploração, produção, transporte e beneficiamento de hidrocarbonetos. Em particular, no âmbito da Ciência e Engenharia de Materiais, as oportunidades são diversas e ricas, desde a seleção de materiais e processos menos onerosos até o desenvolvimento de novos produtos, com propriedades superiores e que se tornem fundamentais para superação das exigências baseadas nos desafios técnicos encontrados a cada instante.

2.2 Tubos de aço para construção de dutos

Diferentes tipos de tubos, formados por uma ampla gama de materiais, são utilizados na indústria petrolífera e exercem funções desde proteção a cabos elétricos e de comando até possibilitar o transporte do petróleo e gás natural dos reservatórios para a superfície. Os tubos de aço, em específico, são predominantes e possuem aplicações nobres, como revestimento do poço, hastes de perfuração e bombeamento e transporte de hidrocarbonetos. Naturalmente, os requisitos para o aço dependerão da aplicação e condições de operação. Entretanto, as exigências básicas são boa resistência à tração e ao impacto, além de bom comportamento em ambientes aptos à corrosão [19]. Em aplicações específicas, a manutenção do desempenho em baixas

temperaturas e propriedades como resistência à fadiga e compressão também podem ser de grande importância, como será detalhado no item 2.3.

A Figura 2.2 apresenta a construção de um duto terrestre (*onshore*) através da união de tubos de aço por soldagem. Nota-se que os tubos são produzidos na forma endireitada e em comprimentos pré-estabelecidos, porém, para a correta conformação da linha ao perfil do terreno e ao traçado planejado, existe a necessidade de realizar o curvamento de alguns deles [20].

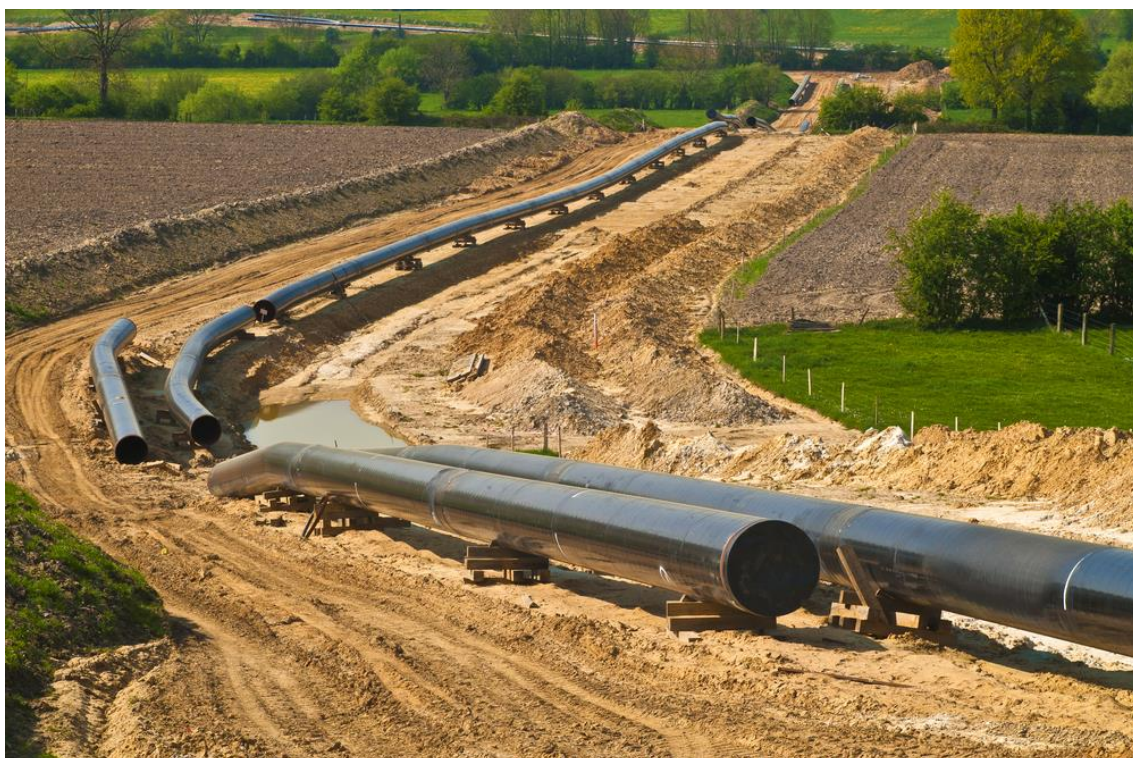


Figura 2.2 Exemplo da construção de duto através da união de tubos de aço.

Fonte: [21]

O dimensionamento mecânico dos dutos leva em consideração, basicamente, dois itens: espessura da parede e geometria dos trechos aéreos e enterrados [22]. Enquanto a configuração geométrica pode se tornar complexa de acordo com condições geográficas e ambientais do traçado, de temperatura, vibrações, etc, o cálculo da espessura é realizado através de fórmulas padronizadas em função, apenas, do diâmetro dos tubos, do material e da pressão interna, principal carga para a avaliação de projeto [22].

Existem normas que visam padronizar os requisitos para os tubos de aço, utilizados na indústria petrolífera e sua cadeia, de acordo com o tipo de aplicação. As mais utilizadas pelo mercado são as estabelecidas e regidas pelo *American Petroleum Institute (API)* [23] sendo que, em sua maioria, possuem documentos correspondentes pelo *International Organization for Standardization (ISO)* [24]. No contexto dos tubos de aço para formação de dutos para transporte de óleo, gás e seus derivados (oleodutos, gasodutos, etc.), em ambiente terrestre ou submarino, a norma *API 5L: Specification for Line Pipe – 45th edition: 2012* [25] é a mais utilizada. Possui como correspondente a norma *ISO 3183:2012*.

As normas apresentam requisitos e tolerâncias de composição química, propriedades mecânicas, diretrizes para condução de ensaios, entre outros. Dessa maneira, tornam-se um instrumento de padronização dos produtos dentro de seu escopo de atuação. Entretanto, os fabricantes de aços e tubos podem trabalhar em seus materiais e processos com o objetivo de atingir propriedades mecânicas e funcionais com desempenho superior. Nesse caso, inserem no mercado os chamados produtos proprietários, geralmente de maior custo, porém que podem suprir desafios técnicos ainda não previstos pelos níveis de especificação das normas.

2.3 Desafios Técnicos em aços para dutos

A integridade dos dutos deve ser uma prioridade visto que uma falha pode causar não somente riscos ambientais e financeiros, mas também a perda de vidas [26]. No caso dos tubos que serão utilizados para sua construção, a maior solicitação mecânica será a resistência à pressão interna e externa (no caso de dutos submarinos), em relação à pressão hidrostática [27]. Entretanto, de acordo com as condições de ambiente das regiões de traçado dos dutos e das características do fluido transportado, são exigidos a manutenção das propriedades mecânicas em condições de baixas

temperaturas, alto potencial corrosivo, dentre outros, que são conhecidas como propriedades funcionais.

O desempenho dos dutos está associado aos seus fatores de projeto e ao material que os compõe. Os primeiros se referem a aspectos de geometria como ovalização, empeno, distribuição e acumulação de tensões. O desempenho dos materiais, dada uma solicitação, está associado as respostas de suas propriedades mecânicas e físicas. Essas, por sua vez, dependem da correlação entre a composição química e do processamento estabelecido que proporcionam uma estrutura atômica e microscópica responsável por incrementar ou denegrir uma ou mais dessas propriedades [28,29]. A Figura 2.3 ilustra essa inter-relação fundamental da Engenharia de Materiais.

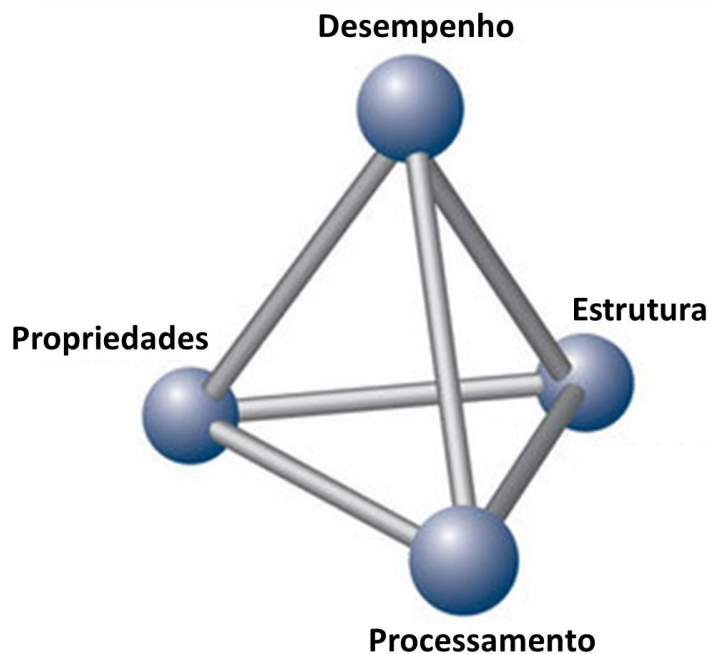


Figura 2.3 Relação fundamental da Engenharia de Materiais que apresenta a interdependência da estrutura, processamento, propriedades e o desempenho de um material. Adaptado de [30].

No caso dos aços, conhecidos como as principais ligas Ferro-Carbono, pode-se trabalhar tanto na quantidade e controle de elementos de liga quanto nas condições de processamento e, dessa maneira, atingir um amplo espectro

de valores em diversas propriedades, que visam otimizar o desempenho de acordo com a aplicação requerida.

A norma API 5L, em sua edição atual, estabelece requisitos de propriedades mecânicas e seus mecanismos de controles, como as condições de ensaio de acordo com o tipo de aplicação requerida e nível de especificação de produto. A Tabela 2.1 apresenta os limites aceitáveis dos principais itens que devem ser garantidos pelo material no tubo formado, inclusive pela região de solda quando for o caso.

Tabela 2.1 Especificação de propriedades mecânicas para os Produtos de Nível de Especificação 2 (PSL 2) da API 5L *45th Edition*. Adaptado de [25].

Grau	Limite de Escoamento (MPa)		Limite de Resistência à Tração (MPa)		Resistência ao Impacto (J)*
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
B	245	450	415	655	27
X42	290	495	415	655	27
X46	320	525	435	655	27
X52	360	530	460	760	27
X56	390	545	490	760	27
X60	415	565	520	760	27
X65	450	600	535	760	27
X70	485	635	570	760	27
X80	555	705	625	825	40
X90	625	775	695	915	40
X100	690	840	760	990	40
X120	830	1050	915	1145	40

* O valor depende do dimensional do tubo. Considerado diâmetro externo de 20 polegadas e fator de tensão de 0,72.

Além da resistência à corrosão, a principal propriedade funcional requerida é a soldabilidade¹, visto o método de união mais comum dos tubos para formação dos dutos, além do próprio método de fabricação de muitos desses tubos (item 2.4.2). Nos processos de soldagem, são utilizados eletrodos consumíveis de resistência similar e tal propriedade somente é atingida com a

¹ Definida como uma propriedade do material, a partir da qual se determina o nível de facilidade e reprodutibilidade com que é realizada a soldagem, sem a ocorrência de defeitos [33].

adição de elementos de liga, o que torna a região de solda mais frágil e suscetível a formação de trincas por hidrogênio [31].

A seleção de materiais para diferentes tipos de dutos será definida a partir do conjunto de suas propriedades mecânicas e funcionais. Para tanto, como o aço representa uma grande parte do custo de projeto, cada situação deve ser analisada separadamente [32]. Dessa maneira, tanto o desenvolvimento da liga como o método de produção do aço podem ser otimizados de maneira que o duto, mesmo construído com distintos tipos de tubo de acordo com as solicitações, atenda aos requisitos da maneira mais econômica possível.

2.4 Fabricação de Tubos de Aço

Tal como visto no item anterior, o processo de produção interfere diretamente no desempenho dos materiais. Os itens de Aciaria não serão tratados em detalhes nesta revisão bibliográfica, embora deve-se ressaltar que a confiabilidade da composição química e a ausência de impurezas indesejáveis acima dos níveis aceitáveis são fundamentais para que sejam atingidos os requisitos de microestrutura, junto ao processamento, que levarão ao correto desempenho do material

Os tubos de aço são classificados, de acordo com seu processo de fabricação, em soldados (*welded*) e sem costura (*seamless*) [34]. Em ambos, a etapa de laminação é primordial para dar origem a produtos planos, chapas e bobinas, a serem conformadas para obtenção dos produtos soldados e para atingir a plena forma tubular, a partir de barras cilíndricas, no segundo caso [27].

2.4.1 Tubos sem costura

A produção dos tubos sem costura começa a se diferenciar no lingotamento, devido à seção circular dos moldes [27]. Após a produção de barras cilíndricas de tamanho compatível para o dimensional final do tubo, as mesmas são inseridas em um forno rotativo, com o objetivo de atingir a temperatura para o início do processo de laminação, geralmente entre 1200°C e 1300°C [35]. Existem diversas maneiras de proceder com a laminação dos tubos sem costura, todas derivadas a partir dos processos desenvolvidos pelos irmãos Mannesmann no final do século XIX e que se diferenciam pelo formato e atuação do mandril e dos rolos dos laminadores [36]. Entre os processos mais comuns estão, de acordo com as referências [27,36]:

- Laminação de Perfuração: Originalmente conhecida como o Processo Mannesmann, consiste na passagem do bloco por dois rolos externos, que giram no mesmo sentido e possuem uma diferença de eixos com ângulos entre 3° e 6°, que permitem o avanço da mesma, conforme detalhado na Figura 2.4. Ao mesmo tempo, um mandril de perfuração é forçado a ser introduzido na região central, por todo o comprimento do bloco de forma a produzir um “tubo-mãe” (também conhecido como lupa), que será submetido a outros passes de laminadores que diminuirão o diâmetro externo e, por consequência, também aumentarão o comprimento do tubo originado.

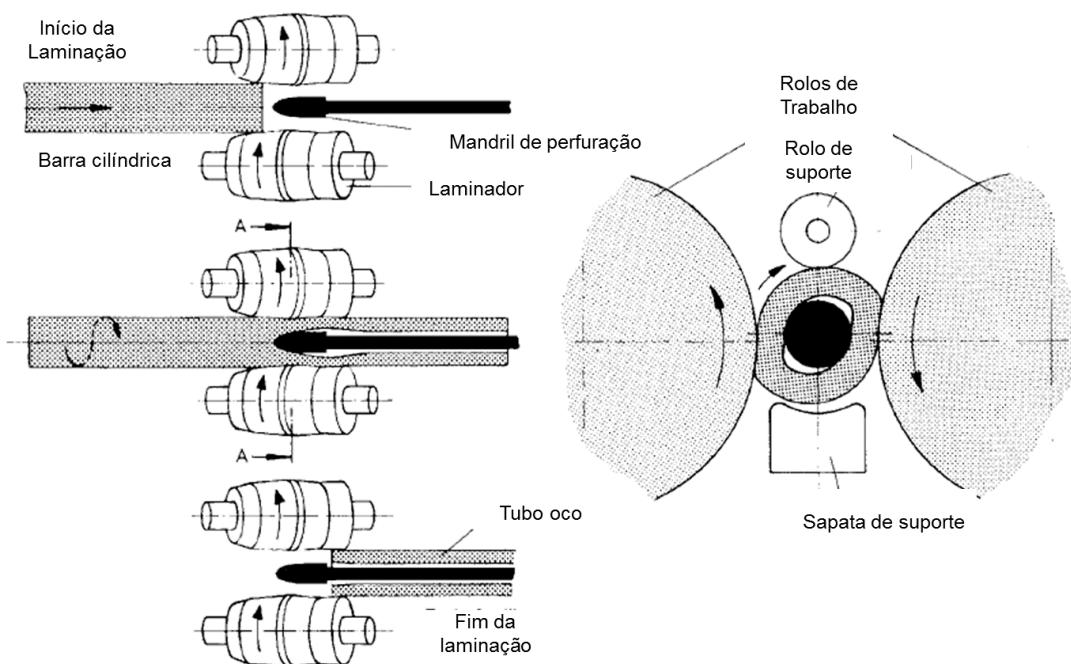


Figura 2.4 Processo de Laminação por perfuração (Processo Mannesmann). Adaptado de [36].

- Laminação com Plugue: Neste caso, os dois laminadores possuem um formato que os possibilita envolver externamente a lupa e forçam sua passagem por um plugue interno preso a uma haste refrigerada, de acordo com o apresentado na Figura 2.5. Neste processo, o tubo alonga-se e a espessura de parede é reduzida. Em uma etapa seguinte, o tubo é levado a um laminador cujos rolos são cilíndricos, o que torna a superfície de contato rolo-tubo plana, e trabalham sobre um mandril posicionado internamente no tubo por uma haste. Através do movimento de rotação e do avanço longitudinal, a excentricidade é eliminada e ocorre um pequeno aumento no diâmetro externo do tubo originado, bem como de seu comprimento.

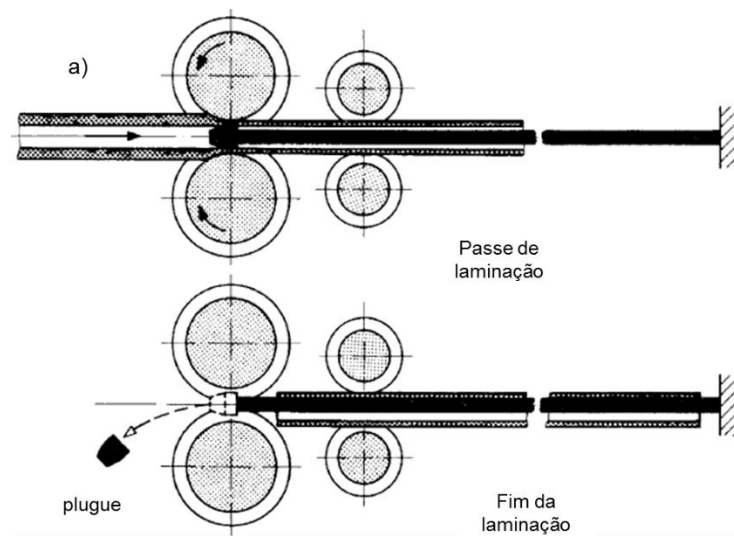


Figura 2.5 a) Processo de laminação por plugue. Adaptado de [36].

- Laminação com Mandril (*Multistand Pipe Mill* - MPM): Também reconhecido como laminação contínua, consiste na inserção de um mandril cilíndrico sólido na região central do tubo mãe enquanto ambos passam por um conjunto de seis a oito pares de roletes perfiladores, arranjados a 90° com seus vizinhos, como mostra esquema da Figura 2.6. Cada par de roletes diminui o diâmetro externo do tubo, enquanto o alonga, e força a parede do mesmo contra o mandril, cujo diâmetro definirá a dimensão interna do tubo produzido. Na sequência, o “tubo-mãe” é encaminhado para o dimensionamento final do diâmetro externo em um laminador redutor.

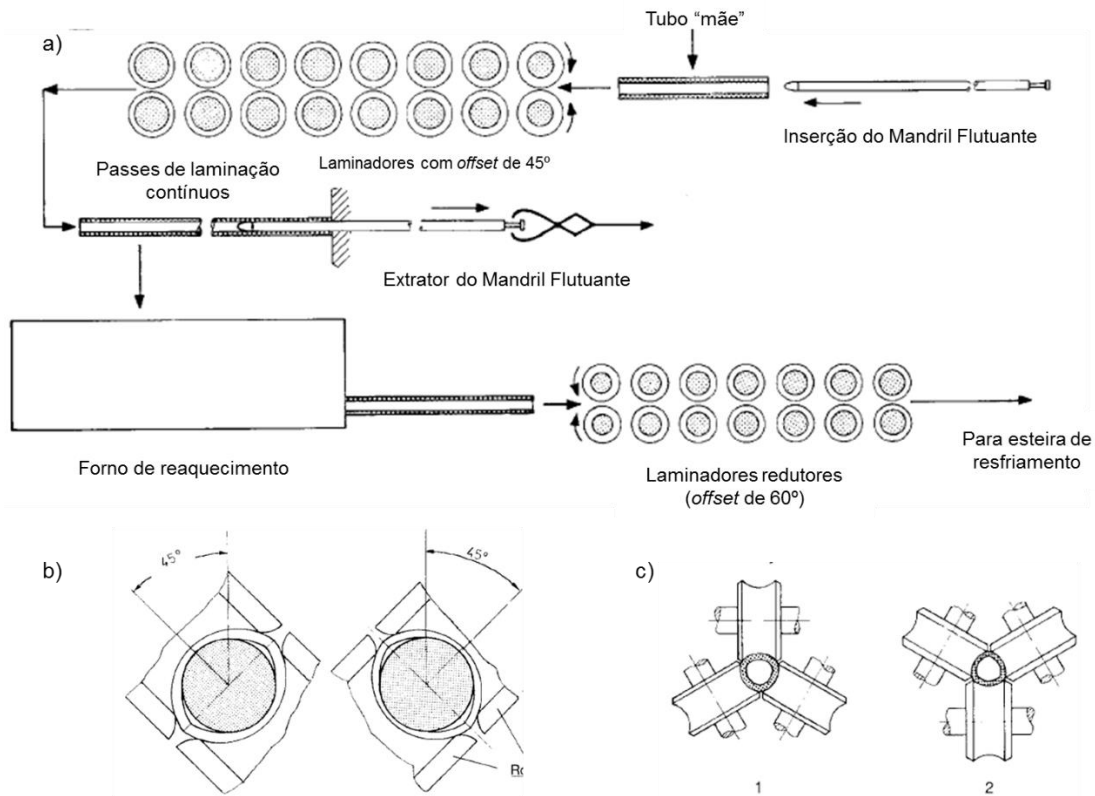


Figura 2.6 a) Laminação por mandril flutuante; b) detalhamento dos rolos externos na laminação contínua; c) detalhamento dos rolos dos laminadores redutores. Adaptado de [36].

- Laminação Peregrina: Utilizada para fabricar tubos com grande espessura de parede e diâmetros de até 700 mm, inviável aos demais processos. Consiste na inserção de um mandril cilíndrico no tubo, que passa a ser trabalhado na superfície externa por dois rolos com entalhes circunferenciais e com seções transversais que lembram uma curva cardioide, apresentado em detalhes na Figura 2.7. Isso permite um processo intermitente em que, enquanto o diâmetro externo é reduzido, o tubo se move longitudinalmente. Ao final de um primeiro passe, o processo é repetido com o tubo girado em 90° até obter o dimensional desejado.

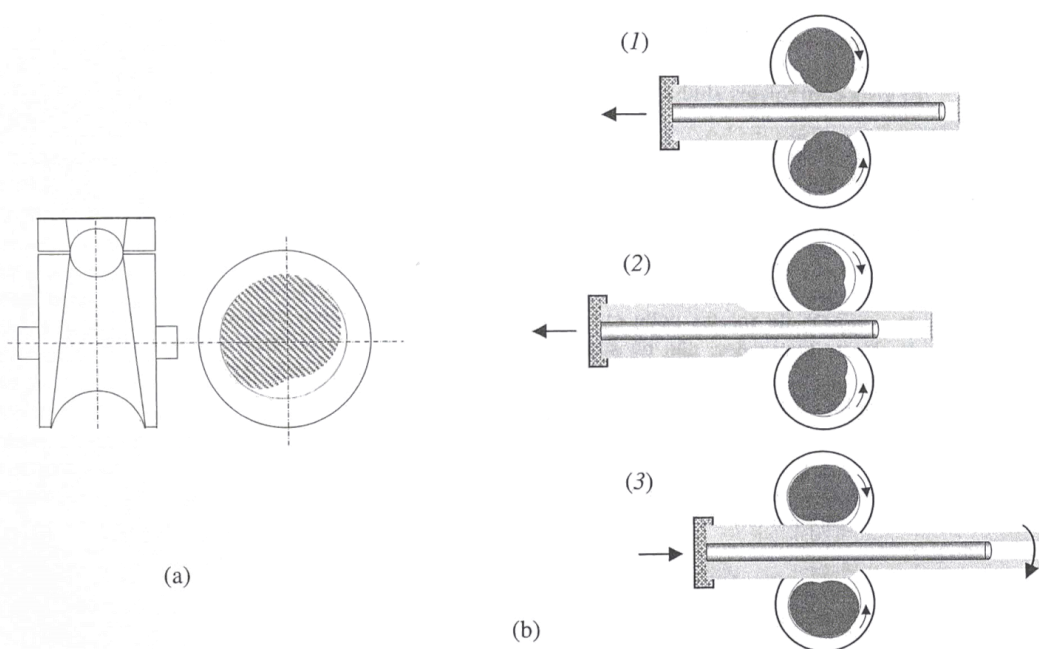


Figura 2.7 Laminação Peregrina. a) rolos especiais com formato cardióide; b) etapas da laminação: 1) rolos laminadores coletam a porção do material a ser trabalhado; 2) Redução do diâmetro externo por ação sobre o mandril interno. 3) regiões de menor raio deixam de ter contato com os laminadores, que retorna à etapa 1. Retirado de [27].

Além dos componentes específicos de conformação acima citados, o processo de laminação serve-se de outros equipamentos que permitem a produção final dos tubos nos dimensionais e tolerâncias requeridas pelas normas [27,35,36]. Entre esses, podem ser citados os fornos de reaquecimento intermediários, que visam manter a temperatura do aço no patamar exigido para os passes de laminadores, além dos descapadores que, através de jatos de água sob alta pressão, retiram as carepas formadas na superfície externa dos tubos. Em alguns casos, no final do processo, também são utilizados calibradores, que fornecem um melhor acabamento dimensional. Neste caso a deformação é realizada em temperaturas mais baixas que a dos passes de laminação.

2.4.2 Tubos Soldados

A produção dos tubos com costura parte dos denominados aços planos, isto é, através de chapas ou bobinas que já possuem a espessura definida para o projeto do tubo [37]. Para a transformação em produtos tubulares, ou seja, de seção transversal circular, é necessária uma etapa de conformação mecânica, realizada a frio, antes da união das bordas. Os processos de manufatura de tubos com costura se diferenciam de acordo com o tipo de solda empregada que, por sua vez possuem limitações quando às dimensões e resistência do aço a ser conformado [27,36,38].

O processo por resistência elétrica (*Electrical Resistance Welding* - ERW ou *High Frequency Welding* - HFW) se inicia com bobinas que têm suas extremidades aparadas a fim de obter um melhor acabamento das bordas a serem unidas. Em seguida, uma sequência de ferramentas em formas de esferas e rolos de seção semicircular gradativamente conformam o aço inicialmente plano em um aspecto tubular de forma a aproximar as duas extremidades laterais da bobina. Por fim, é estabelecido o contato com um eletrodo em cada uma das bordas, ligados a um gerador de alta frequência, o qual induz o aquecimento das extremidades até a temperatura de fusão. Neste ponto, uma última ferramenta pressiona as bordas durante a fusão e início do resfriamento para que, enfim, a formação do tubo esteja completa. A Figura 2.8 apresenta um esquema geral do processo de formação e soldagem ERW.

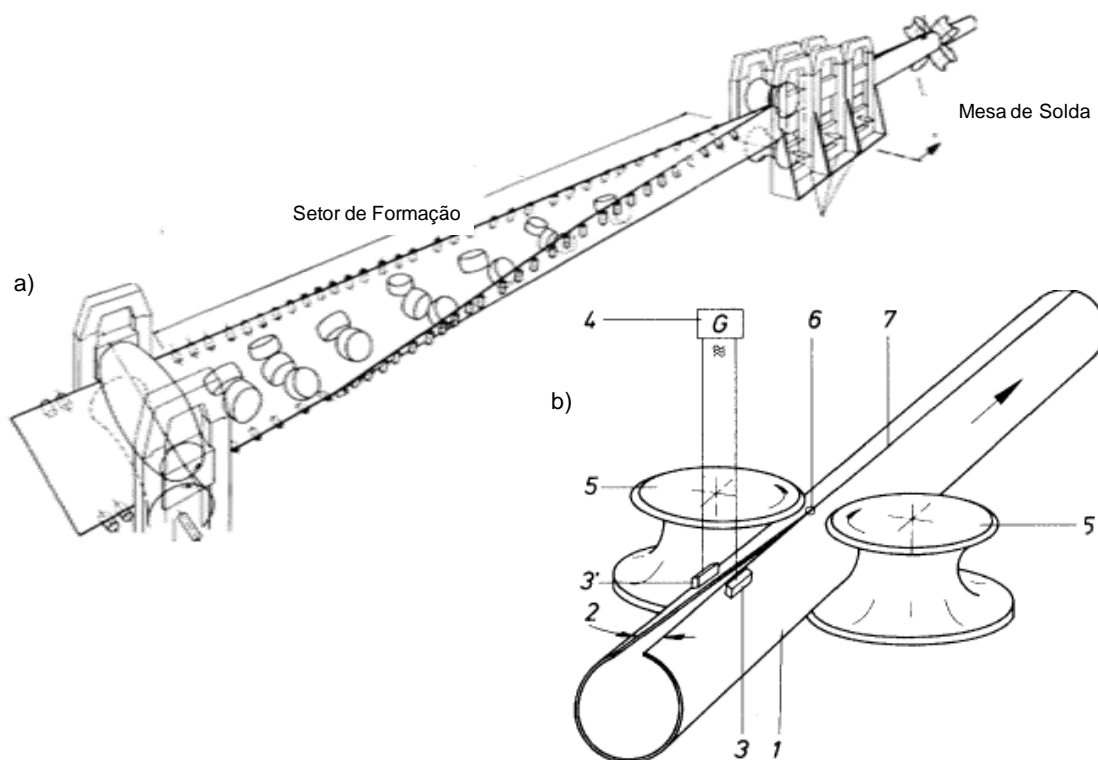


Figura 2.8 Processo de formação e solda ERW. a) conformação da bobina por rolos até o formado tubular; b) detalhamento do processo de solda por eletrodos de contato: 1) tubo sem solda; 2) abertura inicial antes da soldagem; 3) eletrodos de contato; 4) transformador; 5) rolos de aperto; 6) ponto de soldagem; 7) cordão de solda. Adaptado de [36].

A soldagem por resistência elétrica é um processo de alta produtividade pelo fato de ser contínuo, entretanto está limitado por 2 fatores principais. O primeiro se refere à espessura da bobina a ser soldada, devido ao aporte de calor necessário para fundir um volume maior. Normalmente, limita-se este processo a chapas de até 15 mm de espessura [38]. O segundo limitante diz respeito ao limite de escoamento do material de origem e a relação entre o diâmetro e espessura do tubo. Graus de maior resistência exigirão maior esforço dos ferramentais de conformação, sendo observado o mesmo efeito para um tubo de baixo diâmetro e alta espessura [36].

A formação de tubos com maior espessura é possibilitada pelo uso do processo de soldagem a arco submerso (SAW na sigla em inglês). Este processo, geralmente, utiliza vários eletrodos simultaneamente, caracterizando

o processo de tandem, o que promove boa produtividade e a possibilidade de soldar chapas de até 50 mm de espessura [27,36,38], conforme esquematizado na Figura 2.9. Antes deste processo, todavia, é necessário realizar a etapa de conformação das chapas que pode ser realizada através de prensas (U-O) ou calandras [38]. No primeiro caso, após a soldagem, é realizado um processo de expansão a frio pelo diâmetro interno, com o objetivo de atingir o dimensional final do tubo dentro de suas tolerâncias de empeno e ovalização, o que caracteriza o processo U-O-E (Prensa para formar a chapa em “U”, segunda prensa para dar o formato tubular “O” e a expansão “E”).

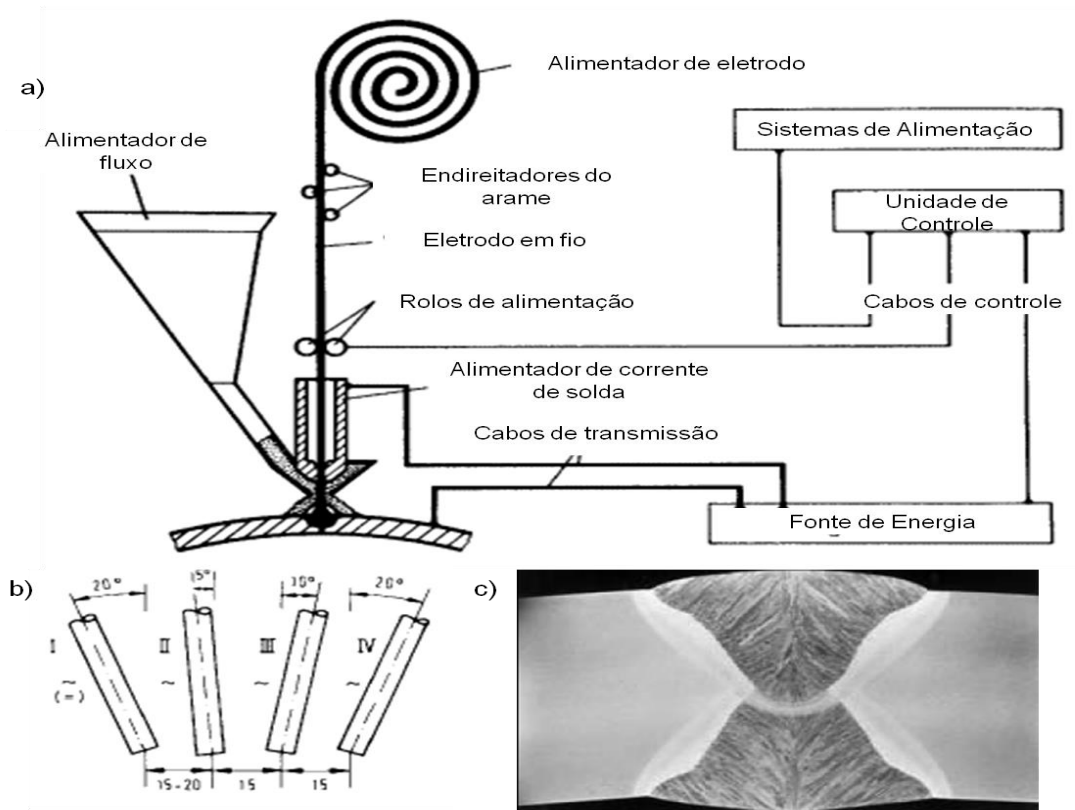


Figura 2.9 Sistema de soldagem a arco submerso. a) Sistema de um eletrodo; b) configuração do processo em tandem com 4 eletrodos simultâneos; c) micrografia de um cordão de solda. Adaptado de [36].

Após a conformação final dos tubos, pode ser necessária a realização de tratamentos térmicos para se obter as propriedades finais desejadas, como dureza, resistência à tração e ao impacto. Tais processos serão vistos em maior nível de detalhamento no item a seguir.

2.4.3 Tratamentos Térmicos e Termomecânicos

Os processos de tratamento térmicos tradicionalmente utilizados para tubos são: têmpera seguido de revenimento, recozimento e normalização [39]. Quando se planeja a realização de tratamento térmico, normalmente, parte-se de uma composição química de aço que oferece um baixo limite de escoamento, porém com boa soldabilidade e temperabilidade. Essa combinação favorece o processo de conformação dos tubos, que atingirão as propriedades requeridas após a realização dos tratamentos.

Uma elevada tensão de escoamento em aços é função da presença de elementos em solução sólida, precipitação de carbonetos finamente distribuídos e tamanho de grão pequeno [40]. Já a resistência ao impacto obtida no ensaio Charpy, para uma mesma temperatura de teste, é inversamente proporcional ao tamanho dos grãos [27]. Logo, temos que aços com microestrutura mais refinada tendem a combinar uma elevada resistência à tração junto a uma boa resistência ao impacto, ou a uma diminuição da temperatura de transição frágil-dúctil.

No caso dos tubos soldados, geralmente as chapas e bobinas já se encontram nas especificações finais que são atingidas durante o processo de laminação controlada por recristalização e pela tecnologia de resfriamento acelerado (*ThermoMechanical Controlled Process* - TMCP) [41]. Neste caso, através de uma composição química pré-estabelecida (será tratado em detalhes no item 2.5 desta dissertação), e o controle de tempo e temperatura entre os passes de laminação se atinge uma microestrutura capaz de atingir escoamento acima de 550 MPa em tração [42], sem a necessidade de tratamentos térmicos adicionais. A Figura 2.10 apresenta um esquema simplificado de desenvolvimento da microestrutura de acordo com as temperaturas e passes de laminação.

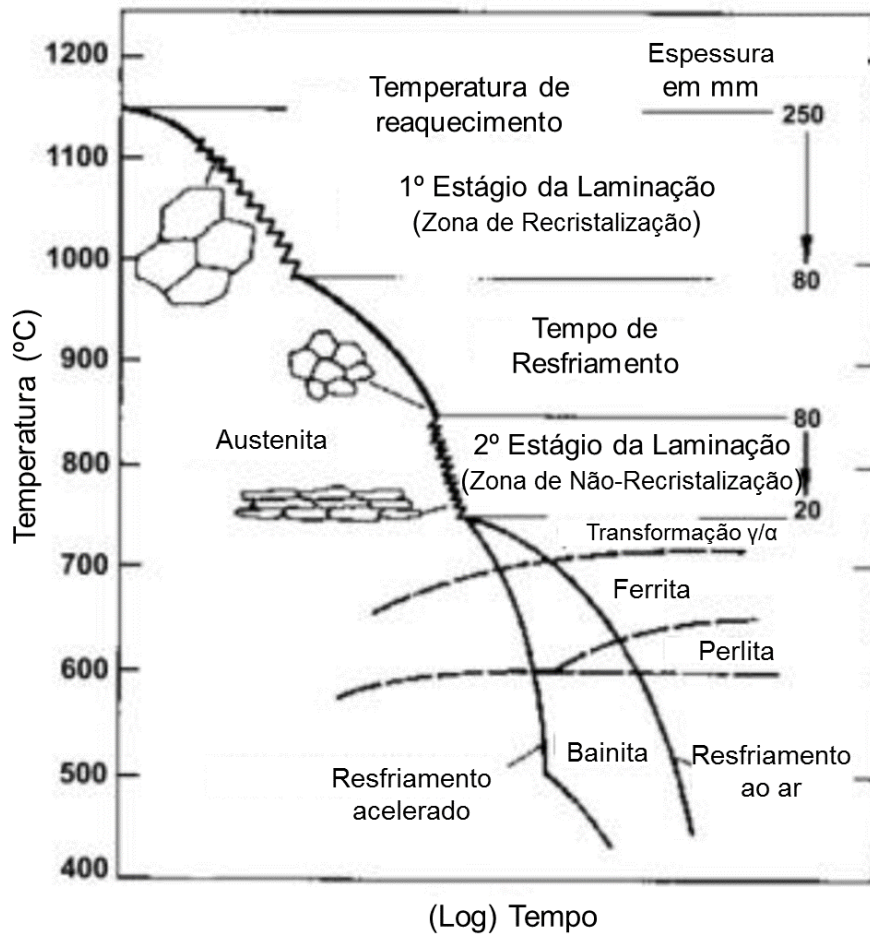


Figura 2.10 Diagrama temperatura-tempo das etapas da laminação controlada: reaquecimento, laminação de desbaste, laminação de acabamento, e resfriamento para um aço API X80 com 0,04% C; 1,75% Mn; 0,095% Nb e 0,35% Cr. Adaptado de [43].

Com o conhecimento da curva de resfriamento contínuo de um aço, é possível estabelecer as taxas críticas de resfriamento e, por consequência, o tempo entre os passes de laminação. Dessa maneira, permite-se planejar a microestrutura final do produto que atenda aos requisitos de sua aplicação. As demais variáveis de controle se encontram na deformação imposta pelos passes de laminação e da composição química do aço, principalmente dos elementos microligantes, que dependerão, respectivamente, da capacidade produtiva e da expertise de seus produtores.

No caso dos tubos soldados, a região de solda, inclusive as zonas afetadas termicamente (ZTAs) devem atingir os mesmos requisitos aplicados ao produto plano (chapa ou bobina) que lhe deram origem. Como não é possível realizar tratamentos termomecânicos na região de solda, a composição química do eletrodo de adição deve ser compatível com o aço do metal de base. Além disso, tratamentos térmicos de alívio de tensões e normalização também podem ser aplicados para garantia de tais propriedades.

Por efeito de norma e controle de qualidade interno dos fabricantes, os tubos são submetidos a diversos testes após atingirem a forma e as propriedades finais desejadas. Entre os ensaios obrigatórios estão os testes hidrostáticos e de ultrassom, além dos realizados em laboratório como tração, impacto e perfil de dureza na solda, quando pertinente [25,27,36,39]. Ensaios em escalas, durante a instalação dos dutos, também são realizados, com foco principal em avaliar a resistência obtida pelas regiões de uniões dos tubos.

2.5 Aços para dutos

A produção mundial total de aço bruto apresentou crescimento recente, embora a tendência atual seja de estagnação, conforme apresenta a Figura 2.11.

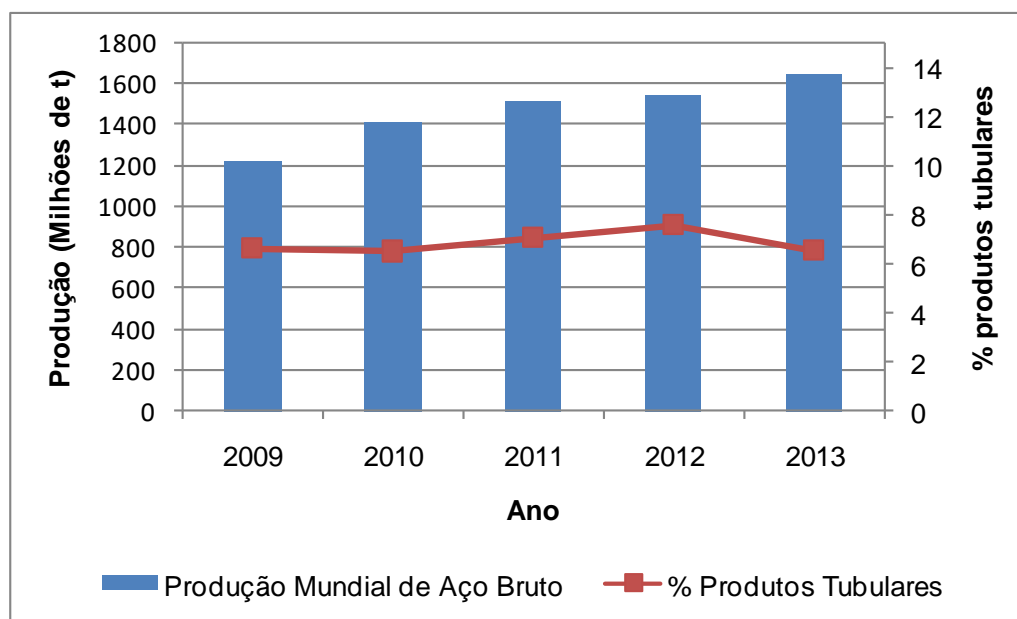


Figura 2.11 Produção mundial de aço bruto e percentual referente a produtos tubulares. Elaborado pelo autor a partir dos dados da *World Steel Association* [44].

Entre os maiores produtores de aço se encontra a China (49,5%), Japão (6,7%) Índia (5,0%), Coreia do Sul e Rússia (4,3%) [44]. Entre os maiores consumidores, além da China (45,75%), Japão (21,1%) e Estados Unidos (6,8%) se apresentam em principal destaque [44]. Os países da União Europeia correspondem a cerca de 10% da produção e consumo de aço mundial[44]. Os produtos tubulares em aço representam aproximadamente 7% do volume total. Esse valor, somado aos produtos planos que alimentam os processos com costura, demonstram a importância do setor embora seja evidente que parte desses produtos possui aplicação em diversos outros ramos da indústria além da petrolífera. Dados de produção dos três maiores fabricantes mundiais de tubos de aço para o setor apontam que, atualmente, cerca de 70% de sua produção e venda é destinada a produtos de exploração e produção (*Oil Country Tubular Goods - OCTG*) e construção de dutos (*Linepipe*) [45,46,47].

As normas não fornecem composições químicas específicas únicas para os aços, apenas limites de tolerância e as propriedades finais que devem atingir. Assim, cabe aos fabricantes a escolha dos elementos de liga e

parâmetros de processo a serem utilizados com o objetivo de atender os requisitos ao menor custo possível. Entretanto, tais quais são diferentes as solicitações de acordo com a aplicação, assim também são as possibilidades e limites de tolerância especificados.

Para atender aos já citados requisitos de propriedades mecânicas e funcionais requeridas, os aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) são amplamente utilizados em tubos para formação de dutos, por aliarem elevados níveis de resistência, boa tenacidade e soldabilidade [27]. O desenvolvimento de tais ligas é possível com a adição de elementos microligantes, como Nióbio, Vanádio e Titânio em teores baixos (0,01% a 0,10% em peso), que favorecem mecanismos de endurecimento por precipitação e refino do grão ferrítico, principalmente [27].

A composição química geralmente varia de acordo com a espessura objetivada para o tubo com objetivo de obter a melhor relação entre propriedades atingidas e custo. Os teores de carbono geralmente não ultrapassam 0,12% em peso com o intuito de favorecer a soldabilidade através de um valor de carbono equivalente baixo. Além dos elementos citados, adições de Cromo, Níquel, Molibdênio, Cobre e Zircônio são aplicáveis em várias combinações. A norma API 5L, em edição atual, requer em seu maior nível de especificação de produto (*Product Specification Level 2 – PSL 2*), a tolerância para elementos de liga conforme Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Especificação de composição química para os Produtos de Nível de Especificação 2 (PSL 2) da API 5L 45th Edition. Adaptado de [25].

Elementos de liga % em peso (máximo)										
Grau	Processo	C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Ceq
B	N	0,24	0,4	1,2	0,025	0,015	**	**	0,04	0,25
X42	N	0,24	0,4	1,2	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04	0,25
X46	N	0,24	0,4	1,4	0,025	0,015	0,07	0,05	0,04	0,25
X52	N	0,24	0,45	1,4	0,025	0,015	0,1	0,05	0,04	0,25
X56	N	0,24	0,45	1,4	0,025	0,015	0,10*	0,05	0,04	0,25
X60	N	0,24*	0,45*	1,40*	0,025	0,015	0,10*	0,05*	0,04*	0,25
B	Q	0,18	0,45	1,4	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	0,25
X42	Q	0,18	0,45	1,4	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	0,25
X46	Q	0,18	0,45	1,4	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	0,25
X52	Q	0,18	0,45	1,5	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	0,25
X56	Q	0,18	0,45	1,5	0,025	0,015	0,07	0,05	0,04	0,25
X60	Q	0,18*	0,45*	1,70*	0,025	0,015	***	***	***	0,25*
X65	Q	0,18*	0,45*	1,70*	0,025	0,015	***	***	***	0,25
X70	Q	0,18*	0,45*	1,80*	0,025	0,015	***	***	***	0,25
X80	Q	0,18*	0,45*	1,90*	0,025	0,015	***	***	***	0,25
X90	Q	0,16*	0,45*	1,9	0,02	0,01	***	***	***	0,25*
X100	Q	0,16*	0,45*	1,9	0,02	0,01	***	***	***	0,25*
B	M	0,22	0,45	1,2	0,025	0,015	***	***	***	0,25*
X42	M	0,22	0,45	1,3	0,025	0,015	***	***	***	0,25
X46	M	0,22	0,45	1,3	0,025	0,015	***	***	***	0,25
X52	M	0,22	0,45	1,4	0,025	0,015	***	***	***	0,25
X56	M	0,22	0,45	1,4	0,025	0,015	***	***	***	0,25
X60	M	0,12*	0,45*	1,60*	0,025	0,015	***	***	***	0,25
X65	M	0,12*	0,45*	1,60*	0,025	0,015	***	***	***	0,25
X70	M	0,12*	0,45*	1,70*	0,025	0,015	***	***	***	0,25
X80	M	0,12*	0,45*	1,85*	0,025	0,015	***	***	***	0,25
X90	M	0,1	0,55*	2,10*	0,02	0,01	***	***	***	0,25
X100	M	0,1	0,55*	2,10*	0,02	0,01	***	***	***	0,25
X120	M	0,1	0,55*	2,10*	0,02	0,01	***	***	***	0,25

N: Normalizado; Q: Temperado e Revenido; M: Termomecânico; * Salvo acordo prévio entre fornecedor e cliente; ** Nb + V ≤ 0,06 %; Nb + V + Ti ≤ 0,15 %. Ceq: Carbono Equivalente: cálculo pela fórmula de Pcm.

Os aços ARBL para aplicação em dutos podem ser divididos em três categorias principais [27]:

- Aços microligados ferríticos-perlíticos, que contém adições de elementos formadores de carbonitretos, como Nióbio, Vanádio e/ou Titânio em teores de até 0,15% em peso que promove o endurecimento por precipitação, refino de grão e controle da temperatura de transformação.
- Aços ferríticos, com baixo teor de carbono (<0,05%p) com microestrutura bainítica ou de ferrita acicular que fornecem combinação de alta tensão de escoamento (pode atingir 690 Mpa sem tratamento de têmpera e revenimento), soldabilidade, conformabilidade² e boa tenacidade.
- Aços Multifásicos, que possuem matriz ferrítica, com dispersão de regiões martensíticas, bainíticas e carbonetos precipitados, o que resulta em alta resistência à tração acompanhada de tenacidade considerável.

Para tanto, os fabricantes de aço para o setor de óleo e gás investem em pesquisa e desenvolvimento de novas ligas e processos, com o objetivo de buscar produtos diferenciados que possam suprir lacunas técnicas deixadas pelos documentos reguladores e torná-los vantagem competitiva frente aos concorrentes. Tais produtos são chamados de proprietários e os principais fabricantes possuem seus próprios catálogos de oferta e classes específicas, de acordo com propriedades funcionais requeridas. A Figura 2.12 resume a evolução dos graus dos aços API ao longo dos anos.

² Capacidade de ser deformado para formação de perfis específicos, por exemplo, um tubo de seção circular.

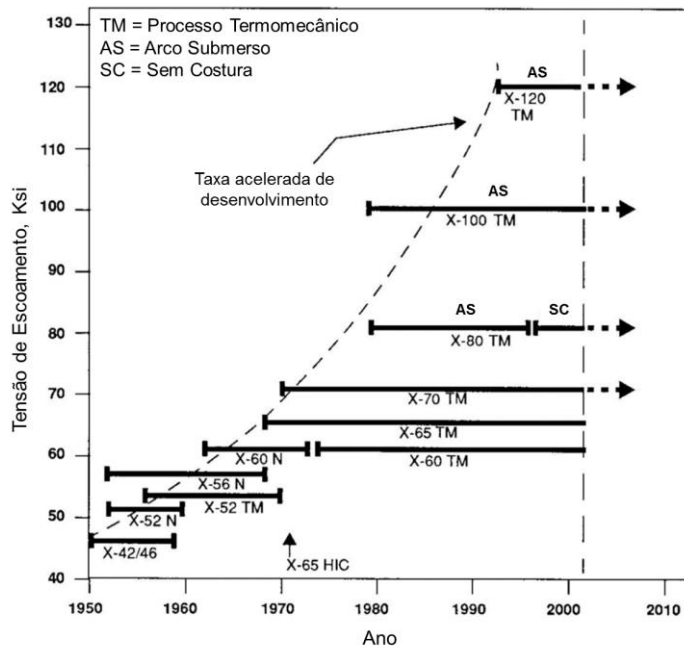


Figura 2.12 Evolução dos aços de graus API ao longo dos anos.

Adaptado de [48].

Para cada ramo de aplicação, as correlações fundamentais da engenharia de materiais, estrutura – propriedade – processamento, são de extrema importância tanto nas atividades de pesquisa quanto industriais. Dado o custo competitivo, disponibilidade de matéria-prima e cadeias produtiva e logística desenvolvidas, o aço provavelmente continuará a ser um dos materiais mais utilizados na indústria petrolífera. O esforço para que continue a suprir os desafios técnicos que surgem continuamente, entretanto, é fundamental para continuar neste patamar.

A dinâmica do desenvolvimento de tecnologias em materiais e processos neste setor impulsiona sua inovação e cria padrões antes mesmo das normas serem atualizadas. Para tanto, a proteção da propriedade intelectual através do depósito de patentes, registro de desenhos industriais ou manutenção de segredo industrial é fundamental para a garantia da vantagem competitiva [17]. Dado o grande desenvolvimento de tecnologias de caracterização de materiais, torna-se relativamente simples a descoberta da composição química de um concorrente por análises químicas ou mesmo de processos de manufatura utilizados através de microscopia ou outras técnicas avançadas de laboratório. Dessa maneira, o depósito de patentes torna-se um

instrumento de proteção muito interessante e de grande utilidade dos fabricantes para a proteção de seu capital intelectual e do retorno financeiro sobre o investimento em pesquisa.

2.6 Indicadores de patentes para prospecção e monitoramento tecnológico

A prospecção tecnológica é um processo de análise de informações científicas e tecnológicas em busca de suas aplicações práticas futuras [49]. Por isso, trata-se de uma poderosa ferramenta para aqueles que desejam compreender o ambiente de mercado que se encontram e obter informações técnicas úteis para o desenvolvimento de novas oportunidades bem como a elaboração ou revisão de objetivos e planejamentos estratégicos. Como complemento, também é estabelecida como um meio sistemático de mapear os desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros, que sejam capazes de influenciar significativamente uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo [50].

Dentro das atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), a prospecção tecnológica se localiza conforme mostra a Figura 2.13:

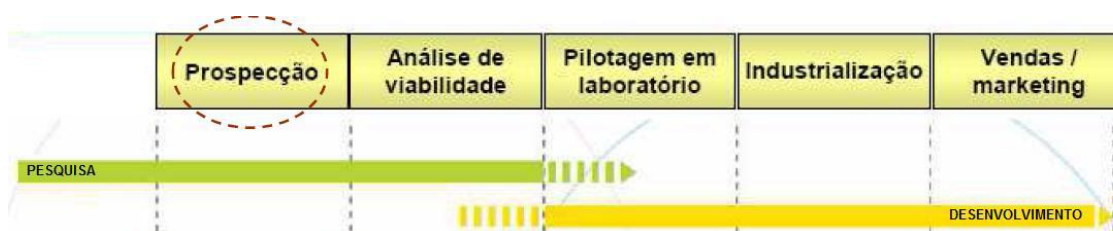


Figura 2.13 Destaque da etapa de prospecção no ciclo de Pesquisa e Desenvolvimento. [51].

A dinâmica do desenvolvimento de uma tecnologia ou de um determinado setor pode ser analisada através da prospecção tecnológica com uso de diversos meios de informação. Dentre eles, o que parte de informações contidas em documentos de patentes é amplamente utilizado [49]. Os dados contidos nesses documentos podem ser base para elaboração de indicadores

que fundamentem o planejamento e tomada de decisões em pesquisas aplicadas a novos materiais, produtos e processos [49,52].

Indicadores são medidas indiretas que permitem avaliar algo intangível [53]. A partir deles, podem ser realizadas análises de tendências, identificação de padrões ou comportamentos inesperados, dentre outras [49]. Uma grande vantagem de realizar prospecção tecnológica a partir da construção de indicadores que contenham dados contidos em documentos patentes é a obrigatoriedade deste tipo de documento em conter detalhes do processo ou produto a ser patenteado [54]. Dessa maneira, informações que possivelmente não são encontradas em outros meios de textos científicos como livros e artigos publicados podem ser absorvidas em um nível mais específico, o que contribui para uma melhor compreensão do estado da técnica [5].

O acesso de grande volume de informação contido em documentos de patentes é possível através de bases de dados que armazenam as informações de documentos depositados, que podem ser recuperados através de expressões de busca específicas. As bases internacionais conciliam dados de depósitos de diversos escritórios nacionais de patentes embora, para o acesso ao documento completo, é comum que cada país tenha seu próprio banco de dados. Algumas dessas bases contêm apenas o título e um breve resumo, enquanto, em outras, é possível o acesso ao documento completo.

A presença de registros de documentos de patentes com informação estruturada em algumas dessas bases permite a realização de mineração de dados e textos. Dado grande volume de informação a ser tratado, geralmente se utilizam filtros disponibilizados ou construídos com o auxílio de softwares específicos. Esses programas auxiliam o levantamento da informação de interesse do analista, que torna o processo semiautomático e possibilita o trabalho com grandes quantidades de dados em um tempo reduzido [55].

A análise de indicadores pode ser considerada subjetiva, pois depende da habilidade, experiência e dos julgamentos do analista que a realiza. Para minimizar esse efeito, uma etapa importante da aplicação dos indicadores tecnológicos em tomada de decisões trata da consulta a especialistas em relação ao tema foco do estudo. Dessa maneira, amplia-se a visão referente às

tendências e demais cenários apresentados pelos indicadores. Essa consulta pode ser realizada de maneira mais formal através de entrevistas que podem variar de pouco a bastante estruturadas, de acordo com o interesse e necessidade do entrevistador [52]. Embora aparentemente menos confiáveis, a realização de consulta a especialistas, pode apresentar informações e diagnósticos que não se encontram em documentos formais e enriquecem os resultados junto a demais fontes como experimentos, resultados de projetos, etc. e reduzem o risco em tomadas de decisão futuras a partir da análise dos indicadores tecnológicos.

Um dos maiores desafios na gestão da inovação tecnológica consiste em conseguir antecipar uma mudança de direção do desenvolvimento de uma tecnologia e seu impacto [56]. O Monitoramento Tecnológico consiste em um acompanhamento rotineiro de um setor científico e/ou tecnológico com o objetivo de detectar tendências [57]. Em alguns aspectos, os conceitos de prospecção tecnológica e monitoramento tecnológico se assemelham, principalmente quando o último está relacionado a atividades de inteligência competitiva [58].

Um exemplo de aplicação de indicadores de patentes se refere a análise do ciclo de vida de uma tecnologia. Geralmente, essa análise é feita através de curvas “S” [59]. Ernst [60] propõe um modelo que considera uma curva de evolução temporal de invenções que consiste em três etapas principais de desenvolvimento, como apresentado na Figura 2.14.

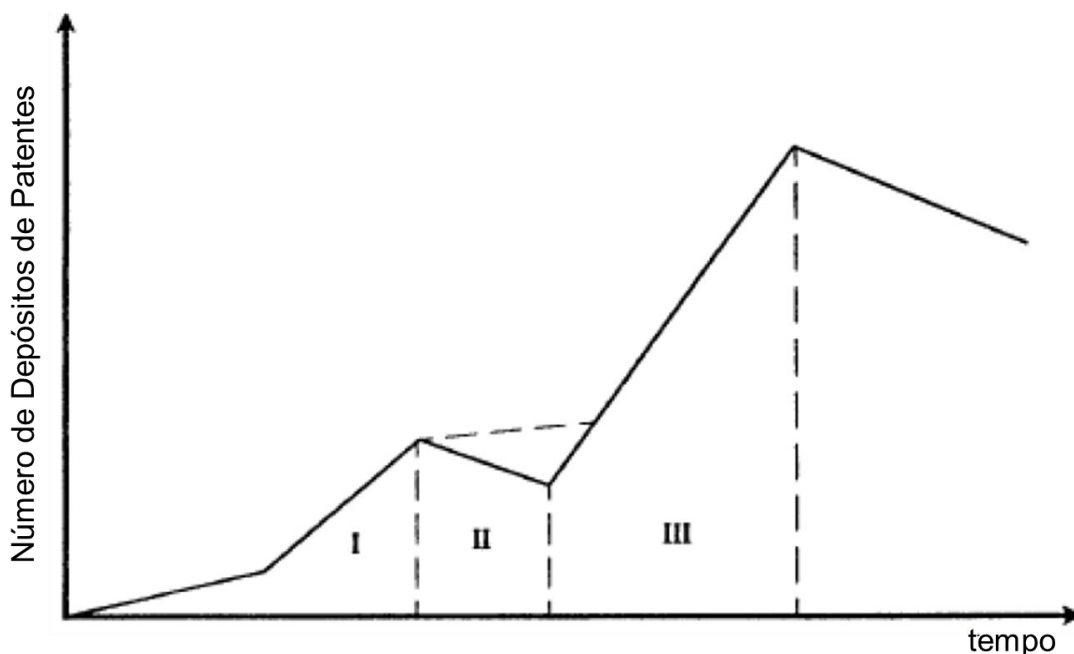


Figura 2.14 Estágios de ciclo de vida de tecnologia proposto por Ernst. Adaptado de [60]. I: Etapa emergente; II: Etapa de consolidação; III: Etapa de penetração no mercado.

A fase I representa o estágio inicial de desenvolvimento de uma tecnologia, com uma atividade de depósito de patentes com crescimento notável até atingir um primeiro pico, que representa um estágio de desenvolvimento avançado com a inserção inicial de produtos no mercado. A fase II representa a dinâmica de resposta do mercado consumidor, ou seja, quais produtos realmente tendem a se consolidar e se transformaram em inovação. A fase III pode ser entendida como a fase de ampla concorrência, de alta penetração de mercado onde as invenções são focadas em novos desafios para a tecnologia e o número de empresas bem como a atividade de patenteamento volta a ter crescimento até a maturação da tecnologia.

Outro modelo que avalia a dinâmica do ciclo de vida de uma tecnologia foi proposto por Moguee [61]. Este modelo também consiste em uma representação gráfica que relaciona o número de depósitos referente a tecnologia de interesse em um determinado período e o número de empresas tecnologicamente ativas, ou seja, empresas que realizaram um pedido de

patente neste mesmo período. O modelo proposto é representado na Figura 2.15.

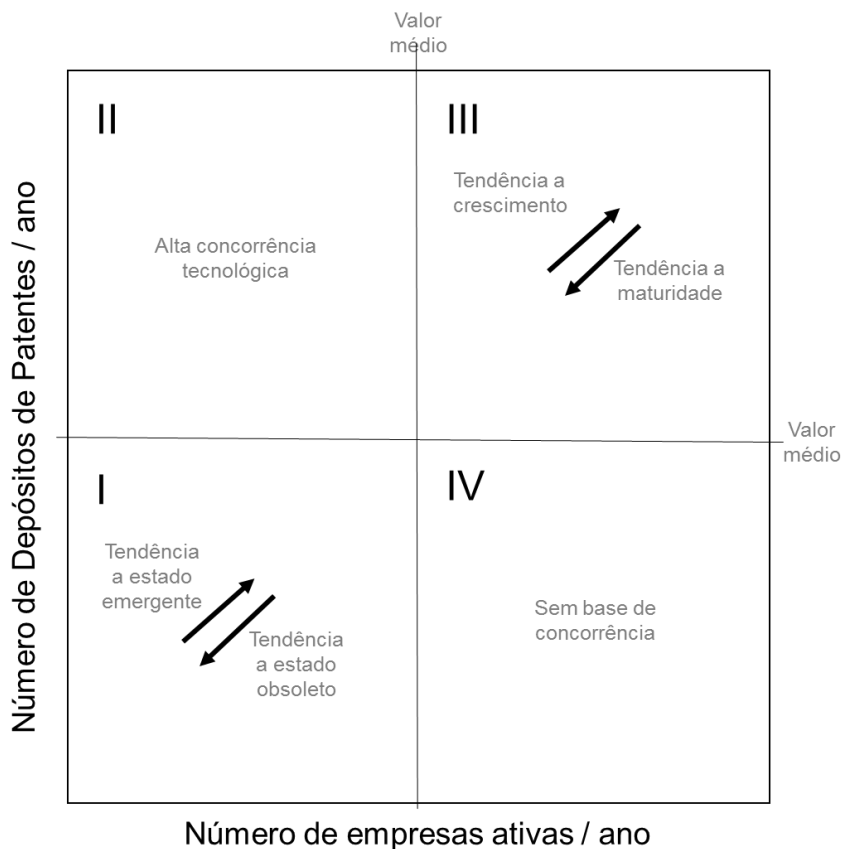


Figura 2.15 Estágios do ciclo de vida de tecnologia proposto por Moge. Adaptado de [61].

Os estágios de desenvolvimento são separados em quatro quadrantes. O quadrante I é referente a um baixo número de empresas tecnologicamente ativas e baixo número de depósitos de pedidos de patentes. Dessa maneira, pode representar o estágio de surgimento ou de obsolescência da tecnologia, de acordo com a evolução temporal. O quadrante III apresenta um alto número de empresas e de pedidos de patentes, o que o torna representativo de períodos de crescimento do desenvolvimento de invenções relacionados a tecnologia de interesse. O quadrante II apresenta um cenário e alta concorrência tecnológica, ou seja, poucas empresas apresentam um alto número de depósitos enquanto o quadrante IV, por fim, representa um cenário

de baixa concorrência e baixa atividade, ou seja, uma tecnologia provavelmente em estágio de maturidade.

Dado o avanço de técnicas de caracterização de materiais, pode-se conhecer muito a respeito da composição de ligas metálicas e seus processos através de uma pequena amostra. Dessa maneira, monitorar constantemente o desenvolvimento de tecnologias em aço, e buscar meios legais de proteção do desenvolvimento tecnológico de uma organização torna-se uma ferramenta fundamental não apenas para a proteção de seu mercado, mas também da garantia de retorno de seus investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

3 METODOLOGIA

3.1 Procedimentos gerais

O procedimento geral empregado nesta pesquisa é apresentado na Figura 3.1. A primeira etapa correspondeu à recuperação de informação, que englobou a busca, coleta e armazenamento dos registros de documentos contidos em bases de dados. Na segunda etapa, os dados dos registros foram importados e tratados para a análise bibliométrica, base para construção dos indicadores. Por fim, os resultados foram analisados e comparados com outras fontes de informação de maneira a buscar conclusões a respeito do tema estudado.

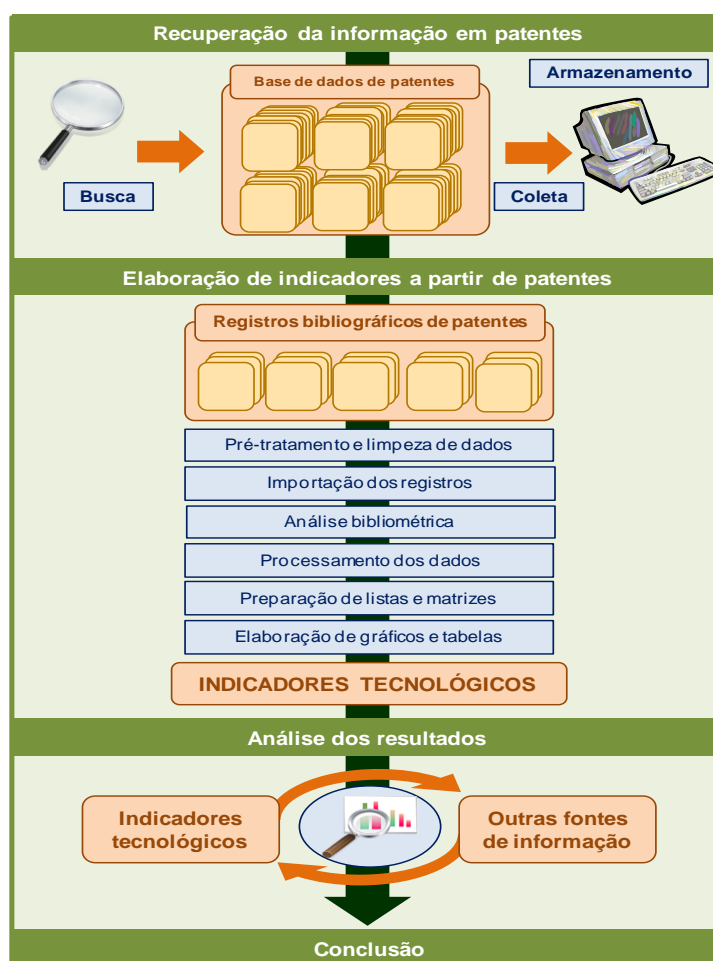


Figura 3.1 Fluxograma simplificado do procedimento para recuperação de informação e elaboração de indicadores a partir de documentos de patentes [62].

Como se trata de uma busca de uma classe de materiais específica (Aços), para um produto característico (Dutos) em uma aplicação especial (Indústria petrolífera - hidrocarbonetos), a busca foi realizada em etapas, para cada um dos temas relacionados, e depois trabalhada para recuperar os registros dos documentos que possuam relação ao cerne da pesquisa. A Figura 3.2 exemplifica a inter-relação entre os temas e o foco do estudo.

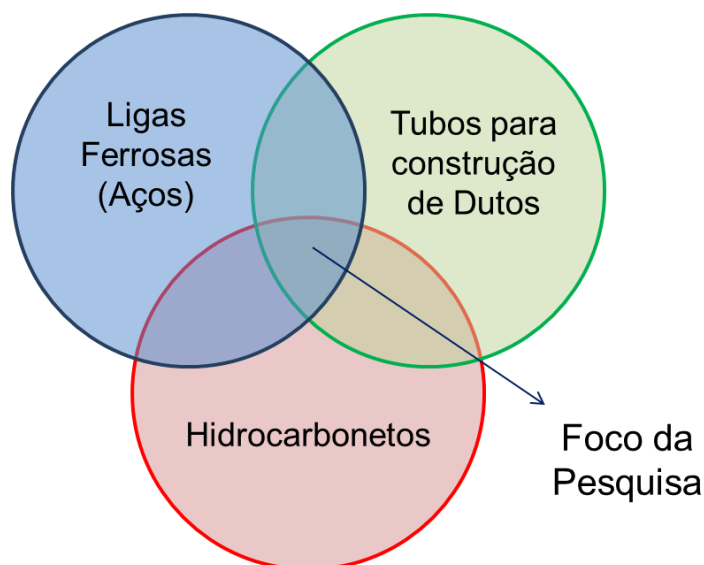


Figura 3.2 Relação entre os principais temas de pesquisa e o foco do estudo: Dutos de aço para transporte de hidrocarbonetos. Elaborado pelo autor.

3.2 Busca e Coleta de registros dos documentos de patentes

A expressão de busca foi realizada através da combinação de palavras-chave relacionadas ao tema e códigos da Classificação Internacional de Patentes (CIP) (versão 2016.1) estabelecida pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI) [63]. As palavras-chave foram selecionadas de acordo com a literatura específica, em artigos científicos, técnicos, documentos de patentes, notícias, etc., bem como através de consulta a especialistas no tema. Os códigos da CIP foram buscados de acordo com as ferramentas de busca disponíveis pela OMPI e utilizados nos níveis de classe, subclasse, grupos e subgrupos que envolviam o foco do trabalho.

A base de dados escolhida para a busca foi a *Derwent Innovations Index* (DII) [64] disponível através do portal de periódicos da CAPES [65]. A escolha se justifica por ser uma base internacional e conter registros de mais de 40 escritórios de patentes no mundo, inclusive os considerados mais importantes como o escritório estadunidense, europeu, japonês, chinês, além do brasileiro. Além disso, a base disponibiliza uma classificação de patentes própria, que pode ser utilizada nas buscas, bem como informações em inglês de documentos redigidos originalmente em outro idioma. Como complemento, também oferece o serviço de re-escrita de título, resumo e outros campos dos documentos de patentes, no idioma inglês, que facilita uma análise prévia da eficiência da busca realizada [64]. Alguns países grandes produtores de tubos sem costura, mas não signatários do Tratado de Cooperação de Patentes (PCT, na sigla em inglês), como a Argentina, não estão contemplados na busca para documentos depositados apenas em seu território. Entretanto, caso tenham estendido a proteção para os territórios cobertos pela base, o registro é encontrado.

A Tabela 3.1 apresenta a expressão de busca final realizada na pesquisa e utilizada para a construção dos indicadores apresentados.

Tabela 3.1 Expressão de busca final utilizada nesta pesquisa.

Etapa:	Busca:	Resultados:	OBS:
#1	IP = C22-038*	77.955	CIP referente a composições químicas de aços
#2	TS = pipe* OR tube* OR duct* OR linepipe* OR (line pipe) OR (pipe line)	>100.000 ³	
#3	IP = F16L-009/02 OR F16L-009/04 OR F16L-009/06	3.727	CIP referente a tubos rígidos metálicos
#4	TS = oil* OR (natural gas) OR hydrocarbon*	>100.000	
#5	#2 or #3	>100.000	
#6	#1 AND #4 AND #5	1.925	

O operador de truncamento “*” é utilizado quando se deseja buscar termos complementares aos já citados. Por exemplo, a expressão “pipe*” recupera termos como “pipe”, “pipes”, “pipeline”, etc. Os operadores booleanos “OR” e “AND” representam, respectivamente, os operadores lógicos de agrupamento para união e interseção de conjuntos. A busca foi realizada no dia 15/04/2016.

As demais principais expressões e termos de busca utilizados ao longo do desenvolvimento da expressão final estão presentes no Apêndice A. O termo “steel” referente mais comum para o material aço não foi utilizada pois sua colocação acarretou em um aumento abrupto no número de resultados da pesquisa, entretanto fora do escopo desejado.

O período da busca foi estabelecido como “Todos os anos” e foram recuperados registros com data de prioridade entre 1971 e 2015. Após os processos de limpeza de dados, foram obtidos 1720 registros de documentos

³ A base *Derwent Innovations Index* não apresenta o número real de resultados em buscas que ultrapassam o número de 100.000 registros.

de patentes. Os resíduos identificados, em sua maioria, se relacionam com materiais para tanques de combustível de automóveis e aeronaves, pequenos tubos de alimentação de motores, outros produtos tubulares utilizados na indústria petrolífera e composições químicas de eletrodos de solda utilizados, inclusive, em fabricação de tubos.

Após a expressão de busca definida e realizada na base, os registros bibliográficos das patentes foram coletados e armazenados em um computador pessoal para seu tratamento. Em primeira etapa, os dados foram submetidos ao *Earliest Priority Selector* (EPS) [66] com o objetivo de buscar pela data e país do primeiro depósito, que representa a época mais próxima ao real desenvolvimento da tecnologia patenteada, conforme recomendação do Manual de Estatística em Patentes da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OECD [67]. O novo arquivo gerado pelo EPS foi utilizado, então, para alimentar o software VantagePoint versão 5.0 [68], para a realização da contagem bibliométrica dos dados contidos nos registros de documentos de patentes através de um filtro elaborado especificamente para informações de registros recuperados a partir base *Derwent Innovations Index*.

3.3 Construção de Indicadores

Com o auxílio do VantagePoint os dados foram processados, o que permitiu a criação de listas e matrizes de dados referentes a campos específicos dos registros de documentos de patentes. A partir destas listas, matrizes e suas combinações, foram elaborados indicadores na forma de gráficos e tabelas de acordo com o tema de interesse com o auxílio do software Microsoft Excel 2016.

As palavras, expressões ou dados semelhantes dentro de uma mesma lista foram agrupados quando julgados parte de um mesmo grupo de interesse, denominados *thesauros*. Como exemplo, os termos “SSC” e “*Sulfide Stress Cracking*” se relacionam ao mesmo assunto e os registros que tratam deste tema podem ser tratados em um mesmo grupo de interesse. Essa

padronização dos dados torna os indicadores construídos mais representativos à realidade, bem como auxilia o processo de limpeza de registros de documentos que, embora recuperados com a expressão de busca elaborada, não representem o foco da pesquisa. Os *thesauros* elaborados neste trabalho estão apresentados no Apêndice B.

3.3.1 Evolução temporal e ciclo de vida da tecnologia

De maneira a avaliar a tendência do número de depósitos de patentes em aços para dutos utilizados em transporte de hidrocarbonetos foi gerada a lista “Ano de prioridade”. O número de registros foi dividido em períodos de quatro anos, e compreende 1688 dos 1720 documentos de patentes encontrados pela estratégia de busca com data de prioridade entre os anos de 1971 e 2014. O período de análise deste indicador foi limitado até o ano de 2014 visto que, após esse ano, possivelmente existem documentos ainda não publicados em fase de sigilo [68] ou ainda não indexados à base [69].

Foi elaborado um gráfico com o número de registros de pedidos de patentes por quadriênios. Para a avaliação do ciclo de vida da tecnologia proposto por Moguee [61], foram analisados apenas os documentos referentes a empresas. Para tal, criou-se uma lista separada de registros com titulares sem a presença de pessoas físicas e institutos de pesquisas públicos. Para a construção deste, e dos demais indicadores referentes aos objetivos técnicos do trabalho, foram utilizados dados dos documentos com data de prioridade entre os anos de 1995 e 2014, para que se possa ter uma análise focada em tecnologias mais recentes e justificado pelo fato que o tempo de duração da proteção intelectual através de patentes é de 20 anos, no Brasil e na maioria dos países [68].

3.3.2 Análise geográfica dos titulares e regiões de depósito de patentes

Para a identificação dos principais países em número de depósitos, foi gerada a lista “Países de prioridade” e realizada a contagem decrescente do número de documentos de patentes com origem em cada país. Analogamente, foi gerada a lista “Países em que a patente foi depositada” com o objetivo de avaliar os países e regiões em que foi requerida a proteção das invenções.

A lista “Países de Prioridade” alimentou uma matriz em conjunto com a lista “Ano de prioridade” para a verificação da dinâmica de evolução temporal de patenteamento dos principais países responsáveis pelo desenvolvimento de invenções em aços para dutos utilizados em transporte de hidrocarbonetos. Por fim, ambas as listas “Países de Prioridade” e “Países em que a patente foi depositada” Alimentam uma matriz que permitiu verificar a distribuição dos pedidos de patentes de um país de origem além de seu território.

A partir da lista “Países onde a patente foi depositada” foi criado um arquivo do Software *VantagePoint* contendo registros de patentes triádicas, isto é, dos documentos com depósitos nos 3 escritórios de patentes mais importantes do mundo que são os dos Estados Unidos da América, do Japão e o Escritório Europeu de Patentes. Um procedimento semelhante foi adotado também para análise das patentes tetrádicas, ou seja, as patentes triádicas que também tiveram seu pedido de proteção estendido para o escritório de patentes da China.

3.3.3 Identificação dos Principais Desafios Tecnológicos

Os campos “Uso” e “Vantagem” e “Uso/Vantagem⁴” dos registros dos documentos recuperados escrevem a aplicação e o potencial de melhoria a que se propõe a invenção proposta pelos titulares dos documentos de patentes. Nestes campos, foi aplicado um processamento de linguagem natural

⁴ Este campo é referente aos registros indexados à base em anos anteriores à separação entre “Uso” e “Vantagem”

(NLP, na sigla em inglês). Este procedimento realiza a separação de palavras e expressões e posteriormente a contagem de cada um dos termos utilizados nos campos de interesse para todos os registros selecionados. A partir desta separação, foi possível agrupar palavras e expressões de um mesmo assunto e atualizar a contagem para o estabelecimento de uma lista com os principais temas a que se propõem as invenções protegidas na forma de documentos de patentes. O *thesaurus* elaborado para a classificação se encontra no Apêndice B.

3.3.4 Elementos de Liga e Processos de Interesse

Através das listas que identificam os códigos CIP em que foram classificados os documentos de patentes, foram geradas listas com a contagem do número de registros em cada classificação, até o nível de subgrupos.

Para a classificação dos elementos de liga principais, foram separados os subgrupos (9 dígitos) do grupo (7 dígitos) C22C-038, já mencionado, que se refere a ligas de ferro-carbono, com exceção dos ferros-fundidos. Adicionalmente, foi realizado um outro agrupamento para as classes de ligas ferrosas em geral, ligas ferro-cromo e ligas ferro-cromo-níquel.

Para a classificação dos processos de produção, foram selecionados 5 grandes grupos da cadeia de produção de aço e produtos tubulares através dos códigos referentes a subclasse (4 dígitos): Redução, Aciaria, Conformação e Tratamento Térmico, e soldagem. Por fim, cada grupo de registros foi analisado separadamente em novos arquivos do software *VantagePoint* e agrupados de acordo com setores específicos dentro de cada processo para a realização da contagem de registros referente a cada tema.

A tabela com os subgrupos da grupo C22C-038 estão colocados no Anexo A, enquanto os *thesaurus* elaborados para as classificações de elementos de liga e processos estão presentes no Apêndice B.

3.4 Análise dos indicadores

Os indicadores construídos, e seus dados apresentados, foram comparados com informações presentes em diferentes fontes com o objetivo de confirmar tendências, validar números ou refutar conclusões aparentes. Para essa análise, foram utilizadas as seguintes fontes de informações:

- Livros e artigos científicos;
- Documentos de patentes;
- Notícias de periódicos impressos e eletrônicos;
- Relatórios de agências governamentais e empresas;
- Catálogos de produtos de fornecedores;
- Relatórios de desempenho de fabricantes;
- Consulta a especialistas do setor.

O foco principal das análises foi referente ao desenvolvimento de tecnologias no âmbito composição química dos aços e sua relação com o processamento e microestrutura com o objetivo de analisar os diferentes meios que visam atingir as propriedades mecânicas e funcionais requeridas para a aplicação em dutos para o transporte de hidrocarbonetos. Dessa maneira, procurou-se evidenciar a importância dos conhecimentos da ciência e engenharia de materiais para inovação neste setor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Evolução temporal e ciclo de vida da tecnologia

A Figura 4.1 apresenta o número de documentos de patentes com pedido de prioridade, ou seja, o ano do primeiro depósito da patente, entre os anos de 1971 e 2014, divididos em períodos de quatro anos.

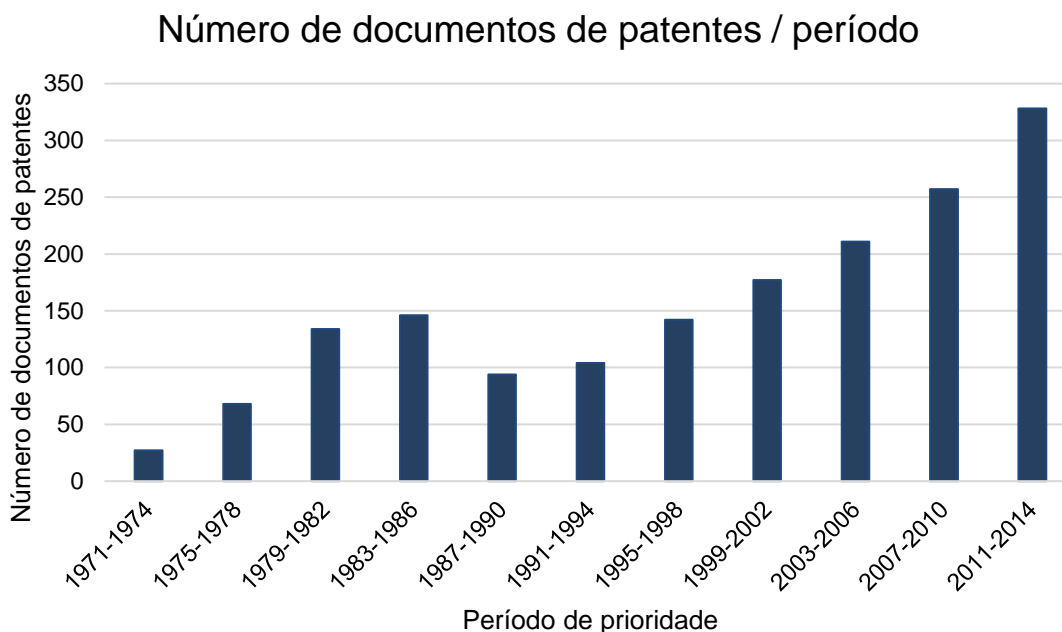


Figura 4.1 Evolução temporal do número de pedidos de patentes por período de prioridade entre os anos de 1971 a 2014. Elaborado pelo autor.

Observa-se 3 comportamentos de destaque. O primeiro compreende o crescimento do número de pedidos de patentes, entre os períodos de 1971-1974 e 1983-1986, sendo esse último já com evidências de uma diminuição desta taxa de crescimento. O segundo destaque se refere ao período entre 1983-1986 e os anos de 1987-1990 em que houve uma redução de 35% no número de depósitos. O terceiro destaque compreende o retorno do crescimento de tendência linear a partir do quadriênio 1991-1994 até 2011-2014 que corresponde ao último período estudado.

Pelo número total de registros encontrados, esperava-se que a tecnologia em ligas ferrosas com aplicação na indústria petrolífera fosse

considerada uma área madura em termos de desenvolvimento, com tendência a uma recente estabilização ou decrescimento do número de depósitos. Entretanto, nota-se que a proteção da propriedade intelectual destes materiais, através do mecanismo de patentes, continua como um instrumento considerado importante por diversas empresas que investem em pesquisa e desenvolvimento de materiais e processos.

O formato da Figura 4.1 é semelhante ao do modelo proposto por Ernst [60] já apresentado na Figura 2.14. O comportamento de “vale” entre os períodos de 1983-1986 e 1995-1998 pode representar um período de consolidação de tecnologias pelo mercado, bem como um período de grande mudança nas normas e legislações vigentes. Este período também coincide com a tendência de rápido desenvolvimento dos aços API [48] apresentado na Figura 2.12, principalmente através dos processos termomecânicos. Nota-se, entretanto, que apesar do rápido desenvolvimento de composições químicas de aços que oferecem a possibilidade de resistências mecânicas cada vez mais altas, os graus API X100 e X120 ainda não foram utilizados comercialmente [27,70], o que evidencia ainda presença de muitos desafios nesta fronteira de desenvolvimento.

A avaliação do ciclo de vida da tecnologia modelo proposto por Moguee [61] é apresentado na Figura 4.2 e contém dados de depósito de documentos e de empresas tecnologicamente ativas entre os anos de 1995 e 2014 divididos em períodos de quatro anos.

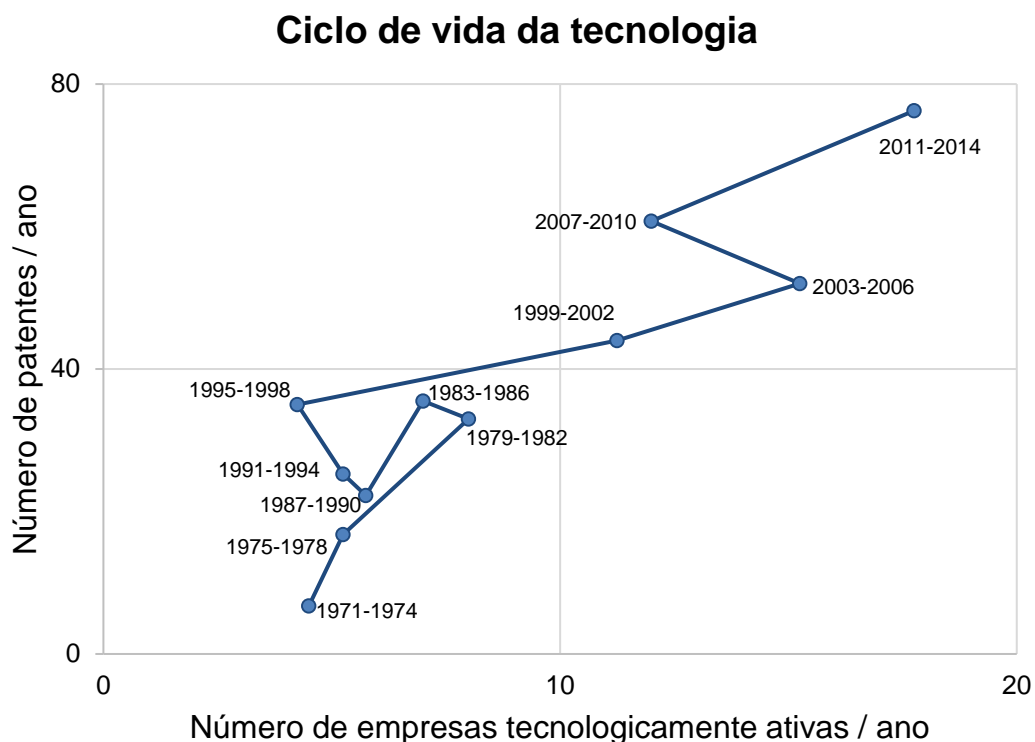


Figura 4.2 Ciclo de vida da tecnologia a partir do modelo proposto por Moguee [61] entre os períodos de 1971-1974 e 2011-2014. Elaborado pelo autor.

Observa-se que a tendência geral do período avaliado é do crescimento tanto do número de empresas tecnologicamente ativas quanto do número de depósitos de patentes realizado pelas mesmas. Quando comparado com a Figura 2.15, nota-se que o estágio atual da tecnologia apresenta um comportamento que tende a alta concorrência entre empresas e ao aumento do número de soluções propostas para os desafios técnicos do setor. Tanto a Figura 4.1 quanto a Figura 4.2 contribuem para evidenciar um estado emergente e com tendência ao crescimento no patenteamento de invenções relacionadas aos aços utilizados em dutos para transporte de hidrocarbonetos.

4.2 Análise geográfica dos titulares e regiões de depósito de patentes

A análise geográfica dos pedidos de patentes em ligas ferrosas com aplicação em dutos para a indústria petrolífera permitiu verificar os países ou regiões em que os pedidos foram depositados entre os anos de 1971 e 2014.

A Tabela 4.1 apresenta os sete países com maior número em origem de documentos de patentes (primeira coluna) e a distribuição de seus pedidos em territórios/regiões por meio da extensão do depósito em outros escritórios de propriedade industrial (linhas). O número entre parênteses, na primeira coluna, representa o número de documentos com inventores residentes daquele país, enquanto o da primeira linha se refere ao número total de depósitos no país/região citado.

Tabela 4.1 Países e regiões de origem e de depósito das patentes relacionadas a aços com aplicação em dutos para transporte de hidrocarbonetos entre os anos de 1971 e 2014.

		País onde a patente foi depositada (Total)									
		Japão (1213)	China (498)	EUA (328)	EP (278)	RU /URSS (162)	KR (152)	DE (136)	FR (50)	TRIAD (216)	TETRAD (165)
País de Origem da Patente (Total)	Japão (1134)	97,8%	15,0%	17,4%	16,3%	4,0%	6,8%	5,6%	1,8%	14,3%	11,6%
	China (269)	0,0%	100,0%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Rússia / URSS (102)	1,0%	2,9%	0,0%	2,0%	99,0%	1,0%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Estados Unidos (79)	64,6%	36,7%	88,6%	51,9%	13,9%	25,3%	27,8%	7,6%	36,7%	24,1%
	Coréia do Sul (42)	7,1%	7,1%	9,5%	4,8%	2,4%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Alemanha (28)	60,7%	17,9%	42,9%	28,6%	3,6%	10,7%	92,9%	25,0%	25,0%	7,1%
	França (12)	50,0%	41,7%	66,7%	50,0%	8,3%	8,3%	41,7%	91,7%	25,0%	25,0%

EUA: Estados Unidos da América; EP: Europa (Escritório Europeu de Patentes); RU: Rússia; KR: Coréia do Sul; DE: Alemanha; FR: França TRIAD: Patentes triádicas; TETRAD: Patentes tetrádicas.

Os países com maior número em origem dos documentos de patentes são, em sua maioria, também os maiores produtores mundiais de aço [44]. Um comportamento semelhante também é observado entre os países onde a patente foi depositada e os maiores consumidores deste material. Não foi possível estabelecer uma relação direta entre os dados de desenvolvimento de

tecnologias em aços para dutos e os principais produtores e consumidores mundiais de petróleo e gás natural.

Os dados da Tabela também evidenciam o interesse da proteção territorial da tecnologia em mercados estratégicos para os titulares. O Japão se apresentou como o país tanto com o maior número de documentos originados quanto em número de depósitos em seu escritório de patentes. Também é o país que apresenta o maior número de documentos de patentes triádicas e tetrádicas, o que evidencia seu interesse de proteção de tecnologias desenvolvidas em outros países.

Entretanto, em termos de percentual de documentos referentes a invenções desenvolvidas no próprio território e com pedido de patente estendido aos principais mercados do mundo, os Estados Unidos da América e os países europeus possuem maior destaque. Mesmo com um menor número de documentos, possuem uma maior parcela de patentes triádicas e tetrádicas quando comparado ao índice dos japoneses.

Em relação a este comportamento, 2 aspectos podem ser colocados para sua justificativa. O primeiro, corresponde a um fator cultural relativo a patenteamento em diversos países, sendo o Japão considerado um país muito ativo no patenteamento em vários setores. O segundo fator é relacionado ao custo do patenteamento em diversas regiões. Para a garantia da proteção em cada país, deve-se arcar com taxas para o depósito e a manutenção da patente naquele território, durante todo o tempo de sua vigência. Dessa maneira, trata-se de um custo significativo para os titulares, que justifica-se apenas quando a tecnologia desenvolvida possui alto potencial de retorno econômico naquele país ou região.

A partir do ano de 2001, com sua entrada na Organização Mundial do Comércio, a China iniciou uma rápida expansão do número de patentes por parte de suas universidades e empresas. Na presente pesquisa, o crescimento a partir do ano de 2001 a 2014 possui tendência exponencial até atingir o total de 269 registros em invenções relacionadas à composição química de aços utilizados em dutos para transporte de hidrocarbonetos e se tornar o segundo país em número de documentos mesmo dentro escopo temporal completo

deste trabalho. Este comportamento é semelhante ao apresentado por um relatório recente da ThomsomReuters que aponta, para os últimos 5 anos, três empresas chinesas líderes no ranking de depósitos de patentes no setor de petróleo e gás natural em geral [18].

Por outro lado, a China apresenta apenas três documentos com extensão de depósito fora de seu território, o que aparenta o interesse da proteção comercial dos materiais e processos foco deste estudo apenas em seu país. Apesar disso, apresenta a maior parte dos pedidos de patentes em seu escritório de propriedade industrial feito por residentes, o que o caracteriza como um país detentor de tecnologia nestes tipos de materiais, assim como o Japão e os Estados Unidos. O Brasil, com um baixo número de patentes originadas por residentes comparado aos não-residentes, pode ser considerado como um país importador de tecnologia nesta área, mesmo com um grande potencial para aplicação de dutos para transporte de hidrocarbonetos devido sua extensão territorial e suas recentes descobertas na camada pré-sal.

4.3 Evolução da composição química

A classificação dos elementos de liga através dos códigos CIP permitiu cobrir 95% do total de registros recuperados pela expressão de busca e analisados neste trabalho. Entretanto, pode haver outros elementos ainda não contemplados por um grupo específico da classificação, citados apenas no campo de reivindicações dos documentos de patente. Esta trata-se de uma limitação do método utilizado, sendo necessário continuar o desenvolvimento de mineração de textos a partir do texto integral dos documentos de patentes, como o desenvolvido por Milanez [69] para documentos presentes no Escritório Estadunidense de Patentes e Marcas (USPTO, na sigla em inglês). A partir dessa metodologia, também é esperada a possibilidade da avaliação das faixas de concentração em peso dos elementos citados, solicitada pelos inventores,

Um mesmo documento pode ser classificado em vários códigos CIP distintos, de acordo com o julgamento do avaliador de patentes no escritório em que foi realizado o depósito. A Figura 4.3 apresenta os resultados dos subgrupos com maior número de documentos classificados por elemento de liga, de acordo com os códigos de subgrupos (9-dígitos) da Classificação Internacional de Patentes (CIP), entre os anos de 1971 e 2014 em períodos de quatro anos. A tabela completa com as demais classificações e o número de registros encontrados se apresenta no Apêndice C.

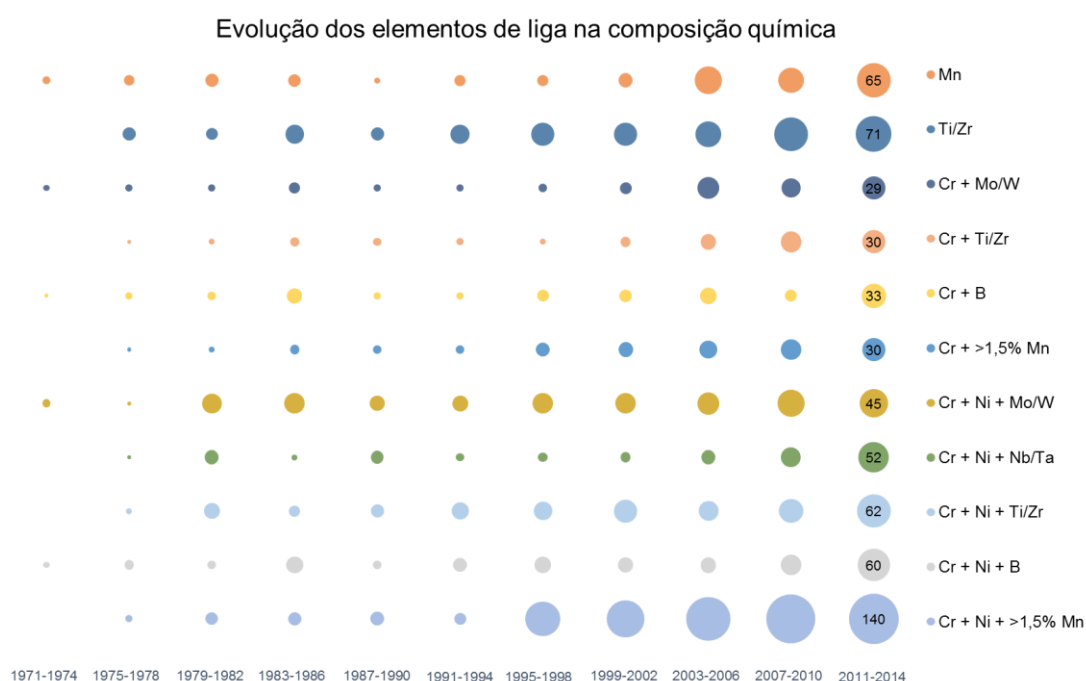


Figura 4.3 Evolução temporal da utilização dos principais elementos de liga de acordo com a Classificação Internacional de patentes no período entre 1971-1974 e 2011-2014. Elaborado pelo autor.

Em destaque, com participação acima de 10% do total de documentos recuperados, se apresentam as ligas com adição de Manganês (principalmente em teores acima de 1,5%), Titânio ou Zircônio, além dos materiais com adição de Cromo e Níquel como principais elementos de liga, que concentraram o maior volume de documentos classificados. Nos primeiros, geralmente busca-se melhoria das propriedades mecânicas no produto final, através da alteração da microestrutura ou por facilitar processos de solfagem, Tratamentos térmicos

ou termomecânicos [71]. Já no segundo caso, a adição dos elementos pode estar relacionada à proteção anti-corrosiva do material, de acordo com a necessidade requerida em sua aplicação [72]. A relação entre os desafios tecnológicos e a composição química será discutida em maior nível de detalhamento na seção 4.5.

Através deste tipo de indicador foi possível avaliar a dinâmica de desenvolvimento das composições químicas no período estudado. Nota-se que a classificação correspondente a ligas com adição de Cromo, Níquel e Manganês com teor acima de 1,5% em peso apresentava um crescimento tímido até o período de 1991-1994 quando, em um quadriênio apresentou um crescimento superior a 8 vezes o período anterior. Por outro lado, nota-se alternativas de composições químicas que diminuíram sua representação em termos percentuais ao longo do tempo, ou seja, o crescimento do patenteamento referente aquela CIP foi menor que o crescimento do depósito de patentes do setor entre os períodos avaliados.

4.4 Processos de Interesse

A análise com foco em tecnologia dos processos de produção e beneficiamento dos produtos permitiu classificar 71% dos registros através das CIPs. Este foi considerado um bom percentual visto a busca ter sido focada nas composições químicas dos aços. Notavelmente, várias ligas são desenvolvidas para que, em conjunto com o processamento, atinjam a microestrutura final objetivada para o aço afim de desenvolver suas propriedades requeridas. Ligas específicas também podem ser desenvolvidas de acordo com a capacidade produtiva de cada fabricante, ou seja, desenvolvidas para um melhor controle de temperaturas críticas como a de austenitização no processo termomecânico e de mudanças de fase nos tratamentos térmicos.

O resultado desse processo de categorização se encontra na Tabela 4.2. Neste caso, apresentam-se divididos, por características, o número de

documentos de patentes em que também constaram, no campo referente à sua classificação, grupos ou sub-grupos da CIP relacionados a processos de transformação de materiais durante os anos de 1995 e 2014.

Tabela 4.2 Distribuição do número de documentos de patentes por setor da produção e beneficiamento de aços de acordo com códigos da Classificação Internacional de Patentes para o período entre os anos de 1995 e 2014. Elaborado pelo autor.

Produção / Beneficiamento de Aços	Etapa (total de documentos)	Processo	Número de Documentos
	Redução (3)	Redução do Ferro	3
	Aciaria (79)	Fusão	10
		Refino	41
		Lingotamento	36
	Conformação (302)	Laminação	219
		Forja	4
		Estiramento	20
		Dobramento	16
		Endireitamento	7
		Expansão	5
	Conformação +Tratamento Térmico (569)	Produtos planos	320
		Produtos tubulares	303
	Tratamento Térmico (414)	Dispositivos/Controle	45
		Planos	51
		Tubulares	278
		Soldas	66
		Têmpera	75
		Recozimento	16
		Endurecimento Superficial	4
Endurecimento por Precipitação		5	
Soldagem (205)	Processos	178	
	Materiais	108	
	Dispositivos/Controle	54	

O foco das tecnologias se apresenta bem distribuído entre produtos primários planos e sem costura, bem como concentrados nos processos de conformação mecânica e de tratamentos térmicos, e na classificação intermediária Conformação + Tratamento Térmico. A laminação apresenta destaque por ser um processo fundamental tanto no beneficiamento de produtos tubulares a partir de lingotes cilíndricos quanto na produção de aços planos, que após processos de conformação e soldagem darão forma aos tubos.

As tecnologias relacionadas a refino dos aços são muito importantes pois tendem a evitar a presença de impurezas, considerados elementos indesejáveis na composição do aço, como enxofre, alumínio, fósforo, entre outros. Os desenvolvimentos recentes nessa área permitiram um maior sucesso no desenvolvimento de materiais mais tenazes por uma diminuição na quantidade e no controle da forma de inclusões não metálicas [27].

Entre as tecnologias referentes aos tratamentos térmicos, àquelas relacionadas à sua realização nos produtos já em formato tubular foram destaque, ou seja, na fabricação de tubos sem costuras. Este fato está relacionado à limitação de força nos limitadores a exercer tensões necessárias à deformação da austenita, mecanismo fundamental aos processos termomecânicos. Neste caso, geralmente opta-se por partir de um material com composição química que lhe permite ser conformado, mas também possibilita a realização de um tratamento térmico que atinja a microestrutura desejada e otimize as propriedades finais do produto [73].

Entretanto, os processos termomecânicos aplicados a produtos planos são os grandes responsáveis pelo desenvolvimento de aços cada vez mais resistentes. A própria norma API 5L [22], como observado na Tabela 2.2 apenas prevê atingir os graus X100 e X120 através deste processo. No entanto, para que seja possível realizar o balanceamento correto entre tempos, temperaturas e deformações aplicadas, é necessário o desenvolvimento de composições químicas que permitam o controle dos mecanismos de encruamento e de recuperação. Dessa maneira, observa-se que o desenvolvimento de processos de produção e beneficiamento são tão

importantes quanto o desenvolvimento de composições químicas para a solução de desafios tecnológicos em aços utilizados em dutos para transporte de hidrocarbonetos.

4.5 Desafios Tecnológicos e Soluções Propostas

Após o agrupamento de termos em comum dentro dos textos contidos no campo dos registros que apontam o desafio tecnológico a que se propõe a solução ou melhoria através do pedido de patente, a Figura 4.4 apresenta os mais citados, em percentual relativo ao número total de documentos analisados. Foi possível categorizar 80% dos registros através do *thesaurus* elaborado para os documentos no período entre os anos de 1995 e 2014.

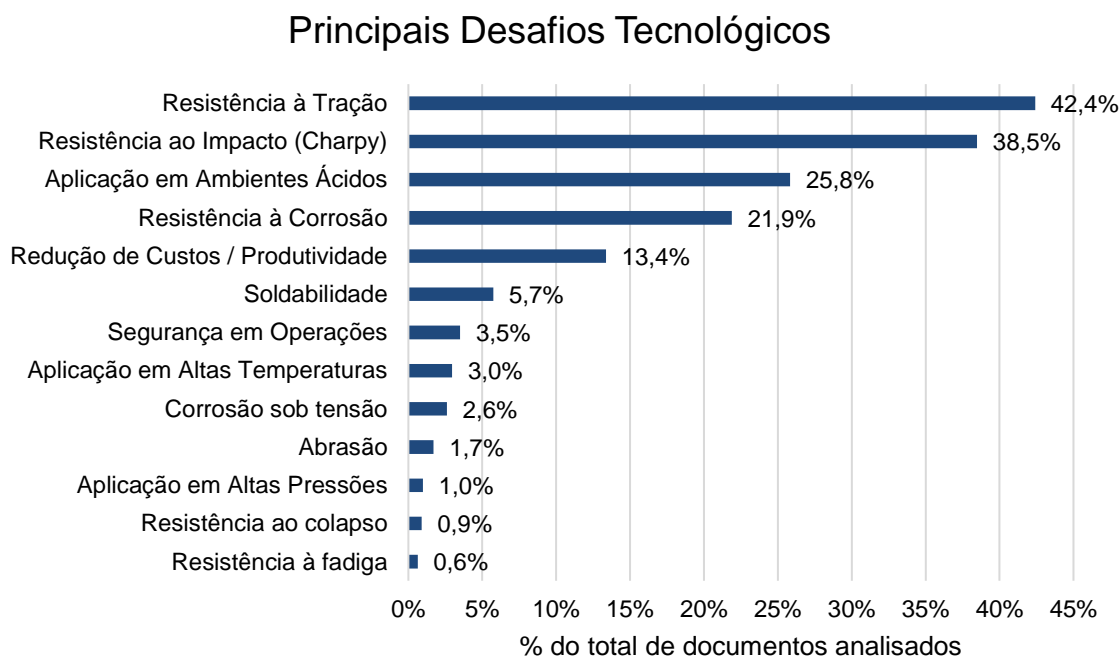


Figura 4.4 Desafios tecnológicos citados nos documentos de patentes para aços utilizados em dutos para transporte de hidrocarbonetos. Elaborado pelo autor.

As propriedades mecânicas de resistência à tração e ao impacto figuraram como as mais citadas no cenário de desenvolvimento e melhorias nos aços com aplicação em tubos na indústria petrolífera, seguidas das propriedades funcionais de aplicação em ambientes ácidos (*Sour Service*) e de resistência à corrosão. Também se nota a presença de quesitos operacionais como redução de custos e segurança, justificados por ser um setor de alto investimento e periculosidade. Obviamente, essas propriedades são buscadas através de melhorias na composição química e nos processos de produção, já citados, e representam os principais desafios técnicos impostos aos produtos tubulares em sua vasta gama de atuação.

O aumento do limite de escoamento dos aços permite a aplicação de tubos com menor espessura, com ganhos em peso dos produtos e economia de aço ou pode permitir que um tubo de mesma espessura possua uma capacidade maior de transporte através de uma maior resistência à pressão interna [26]. A resistência ao impacto pode ser entendida como o aumento da energia absorvida no ensaio Charpy, ou na diminuição da temperatura de transição frágil-dútil do aço. Neste caso, permite-se a aplicação desses materiais em dutos que cruzam regiões de temperaturas extremamente baixas [74]. Já o foco em resistência à corrosão e ambientes ácidos se justifica por representarem o maior volume financeiro em perdas e manutenção de tubos no segmento petrolífero [2], além de também permitir a aplicação destes produtos em reservatórios com características mais agressivas ao material.

De forma a avaliar como a composição química dos aços estão sendo desenvolvidas para auxiliar a solução dos desafios tecnológicos, foram avaliados os principais elementos de liga de acordo com os três principais desafios tecnológicos encontrados e representados na Figura 4.4.

A Figura 4.5 apresenta a evolução da participação, por período, dos principais elementos de liga referentes aos registros que visam aumentar a resistência à tração dos aços para aplicação em dutos.

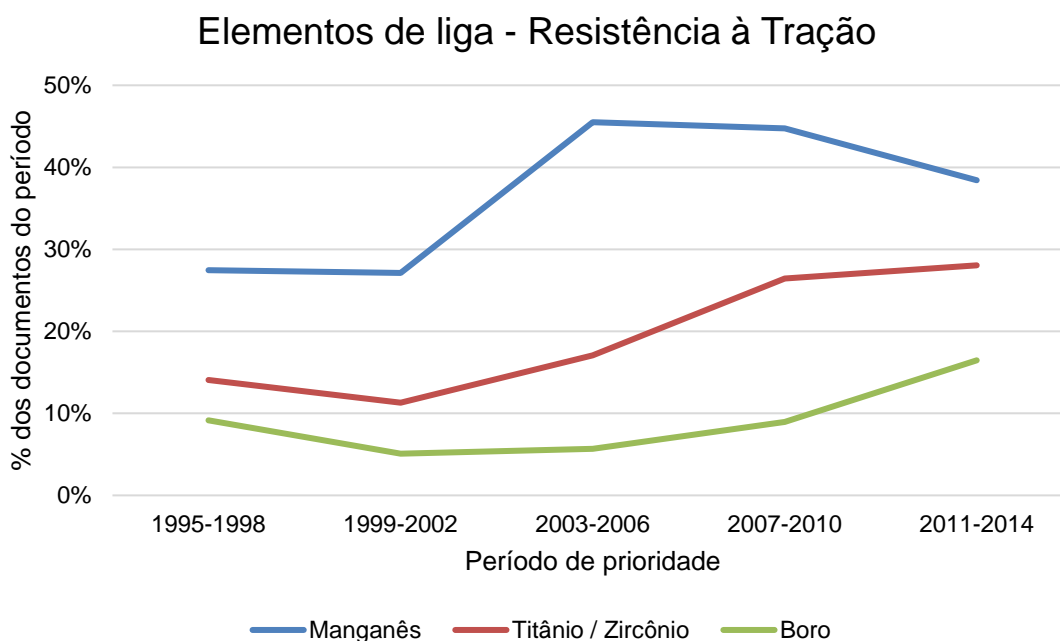


Figura 4.5 Evolução da participação percentual dos elementos de liga, por período, referente ao desafio tecnológico de resistência à tração. Elaborado pelo autor.

As ligas contendo manganês apresentaram representação expressiva no desenvolvimento de tecnologias que visam aumentar a resistência dos aços chegando a se aproximar de 50% dos documentos com data de prioridade entre os anos de 2003 e 2006. O Manganês, além de ser um elemento com um baixo custo relativo, contribui para mecanismos de aumento de resistência mecânica como a melhoria da temperabilidade e endurecimento por solução sólida e refino de grão [27]. Além disso, o Manganês afeta em nível consideravelmente baixo o cálculo de Carbono Equivalente nas faixas de percentual em peso que é aplicado em aços para dutos.

O Titânio/Zircônio, por sua vez, são utilizados como elementos micro ligantes pois tendem a formar nitretos e carbonitretos que possuem baixa solubilidade no aço, o que favorece os processos de endurecimento por precipitação, refino de grão e o controle da temperatura de transformação da austenita, durante os processos termomecânicos.

O Boro, quando presente nos aços, tende a se localizar nas regiões de contornos de grãos e causa um atraso na transformação da austenita [75]. Entretanto, em quantidades elevadas, acima de 80 partes por milhão em peso, tende a formar boretos que prejudicam a ductilidade a quente. Diversos trabalhos têm sido realizados relacionando o teor de boro com a resistência a quente de aços com baixo carbono, visto importância desta propriedade na laminação [76].

Mesmo com uma leve tendência de queda em sua representação percentual a partir dos anos entre 2003 e 2006, os aços ao manganês ainda representam o maior número de documentos de patentes nos últimos 20 anos, representando 38% do total do período mais recentes de 2011-2014. Por outro lado, os aços com Titânio ou Zircônio, bem como com adições de Boro, vêm aumentando linearmente sua participação no número de patentes, em um ritmo superior ao aumento do número total de documentos no mesmo período, o que as torna tecnologias que devem despertar a atenção de fabricantes de aço para construção de dutos para transporte de hidrocarbonetos.

A Figura 4.6 apresenta a evolução temporal dos principais elementos de liga citados nos registros de documentos de patentes relacionados a melhoria da resistência ao impacto.

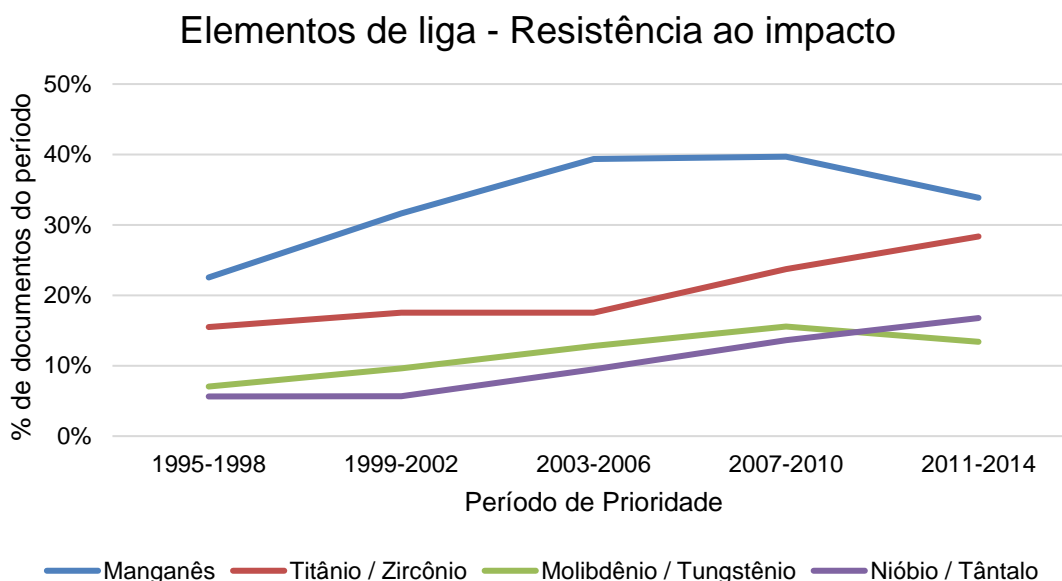


Figura 4.6 Evolução da participação percentual dos elementos de liga, por período, referente ao desafio tecnológico de resistência ao impacto. Elaborado pelo autor.

Nota-se que as curvas referentes ao Manganês e a Titânio / Zircônio possuem formatos semelhantes. Dessa maneira, evidencia-se que boa parte dos documentos de patentes tratam de invenções que visam aumentar a resistência à tração sem perdas consideráveis na tenacidade ao impacto do material, ou que visam aumentar os valores de energia absorvida nos ensaios de Charpy, sem prejudicar consideravelmente os limites de escoamento e resistência dos materiais.

Enquanto uma boa tensão de escoamento pode ser obtida pela presença de elementos em solução sólida, precipitação de carbonitretos e a redução do tamanho de grão [77], a resistência ao impacto tende a ser favorecida apenas com a diminuição do tamanho de grão [27]. Dessa maneira, combinar elementos que favoreçam a presença de uma microestrutura final de grãos refinados é fundamental para aliar bons resultados para as duas propriedades.

Molibdênio e Nióbio também são elementos microligantes com efeitos semelhantes ao Titânio, entretanto o Molibdênio atua como elemento substitucional na rede da ferrita em aços planos. Em produtos sem costura, é responsável pelo endurecimento secundário durante o revenimento. O Nióbio,

por sua vez, é o elemento mais efetivo no aumento da temperatura mínima para a recristalização completa em menores quantidades em peso [78]. Esse fator é importante pois possibilita que as operações de acabamento ocorram em temperaturas elevadas, o que reduz as cargas de laminação além de permitir maiores deformações na austenita sem que ela recristalize [27]. Dessa forma, os aços contendo nióbio têm se destacado comercialmente e, como apontam os indicadores a partir dos documentos de patentes, continuam com atual crescente tendência de desenvolvimento.

A Figura 4.7 apresenta a evolução da participação, por período, dos principais elementos de liga referentes aos registros que visam aumentar possibilitar que dutos de aço possam atuar no transporte de fluidos contendo sulfetos e tendência à fragilização por ambientes ácidos.

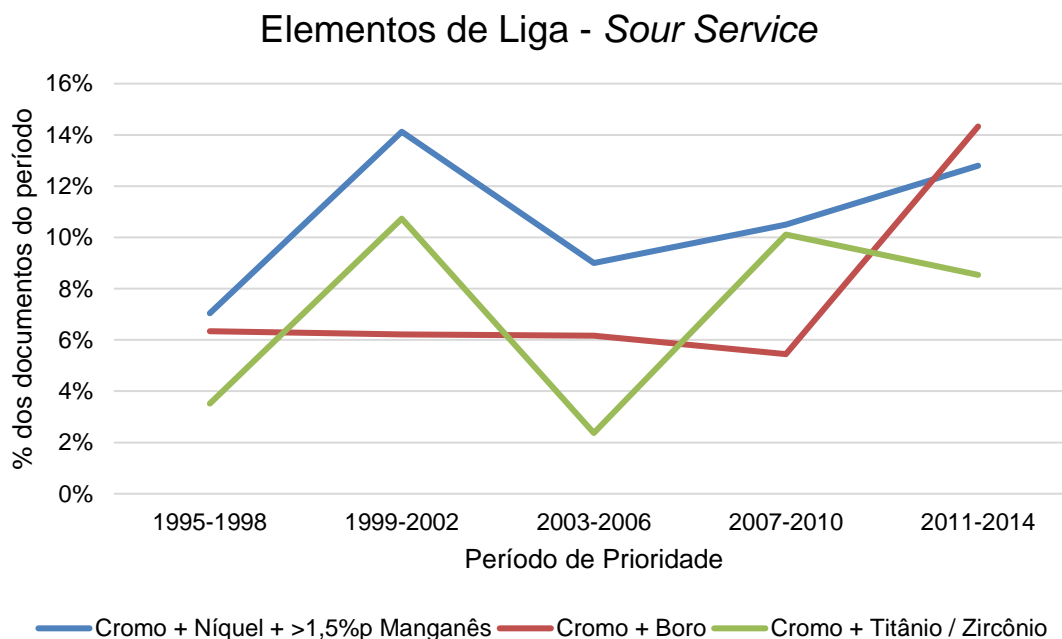


Figura 4.7 Evolução da participação percentual dos elementos de liga, por período, referente ao desafio tecnológico de aplicação *Sour Service*. Elaborado pelo autor.

Obtiveram destaque as ligas com a presença de Cromo, que também se trata de um elemento de liga em solução sólida na austenita. Ao mesmo tempo, possui um efeito de estabilizar a ferrita e retardar a transformação da austenita [27], sendo, portanto, fundamental para o controle das temperaturas de

transformação nos processos termomecânicos. Além disso, a adição de Cromo nos aços, mesmo em teores bem abaixo de sua classificação como inoxidáveis, contribui significativamente para sua resistência à corrosão [79]. Dessa maneira, ambientes com níveis de potencial de corrosão intermediários entre a necessidade do uso dos aços carbono e aços inox, podem permitir a aplicação dos aços ao cromo, com menor custo quando comparado aos inoxidáveis.

Nota-se que mesmo os principais elementos de liga relacionados à aplicações *Sour Service* não obtiveram destaque superior a 20% em relação ao total de registros avaliados de cada período. O principal fator que influencia uma boa resposta a ambientes ácidos é a ausência de tensões residuais que está relacionado mais diretamente à qualidade de execução dos processos de produção e beneficiamento do aço e dos produtos tubulares. Provavelmente, em um estudo mais focado no processamento, o número de documentos de patentes relacionados a essa aplicação seria de maior destaque.

Também é possível observar que não existe uma tendência clara de crescimento e decréscimo, com exceção das ligas contendo Cromo e Boro que obtiveram um crescimento do número de depósitos superior a 3 vezes entre os períodos de 2007-2010 e 2011-2014, o que as coloca como de grande interesse em desenvolvimentos recentes. Este comportamento pode ser uma evidência de consolidação ou maturação de composições com Manganês, Titânio / Zircônio, ou mesmo uma escassez da possibilidade de novos depósitos de patentes nessa área, visto os titulares terem realizado a proteção de todas as faixas de teor em peso aplicáveis industrialmente.

Certamente, essas propriedades aqui detalhadas não são esperadas apenas dos tubos na indústria petrolífera, mas também da infinidade de produtos em que os aços são amplamente utilizados. Dessa maneira, a relação fundamental no estudo dos materiais, estrutura-processamento-propriedades, pode ser estendida a vários segmentos de aplicações neste setor, e sua compreensão se torna vital para o sucesso nos desenvolvimentos tecnológicos futuros.

4.6 Evolução do Manganês como elemento de liga

Durante a realização da pesquisa e o processo de construção e análise dos indicadores, o número de documentos de patentes com referência à presença de Manganês tornou-se notável, especialmente nas classificações em que consta sua presença em teores acima de 1,5% em peso. Nos períodos mais recentes avaliados nesta pesquisa, ou seja, entre 1995-1998 e 2011-2014, estes documentos representaram entre 50% e 60% do total de registros. A Figura 4.8 apresenta o número de documentos por período e a taxa de crescimento em seus depósitos.

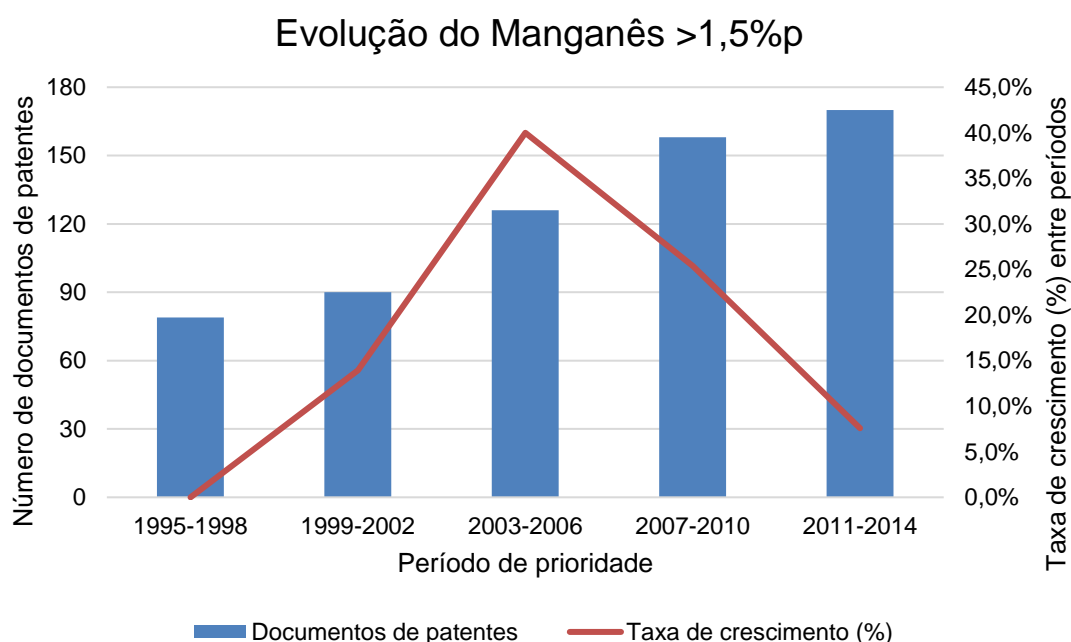


Figura 4.8 Evolução temporal do número de documentos de patentes com Manganês acima de 1,5% em peso entre os períodos de 1995-1998 e 2011-2014.

É possível observar uma taxa de variação sempre positiva e com tendência crescente até o período de 2003 e 2006. Em comparação com os quesitos de composição química presentes na norma API 5L [25] em sua última revisão e apresentados na Tabela 2.2, notou-se também uma tendência no aumento do limite máximo de presença de Manganês na composição química

dos aços de acordo com o aumento do requisito de limite de escoamento mínimo.

Em comparação com as duas revisões anteriores da norma, com datas vigentes a partir dos anos de 2007 e 2004, confirmou-se a mesma tendência. O quadro referente às especificações das composições químicas das normas API 5L *43rd Edition* [80] está apresentada no Anexo B, visto que não houve revisões em termos de composições químicas e suas faixas da 44^a para a 45^a edições. Nota-se que a inclusão dos aços de maior resistência como X100 e X120 ocorreu na edição de 2007 e permite que teores bem acima de 1,5% de Manganês sejam utilizados, desde que também respeitando os valores de carbono equivalente. No entanto, desenvolvimento de ligas com esses teores já apresentavam um número de patenteamento em períodos anteriores inclusive da revisão em 2004, com crescimento de 60% entre 1995-1998 e 2003-2006.

Dessa maneira, este é um indício que os documentos de patentes se antecipam às normas no estabelecimento de tendências para novos desenvolvimentos, ao menos no setor de aços para dutos utilizados em transporte de hidrocarbonetos, mesmo que o manganês seja um elemento de liga considerado comum a qualquer projeto de liga. Em si, a presença de manganês não necessariamente se constitui de um elemento inovador, embora um outro elemento de liga possa exercer essa função em outras ligas desenvolvidas. Através da mineração de textos a partir dos registros da base *Derwent Innovations Index* espera-se, em um futuro próximo, estabelecer mapas de evolução da composição química para outros elementos de liga e, dessa maneira, confirmar essa tendência a partir de outros componentes de liga neste setor.

5 CONCLUSÕES

Através deste estudo foi possível demonstrar a eficácia da prospecção de informações a partir de registros de documentos de patentes como fonte na construção de indicadores tecnológicos que auxiliaram a avaliação do desenvolvimento de aços aplicados em dutos para transporte de hidrocarbonetos. Foi possível realizar uma expressão de busca para recuperação de registros relacionados ao tema que possibilitou a construção de gráficos e tabelas que auxiliaram a avaliação de fatores desde o ciclo de vida da tecnologia até os principais elementos de liga para os desafios tecnológicos do setor.

A tecnologia de aços para aplicação em dutos para transporte de hidrocarbonetos se apresenta em expansão tanto do número de empresas quanto de soluções propostas para seus desafios tecnológicos. O número de documentos de patentes relacionados ao setor se apresenta em crescimento desde o início da década de 1990, o que a caracteriza como uma área muito ativa em termos de pesquisa e desenvolvimento e proteção intelectual de seus inventos.

Os principais desenvolvedores de composições químicas neste setor durante o período avaliado são as empresas japonesas, seguido das chinesas, estadunidenses e europeias. A China apresenta um crescimento de tendência exponencial em seus depósitos desde sua entrada na Organização Mundial do Comércio, entretanto não aparenta ter preocupação com a proteção de suas invenções fora de seu território. Por outro lado, empresas norte-americanas e europeias possuem boa parte de suas patentes protegidas nos principais escritórios de propriedade intelectual do mundo.

As ligas contendo Manganês, Titânio ou Zircônio, Cromo e Boro apresentam maior destaque no desenvolvimento recente para o setor. No âmbito dos processos, as invenções se concentram nos processos termomecânicos para os produtos planos, que envolvem a laminação controlada por recristalização e resfriamento acelerado, enquanto os processos

de conformação seguidos de tratamentos térmicos estão relacionados, em sua maioria, aos produtos sem costura.

Os principais desafios tecnológicos do setor, a partir de informações contidas em documentos de patentes, se encontram na melhoria das propriedades mecânicas de resistência à tração, evidenciada em aumento do limite de escoamento, e na resistência ao impacto, que visam aumento da tenacidade na realização de ensaios Charpy e a diminuição da temperatura de transição frágil-dúctil. A aplicação de aços em ambientes ácidos e com tendência à fragilização por sulfetos se apresentou como o terceiro maior desafio tecnológico do setor e a principal propriedade funcional requerida.

Em relação às propostas para melhoria das propriedades mecânicas se encontram em destaque as ligas com a presença de Manganês, Titânio / Zircônio, Molibdênio e Nióbio, com o maior número de documentos de patentes e tendência ao crescimento. Já para a aplicação *Sour Service*, o patenteamento recente está focado na utilização de Cromo e Boro como principais elementos de liga, embora não seja possível estabelecer nenhuma tecnologia dominante em termos de composição química até o período avaliado.

Existe um indicativo que os documentos de patentes se antecipam às próprias revisões das normas utilizadas no setor visto o crescimento do número de patentes com presença de Manganês em teor acima de 1,5% em peso em períodos anteriores à revisão da norma API que apresenta a possibilidade da utilização destes teores percentuais em produtos com limites de escoamento mais altos.

Os indicadores desenvolvidos neste trabalho, bem como a metodologia aplicada são úteis às empresas que desenvolvem pesquisa e desenvolvimento de aços para dutos utilizados em transporte de hidrocarbonetos. Com o avanço de técnicas de mineração de textos a partir de registros da *Derwent Innovations Index* e de documentos de patentes completos será possível a realização de estudos ainda mais detalhados para essa aplicação.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A partir dos resultados obtidos, as seguintes recomendações podem ser estabelecidas para futuras pesquisas:

- Realizar um estudo focado nos processos de produção e beneficiamento, principalmente em relação aos processos termomecânicos, responsáveis pela atual fronteira de desenvolvimento do setor.

- Realizar um estudo a partir de informações contidas em artigos científicos com o objetivo de avaliar o desenvolvimento do setor a partir de Universidades, Centros de Pesquisa e tecnologias relacionadas à ciência básica dos materiais.

- Avançar na mineração de dados e textos a partir dos registros da base *Derwent Innovations Index* que permitirá uma avaliação mais focada na reivindicação dos elementos de liga e de suas faixas de composição em peso, além da construção de indicadores mais precisos.

7 REFERÊNCIAS

- [1] RENNÓ, Marcelo; LEMGRUBER, Nelson. O ciclo de vida de um empreendimento de dutos. In: FREIRE, José Luiz de França (Org.). **Engenharia de Dutos**. Rio de Janeiro: Abcm - Associação Brasileira de Engenharia de Ciências Mecânicas, 2009. p. 1.1.
- [2] PEREZ, Teresa E..**Corrosion in the Oil and Gas Industry: An Increasing Challenge for Materials**. Jom,[s.l.], v. 65, n. 8, p.1033-1042, 13 jul. 2013. Springer Science + Business Media. DOI: 10.1007/s11837-013-0675-3.
- [3] LEMOS, Paulo Fernando Scofield de. Códigos e Regulamentos. In: FREIRE, José Luiz de França. **Engenharia de Dutos**. Rio de Janeiro: Abcm - Associação Brasileira de Engenharia de Ciências Mecânicas, 2009. p. 6.1.
- [4] INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. **Guia Básico – Patentes**. Disponível: http://www.inpi.gov.br/portal/artigo/guia_basico_patentes Acesso em: dez 2014.
- [5] SCHENK, M. T.;WEBSTER, J. K. **What every engineer should know about Engineering Information Resources**. Marcel Dekker, 1984. 216 p.
- [6] FARIA, L.I.L.; GREGOLIN, J.A.R.; SANTOS, R.N.M. **Technological Information And Materials Selection. Information Science for Decision Making**. The International Journal of Information Science for Decision Making (Online), v. 1, p. 27-42, 1998.
- [7] CANELAS, André Luís de Souza. **Evolução da importância econômica da indústria de petróleo e gás natural no brasil: contribuição a variáveis macroeconômicas**. 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- [8] THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Interciência, 2004.
- [9] MINNICH, Kurt. **Trends in OCTG and Line Pipe Markets**. Tulsa: Pipelogix, 2014. 26 slides, color. Disponível em: <http://www.nasped.com/pdf/2014_summer_pipelogix_minnich.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2015.

- [10] U.S. **Energy Information Administration. International Energy Statistics.** Disponível em: <<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=3&pid=26&aid=2&cid=ww,&syid=2009&eyid=2013&unit=BCF>>. Acesso em: 10 jul. 2015.
- [11] IEA - International Energy Agency: **World Energy Outlook 2014** – Executive Summary. OECD/IEA, Paris.
- [12] BP – British Petroleum. **BP Energy Outlook 2035.** London, United Kingdom, January 2014.
- [13] EIA – Energy Information Administration - **International Energy Outlook.** Washington, D.C., United States, 2014.
- [14] PWC. **Gateway to growth: innovation in the oil and gas industry.** Disponível em: <http://www.pwc.com/en_GX/gx/oil-gas-energy/publications/pdfs/pwc-gateway-to-growth-innovation-in-the-oil-and-gas-industry.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2015.
- [15] STRATEGY + BUSINESS. **s+b Trend Watch: R&D Investment Pays Off in Oil and Gas.** Disponível em: <<http://www.strategy-business.com/article/15201?gko=6930c>>. Acesso em: 08 jul. 2015.
- [16] OLIVEIRA, B.S.et al. Indicadores sobre o desenvolvimento de tecnologias em conexões para tubos utilizados em exploração e produção de óleo e gás. In: Congresso Nacional De Engenharia De Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 1., 2015, Campina Grande. **Anais...** .Campina Grande: Realize, 2015. v. 1, p. 1 - 8.
- [17] NORTON ROSE. **Protecting Innovation in the Oil & Gas Industry.** 2012. Disponível em: <<http://www.nortonrosefulbright.com/files/protecting-innovation-in-the-oil--gas-industry-pdf-195kb-63358.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2015.
- [18] THOMSON REUTERS. **Oil, Gas & Mining. 2015.** Disponível em: <<http://stateofinnovation.thomsonreuters.com/industries/oil-gas-mining>>. Acesso em: 06 maio 2015.
- [19] REIP, C.P.; SHANMUGAM, S.; MISRA, R.D.K. **High strength microalloyed CMn(V–Nb–Ti) and CMn(V–Nb) pipeline steels processed through CSP thin-slab technology: Microstructure, precipitation and**

- mechanical properties.** Materials Science And Engineering, [s.l.], v. 424, n. 1-2, p.307-317, maio 2006. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.msea.2006.03.026.
- [20] MANZANO, Carlos Alberto Cardoso. Construção e Montagem de Dutos Terrestres. In: FREIRE, José Luiz de França. **Engenharia de Dutos**. Rio de Janeiro: Abcm - Associação Brasileira de Engenharia de Ciências Mecânicas, 2009. p. 10.9.
- [21] VALENTINE, Katie. **New Pipeline Would Carry Bakken Oil From North Dakota To Illinois Through Iowa.** Disponível em: <<http://thinkprogress.org/climate/2014/07/15/3459267/pipeline-bakken-oil-through-iowa/>>. Acesso em: 11 abr. 2016.
- [22] LOUZADA, Carlos Henrique do Canto e Mello. Projeto Mecânico de Dutos Terrestres. In: FREIRE, José Luiz de França. **Engenharia de Dutos**. Rio de Janeiro: Abcm - Associação Brasileira de Engenharia de Ciências Mecânicas, 2009. p. 9.1 a 9.3.
- [23] API. **American Petroleum Institute.** Disponível em: <<http://www.api.org/>>. Acesso em: 10 jul. 2015.
- [24] ISO. **International Organization for Standardization.** Disponível em: <www.iso.org>. Acesso em: 10 jul. 2015.
- [25] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 5L: Specification for Line Pipe.** 45 ed. Washington Dc: API Publishing Services, 2012.
- [26] BOTT, Ivani et al. **High-Strength Steel Development for Pipelines: A Brazilian Perspective.** Metallurgical And Materials Transactions A, Rio de Janeiro, v. 36, n. , p.443-454, fev. 2005.
- [27] BOTT, Ivani; SICILIANO, Fulvio; LEMOS, Paulo Fernando Scofield; RIOS, Paulo Rangel. Aços para Dutos. In: FREIRE, José Luiz de França (Org.). **Engenharia de Dutos**. Rio de Janeiro: Abcm - Associação Brasileira de Engenharia de Ciências Mecânicas, 2009.
- [28] SHACKELFORD, J.F. **Ciência dos Materiais.** 6ª Ed. São Paulo: Pearson-Longman, 2008, 576p.
- [29] CALLISTER Jr., W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais – uma introdução.** 7ªEd. São Paulo: LTC, 2008, 590p.

- [30] WIKIPEDIA. **Materials Science**. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Materials_science>. Acesso em: 13 ago. 2015.
- [31] VAN DER MEE, Vincent.; NEESEN, Fred. **Development of High Strength Steel Consumables From Project to Product**. Lincoln Smitweld, 2nd International Symposium on High Strength Steel, Stklestad, Norway, Verdal, 2002.
- [32] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15156-1**: Petroleum and natural gas industries— Materials for use in H₂S-containing Environments in oil and gas production. New York: ISO, 2001.
- [33] OGEECHEE RIVERKEEPER. **Updated – Palmetto Pipeline News**. Disponível em: <<http://ogeecheeriverkeeper.org/uncategorized/palmetto-pipeline-news/>>. Acesso em: 31 jul. 2015.
- [34] CIMM. **Fabricação de tubos industriais**. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7355-fabricacao-de-tubos-industriais>. Acesso em: 10 jul. 2015.
- [35] FERRAZ, p.p. **Estudo Dos Processos De Amaciamento No Laminador Continuo Da V&M Do Brasil**. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- [36] BRENSING, K.H.; SOMMER, B. **Steel Tube and Manufacturing Process**. Manessmann Rohrenwerke-Salzgitter Publication, 2007.
- [37] USIMINAS. **Mercados - Indústria Seriada**. Disponível em: <<http://usiminas.com/produtos-e-solucoes/mercados/industria-seriada/>>. Acesso em: 13 jul. 2015.
- [38] TENARISCONFAB. **Tubos para condução - Linepipe**. Disponível em: <<http://www.tenaris.com/shared/documents/files/CB803.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2015.
- [39] TENARISCONFAB. **Produtos e Serviços para poços de petróleo e gás**. Disponível em: <<http://www.tenaris.com/shared/documents/files/CB302.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2015.
- [40] PICKERING, F.B. **Physical Metallurgy and the Design of Steels**. Materials Science Series, Applied Science Publishers LTD. London. 1978.

- [41] CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM, 7ª Edição, 2002, 599p.
- [42] USIMINAS. **Mercados - Indústria Seriada**. Disponível em: <<http://usiminas.com/produtos-e-solucoes/mercados/industria-seriada/>>. Acesso em: 13 jul. 2015.
- [43] GRAY, James Malcolm; HULKA, Klaus. High Temperature Processing of Line-Pipe Steels. Niobium Science & Technology. International Symposium Niobium. **Proceedings**. 2001, Orlando, FL. Dezembro, 2001.
- [44] WORLD STEEL ASSOCIATION. **Steel Statistical Yearbook**. Disponível em: <<http://www.worldsteel.org/statistics/statistics-archive/yearbook-archive.html>>. Acesso em: 10 jul. 2015.
- [45] NIPPON STEEL & SUMITOMO METALS. **Annual Report 2014**.Tokyo: Nssmc, 2015.
- [46] VALLOUREC. **Shareholders' Meeting 2015**. Paris, Vallourec, 2015.
- [47] TENARIS. **Company Overview**. Buenos Aires: Tenaris, 2012.
- [48] GRAY, James Malcolm. A Guide for Understanding & Specifying Chemical Composition of High Strength Linepipe Steels. **Technical Report CBMM**. Julho de 2007.
- [49] MARTINO, J. P. **Technological Forecasting for Decision Making/Book and Disk**. New York: Mcgraw-Hill, 1992.
- [50] KUPFER, D.; TIGRE, P. B. **Prospecção tecnológica**. In: CARUSO, L. A. C.;TIGRE, P. B. (Coord.). Modelo SENAI de prospecção: documento metodológico. Montevideo: Cintefor/OIT, 2004. p. 17-35.
- [51] GREGOLIN, J. A. R. **Prospecção Tecnológica, Inteligência Competitiva e Inovação**. São Carlos,2015.65 slides.
- [52] FULD, L. M. The new competitor intelligence: the complete resource for finding, analyzing, and using information about your competitors. NewYork: J. Wiley, 1994.
- [53] CHANCHETTI, L.F. **Tendências Tecnológicas Em Materiais Para Armazenamento De Hidrogênio A Partir Da Cientometria**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

- [54] Instituto Nacional da Propriedade Industrial. **Guia Básico – Patentes**. Disponível: http://www.inpi.gov.br/portal/artigo/guia_basico_patentes. Acesso em: dez 2014.
- [55] PORTER, A. L.; CUNNINGHAM, S. W. **Tech Mining: Exploiting New Technologies for Competitive Advantage**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2004.
- [56] UTTERBACK, J. M., BROWN, J. W.. **Profiles of the future: Monitoring for Technological Opportunities**. Business Horizons. 1972. p 5-15.
- [57] LICHTENTHALER, E. **Technology intelligence: identification of technological opportunities and threats by firms**. Internation Journal of Technology Intelligence and Planning, 2006. Vol. 2, p 289-323.
- [58] MILANEZ, Douglas Henrique. **Elaboração de indicadores de ciência e tecnologia para o monitoramento de avanços tecnológicos em nanocelulose**. 2015. 187 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.
- [59] NYBERG, A.; PALMGREN, S. **Using Indicators for Technology Monitoring. Steps toward a proposed framework**. 2011.46 f. Dissertação (Master in Bussines Design) CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Göteborg, Sweden, 2011.
- [60] ERNST, H. **The use of patent data for technological forecasting: the diffusion of CNC-technology in the machine tool industry**. Small Business Economics, v. 9, n. 4, p. 361–381, 1997.
- [61] MOGEE, M.E. Patents and technology intelligence. In: **(Eds.) Keeping abreast of science and technology: technical intelligence for business**. Columbus: Battelle Press, 1997.
- [62] MILANEZ, Douglas Henrique. **Nanotecnologia: Indcadores Tecnológicos sobre os avanços em materiais a partir da análise de documentos de patentes**. 2011. 1 v. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

- [63] OMPI - Organização Mundial Da Propriedade Intelectual. **International Patent Classification.** Disponível em: <<http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>>. Acesso em: dez 2014.
- [64] THOMPSON REUTERS. **Derwent Innovations Index.** Disponível em:<<http://thomsonreuters.com/derwent-innovations-index/>> Acesso em: dez 2014.
- [65] CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Portal de Periódicos.** Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br.ez31.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com_phome>.Acesso em: dez. 2014.
- [66] MILANEZ, D.H.; MILANEZ, M.G.; FARIA, L.I.L.; AMARAL, R.M.; GREGOLIN, J.A.R.. **The Earliest Priority Selector for Compiling Patent Indicators.** Proceedings of the 14th International Society of Scientometrics and Infometrics Conference - 2013 (ISSI '13). Vienna: Austria. p. 1950-1953.
- [67] OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. **OECD Patent Statistics Manual.** OECD; 2009.Patent Manual.
- [68] THE VANTAGEPOINT. **VantagePoint.** Disponível em: <<http://www.thevantagepoint.com/products/vantagepoint.html>>. Acesso em: dez. 2014.
- [69] MILANEZ, D. H. et al. Assessing an interval of confidence to compile time-dependent patent indicators in nanotechnology. 14th International Society of Scientometrics and Informetrics Conference. **Anais...** Vienna: 2013.
- [70] HILLENRAND, H.G et al. Development of grade X120 pipe material for high pressure gas transportation lines. In: international conference on pipeline technology, 4., 2004, Ostend. **Proceedings...** Ostend: Europipe, 2004. p. 1 - 12.
- [71] JFE STEEL CORP (Japão). Shimamura Junji; Endo Shigeru; Okatsu Mitsuhiro. **High-Strength Steel Plate And Process For Production Thereof, And High-Strength Steel Pipe.** JP nº JP2006307334, 31 mar. 2005, 11 set. 2006.

- [72] NKKTUBES (Japão). Hashizume Shuji; Minami Yusuke; Ono Tatsuo. **655 MPa Class Martensitic Stainless Steel Excellent In Toughness And Method For Production Thereof**. JP nº JP2006548607, 15 dez.2004, 22 jun. 2006.
- [73] KOBE STEEL LTD (Japão). **Steel Sheet Excellent In Hydrogen-Induced Cracking Resistance And Production Method Therefor**. JP nº JP2013213242, 30 mar. 2012, 17 out. 2013.
- [74] HWANG, Byoungchul et al. Effective Grain Size and Charpy Impact Properties of High-Toughness X70 Pipeline Steels. **Metallurgical And Materials Transactions A**, Pohang, v. , n. 36, p.2107-2114, ago. 2005.
- [75] INFOMET. **Aços-liga; efeitos dos elementos de liga; propriedades mecânicas**. Disponível em: <<http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=8>>. Acesso em: 20 maio 2016.
- [76] SUSKI, Cássio Aurélio. **Estudo da influência da adição de Boro nos aços de baixo carbono**. 2007. Disponível em: <<http://www.infomet.com.br/site/artigos-tecnicos-conteudo-ler.php?bsc=ativar&codCategoria=14&codSubcategoria=97&cod=1617>>. Acesso em: 20 maio 2016.
- [77] PICKERING, F. Brian. **Physical metallurgy and the design of steels**. Londres: Applied Science, 1978.
- [78] HULKA, K.; GRAY, M. High Temperature processing of pipeline steels. **Niobium Science and Technology**. TMS, 587-612. 2001.
- [79] INFOMET. **Aços Resistentes à Corrosão: Contribuição do Cromo**. Disponível em: <<http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=103>>. Acesso em: 20 maio 2016.
- [80] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 5L: Specification for Line Pipe**. 43 ed. Washington Dc: API Publishing Services, 2004.

APÊNDICE A

Neste apêndice estão colocadas as principais expressões de busca testadas e avaliadas como base para a definição da expressão final utilizada na pesquisa.

Tabela A.1 Expressão de busca com a inserção do termo “steel” para todos os períodos de indexação da base *Derwent Innovations Index*.

Etapa:	Busca:	Resultados:	OBS:
#1	IP = C22-038*	77.955	CIP referente a composições químicas de aços
#2	TS = steel	>100.000	
#3	TS = pipe* or tube* or duct* or linepipe* or (line pipe) or (pipe line)	>100.000	
#4	IP = F16L-009/02 or F16L-009/04 or F16L-009/06	3.727	CIP referente a tubos rígidos metálicos
#5	TS = oil* or (natural gas) or hydrocarbon*	>100.000	
#6	#1 or #2	>100.000	
#7	#3 or #4	>100.000	
#8	#6AND #7 AND #5	20.488	

Tabela A.2 Expressão de busca com a inserção do termo “F16L*” para todos os períodos de indexação da base *Derwent Innovations Index*.

Etapa:	Busca:	Resultados:	OBS:
#1	IP = C22-038*	77.955	CIP referente a composições químicas de aços
#2	TS = pipe* or tube* or duct* or linepipe* or (line pipe) or (pipe line)	>100.000	
#3	IP = F16L*	>100.000	CIP referente a tubos rígidos
#4	TS = oil* or (natural gas) or hydrocarbon*	>100.000	
#5	#2 or #3	>100.000	
#6	#1 AND #4 AND #5	1.932	

APÊNDICE B

Neste apêndice estão colocados os *Thesaurus* desenvolvidos para o agrupamento e contagem de registros semelhantes.

- Thesaurus referente aos Desafios Tecnológicos

****Resistência à Abrasão**

abrasion resistance|abrasion resistant properties|abrasion|anti-high temperature wear resistance|casing wear|corrosive wear|erosion corrosion|erosion resistance|erosion-resistant|excellent abrasion resistance|excellent erosion resistance|high abrasion resistance|high temperature strength/wear resistance|hydroabrasive wear|siliceous abrasion|slurry-proof corrosive-wear property|wear rate|wear resistance|wear|wear-resistant layer relative|wear-resistant layer|wear-resistant property|wearproof|workpiece exhibits excellent wear resistant properties|

****Resistência ao colapso**

collapse strength|collapse-proof property|excellent anti-collapsing performance|excellent collapse-proof performance|good pressure resistance collapse strength|high collapse-proof performance|high collapse-proof property|

****Resistência à Corrosão**

anti-corrosion performance|biocorrosion|chlorides|corrosion active non-metallic inclusions|corrosion cracking|corrosion resistance ability|corrosion resistance characteristics|corrosion resistance properties|corrosion resistance property|corrosion resistance weldability|corrosion resistance|corrosion resistant oil pipe|corrosion resistant property|corrosion stability|corrosion-resistance|corrosion-resistant high-strength austenitic steel|corrosion-resistant material|corrosion-resistant properties|corrosion-resistant|corrosive environment|corrosive environments|corrosive gases|corrosive media|corrosive resistance|crevice corrosion|erosion corrosion|excellent corrosion property|excellent corrosion resistance inside|excellent corrosion resistance|excellent erosion resistance|excellent oxidation resistance|exhibits corrosion-proof property|fast corrosion taking place|favorable corrosion resistance|good acid corrosion resistance|good corrosion resistance|good oxygen resistance|high corrosion resistance property|high corrosion resistance|high corrosion-resistance|high temperature corrosion|higher corrosion resistance|improved corrosion resistance|increased corrosion resistance|increasing corrosion resistance|inter-crystal corrosion|intercrystalline corrosion resistance|intercrystallite corrosion|intergranular corrosion|local corrosion resistance|localized corrosion resistance|marine atmosphere corrosion resistance characteristics|oxidation resistance|oxidation|pitting corrosion|providing good corrosion resistance performance|raised corrosion resistance|sufficient corrosion resistance|sulfate reducing bacteria corrosion|surface corrosion resistance|surface oxidation|high pitting resistance|pitting resistance

****Resistência à Fluência**

creep properties|creep rupture strength|creep strength|creep-resistant|excellent creep resistance|

****Ductilidade / Deformabilidade**

deformability reserve|deformability|desired plasticity property|desired plasticity|ductile UOE steel pipe|ductile fracture characteristics|ductile fracture|ductile-crack propagation characteristics|ductility|excellent deformability|excellent deformation ability|excellent deformation capability|excellent deformation characteristic|excellent deformation characteristics|excellent ductile-crack propagation prevention property|excellent ductile-fracture characteristics|excellent ductility|excellent high-speed ductile fracture characteristic|excellent high-speed ductile fracture proof characteristics|excellent plasticity property|flexibility|good plasticity|greater flexibility|high ductility|high plastic elasticity|high plasticity|high-plasticity steel material|high-speed ductile fracture characteristics|higher ductility|higher plasticity|hot ductility|improved ductile-brittle transition temperature|improved ductility|low ductile-to-brittle transition temperature|plasticity|reduced ductility|required high speed ductile fracture-proof characteristics necessary|strong plasticity|

****Resistência à fadiga**

anti-fatigue properties|bending fatigue rim|excellent fatigue resistance|fatigue characteristics|fatigue resistance|fatigue strength|hot fatigue resistance|radial spokes fatigue|repeated fatigue|

****Trabalho a altas pressões**

excellent internal pressure-proof destructive characteristics|favorable pressure resistance property|good pressure resistance collapse strength|high pressure condition|high pressure intensity|high pressure operation|high pressure|high pressurization|high-pressure gas transmission tube|high-pressure steel pipes|increasing operational pressure|oil gas transportation pressure pipe|operating pressure|pressure resistance|

****Resistência à tração**

corrosion-resistant high-strength austenitic steel|enhanced strength|excellent deformation resistance|excellent mechanical strength|excellent strength|excellent tensile strength|good mechanical strength|high strength bend pipe|high strength galvanized steel sheet|high strength hot rolled steel sheet|high strength hot-rolled bending pipe|high strength line pipe|high strength pipe API specification x65|high strength pipe|high strength steel pipe|high strength steel plate|high strength steel sheet|high strength steel|high strength|high yield strength|high yield|high-strength austenitic-based steel|high-strength chromium-nickel alloy product|high-strength high-carbon chromium 13 martensitic stainless steel casing|high-strength line pipe|high-strength steel pipe|high-strength steel plate|high-strength steel|high-strength|hot-working property|improved strength|improving resistance|increased yield|low-yield-ratio high-strength steel plate|manufacturing high strength hot rolled steel plate|novel low yield-ratio high-strength high-toughness steel pipe|offers high strength tough pipe|stabilises high strength|strength|super-high strength line pipe|super-high-strength line pipe|tensile strength|ultra high strength|ultra high-strength line pipe|ultra-high strength line pipe leads|ultra-high strength line pipe|ultra-high strength oil well pipe|ultra-high strength steel pipe|ultra-high strength steel

plate|ultra-high strength|ultra-high-strength linepipe|ultra-high-strength|ultrahigh strength steel pipe|yield strength|high tensile strength

****Altas Temperaturas**

anti-high temperature wear resistance|excellent heat resistance|excellent high-temperature strength|good high temperature mechanical properties|good high temperature resistance|heat resistance|high temp|high temperature alloys|high temperature corrosion|high temperature performance|high temperature resistance|high temperature strength/wear resistance|high temperature|high temperatures|high-temperature corrosive environment|high-temperature environment|high-temperature tensile property|high-temperature-resistant property|high-temperature-use-performance index|higher temperatures|

****Custos de Produção / Aumento e Produtividade**

cost reduction|cost saving|cost savings|cost|cost-effective method|costs|economic method|economical efficiency|economical manufacture|economical mass production|economical system|economical|economics|energy consumption|energy saving|energy-saving seamless steel pipe|energy-saving|excellent economical efficiency|high production efficiency|high productivity|improved productive efficiency|improved productivity|increasing production cost|inexpensive|large-scale production|low cost raw material|low cost|low energy consumption|low materials cost|low product costs|low production cost|lower cost|manufacturing cost|production cost|production costs|production efficiency|productivity|raising productivity|reduced cost|reduced production cost|reduced production costs|reducing production cost|saves production cost|steel pipe production cost|economical method|economical process|low manufacturing cost

****Aplicações em Baixas Temperaturas**

candies cold resistance|cold conditions|cold resistance|coldest operating areas|excellent low temperature toughness property|excellent low temperature toughness|excellent low-temperature impact toughness|excellent low-temperature toughness 120 J|excellent low-temperature toughness|good low temp|good low temperature impact resistance|good low temperature resistance|good low-temperature toughness|good low-temperature|high low-temperature impact|high low-temperature tenacity|high low-temperature toughness|improved low temperature toughness|low temperature aging|low temperature condition|low temperature impact property|low temperature impact toughness|low temperature toughness|low temperature|low temperatures|low-temperature impact toughness|low-temperature shock resistance|low-temperature toughness|low-temperature|portion low-temperature toughness|providing excellent low temperature toughness|superior cryogenic impact toughness|good ultra low temperature toughness|low-temperature resistance

****Usinabilidade**

excellent machinability drill perforation property|

****Corrosão sob tensão**

excellent stress corrosion cracking resistance|sulfide stress crack resistance|corrosion cracking SCC resistance|excellent grain-boundary-proof stress-corrosion-cracking property|excellent stress-corrosion cracking resistance|excellent stress-corrosion cracking-resistant property|grain-

boundary-proof stress-corrosion-cracking property|intergranular stress corrosion cracking IGSCC degradation|stress corrosion cracking resistance|stress corrosion cracking|stress corrosion proof property|stress corrosion resistance|stress corrosion tracking|stress corrosion-resistant cracking property|stress-corrosion-cracking proof property|stress-corrosion-cracking property|

****Segurança em operações**

accuracy class safety performance|high safety|improved safety|improving safety|long-distance safe pipeline transportation|made safer|operating safety|pipe line's safety|pipeline safety|production safety|safe pipe line|safe|safety factor|safety precision level|safety|

****Sour Service**

CO₂|H₂ S|H₂S atmosphere|H₂S|HIC|HIC-proof|SSC proof characteristics Sulphide stress corrosion cracking|acid environment|acid gas resistance|acid gases|acid oil wells|acid wash|acid|acidic environment|anti-acid pipeline steel|anti-carbon dioxide corrosion ability|anti-carbon dioxide corrosion performance|anti-sulfur performance|anti-sulfur-corrosion steel|aqueous methanesulfonic acid solution|carbon dioxide corrosion resistance|carbon dioxide corrosion|carbon dioxide corrosion-resistant property|carbon dioxide gas corrosion|carbon dioxide gas|carbon dioxide resistance|carbon dioxide|chlorides|chlorine|corrosion cracking resistance|crack generation|crack propagation characteristics|crack propagation|crack resistance|crack sensitivity coefficient|crack|crack-free manner|crack-free single|crack-free|crack-proof property|cracking HIC -proof property|cracking HIC|cracking resistance|cracking|environmental cracking resistance|excellent acid resistance|excellent anti-cracking performance|excellent carbon dioxide gas-corrosion resistance|excellent chromium-free sour resistance|excellent crack resistance|excellent crack-proof property|excellent cracking resistance|excellent hydrogen induced crack resistance|excellent hydrogen induced cracking HIC resistance|excellent hydrogen induced cracking resistance|excellent hydrogen sulfide corrosion resistance|excellent hydrogen sulfide stress crack SSC resistant property|excellent hydrogen-induced cracking resistance|excellent hydrogen-induced cracking|excellent hydrogen-induced-crack resistance|excellent hydrogen-sulfide corrosion resistance|excellent moisture-proof hydrogen sulfide corrosion resistance|excellent sour resistance|excellent sour resistant property|excellent sulfide resistance|excellent sulfide stress corrosion cracking SSC resistance|excellent sulfide stress corrosion cracking resistance|excellent sulfide stress corrosion proof characteristics|excellent sulfide stress crack proof|excellent sulfide stress cracking SSC resistance|excellent sulfide stress cracking resistance|excellent sulfide-proof stress corrosion cracking property|excellent sulfide-stress corrosion cracking resistance|excellent sulfur|gaseous carbon dioxide|good acid corrosion resistance|good sulfide resistance|good sulfide stress corrosion cracking-proof property|good sulfide stress crack-proof property|good sulfide stress cracking resistance|high anti-hydrogen-induced cracking performance|high carbon dioxide environment|high hydrogen sulphide concentration atmosphere test|high sour resistance|high sulfide induced stress cracking resistance|high sulfide resistant stress corrosion|high sulfide stress corrosion cracking SSC

resistance|high sulfide stress corrosion cracking resistance|high-acidity oil fields|higher stress corrosion resistance|hydrogen cracking resistance|hydrogen induced crack|hydrogen induced cracking HIC -proof property|hydrogen induced cracking resistance|hydrogen induced cracking|hydrogen sulfide aggressive environments|hydrogen sulfide corrosion-proof seamless tube|hydrogen sulfide cracking|hydrogen sulfide environment|hydrogen sulfide environments|hydrogen sulfide gas|hydrogen sulfide|hydrogen sulfide- acid gas fields|hydrogen sulfide-proof property|hydrogen sulphide cracking|hydrogen sulphide environments|hydrogen sulphide|hydrogen-induced blistering resistance|hydrogen-induced brittleness risks deteriorating|hydrogen-induced corrosion HIC resistance|hydrogen-induced cracking HIC resistance|hydrogen-induced cracking resistance|hydrogen-induced cracking|hydrogen-induced|hydrogen-induced-cracking-resistance|improved hydrogen induced cracking resistance sour resistance|improved sulfide induced stress-corrosion cracking resistance results|low pH environments|low pH|manganese sulfide|moist carbon dioxide gas|moist carbon dioxide|moist hydrogen sulfide|offers good acid-proof property|property Hydrogen Induced Cracking|released carbon dioxide|severe corrosive environment|sour environment|sour resistance|sour resistant performance|sour resistant property|sour-resistant line pipe|sour-resistant performance|sour-resistant property|steel pipe exhibits excellent sulfide stress cracking resistance SSC|sulfidation corrosion|sulfide corrosion cracking-resistant property|sulfide corrosion|sulfide resistant stress crack property|sulfide stress corrosion cracking SSCC resistance|sulfide stress corrosion cracking resistance|sulfide stress corrosion|sulfide stress crack SSC|sulfide stress crack|sulfide stress crack-proof property|sulfide stress cracking resistance sour resistance|sulfide stress cracking resistance|sulfide stress cracking|sulfide|sulfide-proof stress corrosion cracking property|sulfide-proof stress crack resistance|sulfides|sulfur corrosion|sulfur resistance|sulfur|sulfuric acid|sulphide stress corrosion cracking proof property|sulphide stress corrosion cracking|sulphide stress cracking|sulphide|trace H₂S|wet CO₂|wet hydrogen sulfide environment|wet trace H₂S|excellent carbon dioxide-proof corrosivity|excellent hydrogen-induced crack resistance|excellent sulfide stress crack resistance|hydrogen embrittlement crack|hydrogen sulfide atmosphere|hydrogen sulfide corrosion|sulfide stress corrosion cracking|sulphide stress cracking resistance|

**Resistência ao impacto

100 J|Charpy impact power|Charpy impact strength|HAZ toughness|base material toughness|circumferential-weld part toughness|composition exhibits toughness|creep properties|enhanced toughness|excellent crushability-proof property|excellent crushing strength|excellent heat affected zone toughness|excellent impact strength|excellent impact toughness|excellent low temperature toughness property|excellent low temperature toughness|excellent low-temperature impact toughness|excellent low-temperature toughness 120 J|excellent low-temperature toughness|excellent plastic toughness performance|excellent strength toughness balance|excellent tenacity|excellent toughness|favorable heat affected zone toughness|favorable toughness|fracture resistance|fracture toughness|good Charpy impact|good low temperature impact resistance|good low-temperature toughness|good toughness|heat

affected zone toughness|heat-affected zone toughness|high Charpy impact property|high anti-crack toughness|high impact absorption energy characteristics|high impact elasticity|high impact toughness|high low-temperature impact|high low-temperature tenacity|high low-temperature toughness|high material toughness|high toughness steel plate|high toughness thick steel plate|high toughness|high-toughness petroleum drill rod|impact power|impact resilience|impact resistance|impact strength|impact toughness|improved impact toughness|improved low temperature toughness|improved resilience|improved toughness|increased toughness|longitudinal full-size charpy impact operation|longitudinal impact ratio|low temperature impact property|low temperature impact toughness|low temperature toughness|low toughness|low-temperature impact toughness|low-temperature toughness|novel low yield-ratio high-strength high-toughness steel pipe|part toughness|poor plastic toughness performance|portion low-temperature toughness|portion toughness| providing excellent low temperature toughness|superior cryogenic impact toughness good ultra low temperature toughness|superior cryogenic temperature toughness|superior toughness|temperature toughness|tenacity|toughness impact energy|toughness property|toughness|transverse full-size charpy impact operation|transverse impact operation|transverse impact value|weld joint toughness|welded-heat-affected-zone toughness|zone toughness|

**Soldabilidade

enhanced weldability|excellent weldability|field weldability|giving good weldability|good weldability|good weldable property|local weldability|reducing weldability|spot weldability|weldability|weldability|.2 cl|

- Thesaurus referente à Classificação CIP das ligas

**Ag/Se/Te/Sb/ >0,04% S

C22C-038/60\$

**Al

C22C-038/06\$

**Co

C22C-038/10\$

**Cr

C22C-038/18\$

**Cr + >1,5% Mn

C22C-038/38\$

**Cr + >1,5% Si

C22C-038/34\$

**Cr + >1,7% C

C22C-038/36\$

**Cr + B

C22C-038/32\$

**Cr + Co

C22C-038/30\$

**Cr + Cu

C22C-038/20\$

**Cr + Mo/W

C22C-038/22\$
 **Cr + Nb/Ta
 C22C-038/26\$
 **Cr + Ni
 C22C-038/40\$
 **Cr + Ni + >1,5% Mn
 C22C-038/58\$
 **Cr + Ni + >1,7% C
 C22C-038/56\$
 **Cr + Ni + B
 C22C-038/54\$
 **Cr + Ni + Co
 C22C-038/52\$
 **Cr + Ni + Cu
 C22C-038/42\$
 **Cr + Ni + Mo/W
 C22C-038/44\$
 **Cr + Ni + Nb/Ta
 C22C-038/48\$
 **Cr + Ni + Ti/Zr
 C22C-038/50\$
 **Cr + Ni + V
 C22C-038/46\$
 **Cr + Ti/Zr
 C22C-038/28\$
 **Cr + V
 C22C-038/24\$
 **Cu
 C22C-038/16\$
 **Mn
 C22C-038/04\$
 **Ni
 C22C-038/08\$
 **Si
 C22C-038/02\$
 **Ti/Zr
 C22C-038/14\$
 **W/Ta/Mo/V/Nb
 C22C-038/12\$

- Thesaurus referente à Classificação CIP dos processos de produção

**Aciaria

B22C-001/00|B22C-009/00|B22C-009/04|B22C-009/06|B22C-009/22|B22D-
 000/00|B22D-001/00|B22D-011/00|B22D-011/04|B22D-011/10|B22D-
 011/108|B22D-011/11|B22D-011/112|B22D-011/115|B22D-011/124|B22D-
 011/128|B22D-011/16|B22D-011/18|B22D-011/20|B22D-011/22|B22D-

013/00|B22D-013/02|B22D-019/14|B22D-019/16|B22D-025/02|B22D-025/06|B22D-027/02|B22D-027/04|B22D-027/20|B22D-037/00|B22D-041/02|B22F-000/00|B22F-001/00|B22F-003/105|B22F-003/12|B22F-003/14|B22F-003/16|B22F-003/24|B22F-005/00|B22F-005/06|B22F-005/10|B22F-005/12|B22F-007/00|B22F-007/06|B22F-007/08|B22F-009/08|C21C-001/02|C21C-003/00|C21C-005/00|C21C-005/04|C21C-005/28|C21C-005/30|C21C-005/35|C21C-005/46|C21C-005/52|C21C-005/54|C21C-007/00|C21C-007/04|C21C-007/06|C21C-007/064|C21C-007/072|C21C-007/076|C21C-007/10|C21D-003/00|C21D-003/06|

****Conformação**

B21B-001/00|B21B-001/22|B21B-001/26|B21B-001/38|B21B-001/46|B21B-003/00|B21B-003/02|B21B-017/00|B21B-017/14|B21B-019/00|B21B-019/04|B21B-019/06|B21B-019/08|B21B-019/10|B21B-021/00|B21B-023/00|B21B-025/00|B21B-025/04|B21B-027/06|B21B-037/00|B21B-037/16|B21B-037/74|B21B-037/78|B21B-045/00|B21B-045/02|B21B-047/00|B21B-047/02|B21C-000/00|B21C-001/00|B21C-001/16|B21C-001/18|B21C-001/22|B21C-001/24|B21C-023/00|B21C-023/02|B21C-023/04|B21C-023/08|B21C-029/04|B21C-031/00|B21C-037/00|B21C-037/04|B21C-037/06|B21C-037/12|B21C-037/15|B21C-037/16|B21C-037/28|B21C-037/30|B21C-047/02|B21D-003/00|B21D-003/14|B21D-005/00|B21D-005/01|B21D-005/06|B21D-005/12|B21D-007/00|B21D-007/16|B21D-017/02|B21D-019/00|B21D-019/02|B21D-031/04|B21D-031/06|B21D-037/16|B21D-037/18|B21D-039/00|B21D-039/02|B21D-039/06|B21D-039/08|B21D-039/20|B21D-041/02|B21J-001/00|B21J-001/06|B21J-005/00|B21J-005/02|B21J-005/08|B21J-013/02|B21J-013/14|B21K-001/02|B23P-015/00|B23P-017/00|C21D-007/00|C21D-007/02|C21D-007/04|C21D-007/06|C21D-007/10|C21D-007/12|C21D-007/13|

****Conformação + HT**

C21D-008/00|C21D-008/02|C21D-008/04|C21D-008/06|C21D-008/10|C21D-008/12|

****Redução**

C21B-000/00|C22B-009/00|

****Soldagem**

B21C-037/08|B23K-001/20|B23K-009/00|B23K-009/02|B23K-009/25|B23K-009/28|B23K-009/04|B23K-009/095|B23K-009/16|B23K-009/167|B23K-009/173|B23K-009/18|B23K-009/23|B23K-009/24|B23K-009/28|B23K-010/02|B23K-011/00|B23K-011/08|B23K-013/00|B23K-013/02|B23K-015/00|B23K-020/00|B23K-020/02|B23K-020/04|B23K-020/12|B23K-020/16|B23K-025/00|B23K-026/00|B23K-026/12|B23K-026/14|B23K-026/20|B23K-026/21|B23K-026/32|B23K-026/34|B23K-028/00|B23K-028/02|B23K-031/00|B23K-031/02|B23K-031/12|B23K-033/00|B23K-035/02|B23K-035/22|B23K-035/24|B23K-035/30|B23K-035/36|B23K-035/362|B23K-101/06|B23K-101/10|B23K-101:06|B23K-101:10|B23K-103/04|B23K-103:04|

****Tratamento Térmico**

C21D-001/00|C21D-001/04|C21D-001/06|C21D-001/09|C21D-001/10|C21D-001/18|C21D-001/20|C21D-001/25|C21D-001/26|C21D-001/28|C21D-001/30|C21D-001/42|C21D-001/56|C21D-001/60|C21D-001/607|C21D-

001/62|C21D-001/68|C21D-001/70|C21D-001/74|C21D-001/76|C21D-001/78|C21D-006/00|C21D-006/02|C21D-009/00|C21D-009/08|C21D-009/14|C21D-009/22|C21D-009/36|C21D-009/44|C21D-009/46|C21D-009/48|C21D-009/50|C21D-009/52|C21D-009/573|C21D-009/70|C21D-011/00|

- Thesaurus referente à Classificação CIP dos processos de Aciaria

**Fusão

C21C-003/00|C21C-005/00|C21C-005/04|C21C-005/28|C21C-005/30|C21C-005/35|C21C-005/46|C21C-005/52|C21C-005/54|

**Refino

C21C-001/02|C21C-007/00|C21C-007/04|C21C-007/06|C21C-007/064|C21C-007/072|C21C-007/076|C21C-007/10|C21D-003/00|C21D-003/06|

**Lingotamento

B22C-001/00|B22C-009/00|B22C-009/04|B22C-009/06|B22C-009/22|B22D-000/00|B22D-001/00|B22D-011/00|B22D-011/04|B22D-011/10|B22D-011/108|B22D-011/11|B22D-011/112|B22D-011/115|B22D-011/124|B22D-011/128|B22D-011/16|B22D-011/18|B22D-011/20|B22D-011/22|B22D-013/00|B22D-013/02|B22D-019/14|B22D-019/16|B22D-025/02|B22D-025/06|B22D-027/02|B22D-027/04|B22D-027/20|B22D-037/00|B22D-041/02|

- Thesaurus referente à Classificação CIP dos processos de Conformação:

**Dobramento

B21D-005/00|B21D-005/01|B21D-005/06|B21D-005/12|B21D-007/00|B21D-007/16|B21D-039/02|

**Endireitamento

B21D-003/00|B21D-003/14|

**Estiramento

B21C-001/00|B21C-001/16|B21C-001/18|B21C-001/22|B21C-001/24|B21D-039/08|B21D-039/20|

**Expansão

C21D-007/12|

**Forja

B21J-001/00|B21J-001/06|B21J-005/00|B21J-005/02|B21J-005/08|B21J-013/02|B21J-013/14|B21K-001/02|

**Laminação

B21B-001/00|B21B-001/22|B21B-001/26|B21B-001/38|B21B-001/46|B21B-003/00|B21B-003/02|B21B-017/00|B21B-017/14|B21B-019/00|B21B-019/04|B21B-019/06|B21B-019/08|B21B-019/10|B21B-021/00|B21B-023/00|B21B-025/00|B21B-025/04|B21B-027/06|B21B-037/00|B21B-037/16|B21B-037/74|B21B-037/78|B21B-045/00|B21B-045/02|B21B-047/00|B21B-047/02|

- Thesaurus referente à Classificação CIP dos processos de Conformação + Tratamento Térmico:

**Planos (Placas e Chapas)

C21D-008/02|C21D-008/04

**Tubulares

C21D-008/06|C21D-008/10

- Thesaurus referente à Classificação CIP dos processos de Tratamento Térmico:

**Dispositivos para Controle

C21D-001/42|C21D-001/74|C21D-001/76|C21D-011/00|

**Endurecimento Superficial

C21D-001/06|C21D-001/09|C21D-001/10|

**Endurecimento por Precipitação

C21D-006/02|

**Planos

C21D-009/46|C21D-009/48|C21D-009/52|C21D-009/573|

**Reco|imento

C21D-001/26|C21D-001/28|C21D-001/30|

**Alívio de Tensões

C21D-009/50|

**Tubulares

C21D-009/08|C21D-009/14|

**Têmpera

C21D-001/18|C21D-001/20|C21D-001/25|C21D-001/56|C21D-001/60|C21D-001/607|C21D-001/62|

- Thesaurus referente à Classificação CIP dos processos de Soldagem:

**Dispositivos

B23K-009/02|B23K-009/025|B23K-009/028|B23K-009/095|B23K-009/28|

**Materiais

B23K-009/167|B23K-009/173|B23K-009/23|B23K-009/24|B23K-033/00|B23K-035/02|B23K-035/22|B23K-035/24|B23K-035/30|B23K-035/36|B23K-035/362|B23K-103/04|

**Processo

B21C-037/08|B23K-001/20|B23K-009/00|B23K-009/04|B23K-009/16|B23K-009/18|B23K-010/02|B23K-011/00|B23K-011/08|B23K-013/00|B23K-013/02|B23K-015/00|B23K-020/00|B23K-020/02|B23K-020/04|B23K-020/12|B23K-020/16|B23K-025/00|B23K-026/00|B23K-026/12|B23K-026/14|B23K-026/20|B23K-026/21|B23K-026/32|B23K-026/34|B23K-028/00|B23K-028/02|B23K-031/00|B23K-031/02|B23K-031/12|

APÊNDICE C

Tabela C.1 Número de documentos por subgrupo da Classificação Internacional de Patentes entre os anos de 1971 e 2014.

Elementos de Liga	Período de Prioridade												
	1971-1974	1975-1978	1979-1982	1983-1986	1987-1990	1991-1994	1995-1998	1999-2002	2003-2006	2007-2010	2011-2014		
Si	2	0	0	0	0	0	0	4	17	31	54		
Mn	4	6	10	9	2	7	7	11	42	36	65		
Al	3	5	10	9	3	5	5	9	16	50	48		
Ni	1	3	0	2	0	2	12	4	13	18	16		
Co	0	1	1	1	0	1	1	0	2	2	0		
W/Ta/Mo/V/Nb	0	17	14	10	3	5	15	11	20	36	31		
Ti/Zr	0	10	8	20	10	21	29	30	37	62	71		
Cu	3	11	5	5	1	2	10	4	15	28	28		
Cr	10	2	13	2	7	10	12	19	20	26	10		
Cr+Cu	0	0	0	1	1	3	2	8	6	10	11		
Cr+Mo/W	2	3	3	7	3	3	4	8	26	21	29		
Cr+V	2	0	6	4	3		2	7	11	21	27		
Cr+Nb/Ta	0	2	2	3	2	2	4	4	16	15	28		
Cr+Ti/Zr	0	1	2	5	4	3	2	6	14	24	30		
Cr+Co	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0		
Cr+B	1	3	4	13	3	3	8	9	15	8	33		
Cr+>1,5% Si	0	0	0	0	0	2	0	3	0	2	2		
Cr+>1,7% C	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0		
Cr+>1,5% Mn	0	1	2	5	4	4	11	12	18	24	30		
Cr+Ni	3	2	12	4	5	4	12	17	17	18	6		
Cr+Ni+Cu	1	1	1	2	4	7	9	8	17	29	31		
Cr+Ni+Mo/W	4	1	22	24	13	14	24	24	28	41	45		
Cr+Ni+V	0	0	1	3	9	1	4	9	19	25	39		
Cr+Ni+Nb/Ta	0	1	11	2	9	4	5	6	11	22	52		
Cr+Ni+Ti/Zr	0	2	14	7	10	17	19	30	22	32	62		
Cr+Ni+Co	0	0	0	2		2	1	1	2	6	4		
Cr+Ni+B	2	5	4	16	4	11	16	13	14	24	60		
Cr+Ni+>1,7% C	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2		
Cr+Ni+>1,5% Mn	0	3	9	10	11	8	68	78	108	134	140		
Ag/Se/Te/Sb/>0,04% S	0	2	2	1	1	3	0	4	13	6	12		

ANEXO A

Tabela A.3 Descrição dos subgrupos do grupo C22C-038 da Classificação Internacional de Patentes.

Código	Descrição
C22C 38/00	Ligas ferrosas, p. ex. ligas de aço
C22C 38/02	· contendo silício
C22C 38/04	· contendo manganês
C22C 38/06	· contendo alumínio
C22C 38/08	· contendo níquel
C22C 38/10	· contendo cobalto
C22C 38/12	· contendo tungstênio, tântalo, molibdênio, vanádio ou nióbio
C22C 38/14	· contendo titânio ou zircônio
C22C 38/16	· contendo cobre
C22C 38/18	· contendo cromo
C22C 38/20	· · com cobre
C22C 38/22	· · com molibdênio ou tungstênio
C22C 38/24	· · com vanádio
C22C 38/26	· · com nióbio ou tântalo
C22C 38/28	· · com titânio ou zircônio
C22C 38/30	· · com cobalto
C22C 38/32	· · com boro
C22C 38/34	· · com mais de 1,5% em peso de silício
C22C 38/36	· · com mais de 1,7% em peso de carbono
C22C 38/38	· · com mais de 1,5% em peso de manganês
C22C 38/40	· · com níquel
C22C 38/42	· · · com cobre
C22C 38/44	· · · com molibdênio ou tungstênio
C22C 38/46	· · · com vanádio
C22C 38/48	· · · com nióbio ou tântalo
C22C 38/50	· · · com titânio ou zircônio
C22C 38/52	· · · com cobalto
C22C 38/54	· · · com boro
C22C 38/56	· · · com mais de 1,7% em peso de carbono
C22C 38/58	· · · com mais de 1,5% em peso de manganês
C22C 38/60	· contendo chumbo, selênio, telúrio ou antimônio, ou mais de 0,04% em peso de enxofre

ANEXO B

Tabela B.1 Tabela de composição química segundo a Especificação de Produto nível 2 da API 5L 43rd revision.

Elementos de liga % em peso (máximo)						
Grau	Processo	C	Mn	P	S	Ti
B	Sem costura	0,24	1,20	0,025	0,015	0,04
X42	Sem costura	0,24	1,30	0,025	0,015	0,04
X46	Sem costura	0,24	1,40	0,025	0,015	0,04
X52	Sem costura	0,24	1,40	0,025	0,015	0,04
X56	Sem costura	0,24	1,40	0,025	0,015	0,04
X60	Sem costura	0,24	1,40	0,025	0,015	0,04
X65	Sem costura	0,24	1,40	0,025	0,015	0,06
X70	Sem costura	0,24	1,40	0,025	0,015	0,06
X80	Sem costura	0,24	1,40	0,025	0,015	0,06
B	Soldado	0,22	1,20	0,020	0,015	0,04
X42	Soldado	0,22	1,30	0,020	0,015	0,04
X46	Soldado	0,22	1,40	0,025	0,015	0,04
X52	Soldado	0,22	1,40	0,025	0,015	0,04
X56	Soldado	0,22	1,40	0,025	0,015	0,04
X60	Soldado	0,22	1,40	0,025	0,015	0,04
X65	Soldado	0,22	1,45	0,025	0,015	0,06
X70	Soldado	0,22	1,65	0,025	0,015	0,06
X80	Soldado	0,22	1,85	0,025	0,015	0,06

Nb + V \leq 0,06 % e Nb + V + Ti \leq 0,15 %, exceto acordo prévio entre fabricante e cliente.