



Escola Universitária de Ciências Empresariais, Saúde, Tecnologias e Engenharia

Licenciatura em Engenharia de Materiais

Projeto Final de Licenciatura

ANÁLISE COMPARATIVA DE TUBOS DE AÇOS EM FUNÇÃO DA SUA
MAQUINABILIDADE

Elaborado por:
Joaquim Damião
Nº 20152033

Orientado por:
Prof. Dr. Tessaleno Devezas
Prof. Dra. Sónia Eugénio

Barcarena, julho de 2018



Escola Universitária de Ciências Empresariais, Saúde, Tecnologias e Engenharia

Licenciatura em Engenharia de Materiais

Projeto Final de Licenciatura

ANÁLISE COMPARATIVA DE TUBOS DE AÇOS EM FUNÇÃO DA SUA
MAQUINABILIDADE

Elaborado por:

Joaquim Damião

Nº 20152033

Orientado por:

Prof. Dr. Tessaleno Devezas

Prof. Dra. Sónia Eugénio

Barcarena, julho de 2018

O autor é o único responsável pelas ideias expressas neste relatório.

Agradecimentos

À minha família por todo o apoio e incentivos que recebi.

À empresa Galucho, Indústrias Metalomecânicas e à Atlântica, que através da sua parceria fizeram com que fosse possível frequentar este curso.

Ao orientador Prof. Dr. Tessaleno Devezas pela sua participação efetiva orientando e ajudando nas horas difíceis, correções e incentivos.

À orientadora Prof. Dra. Sónia Eugénio por toda a ajuda prestada e todas as correções feitas no pouco tempo de que dispunha.

Ao Eng. Eduardo Nunes, responsável pelo departamento de qualidade da Galucho, que auxiliou e orientou de forma significativa com os seus conhecimentos sobre os aços e suas normas e durante todas as fases da preparação das amostras para metalografia.

Ao Eng. Duarte Vieira, pelos seus conhecimentos e auxílio prestados durante o teste de dureza aos aços, certificados e envio das amostras para análise.

A todo o corpo docente do curso de Engenharia de Materiais da Atlântica que com o seu profissionalismo, paciência e empenho fez com que fosse possível estar aqui hoje prestes a terminar o curso.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Análise Comparativa de tubos de aços em função da sua maquinabilidade

Resumo

Lotes diferentes de um mesmo tipo de aço podem ter reações diferentes quando são maquinados. Este estudo procurou encontrar respostas para essas diferenças através de análises químicas, testes de dureza e análises metalográficas, que foram comparados com os certificados dos fabricantes dos lotes de aços. Foram encontradas diferenças a nível da composição química e microestrutura. Concluiu-se que as diferenças a nível de composição química e tratamentos diferentes nos lotes de aços originaram as diferenças na maquinação dos mesmos. Foi recomendado à empresa Galucho que deveria passar a comprar lotes de tubo com o tratamento mecânico de trefilação a frio (+C).

Palavras-chaves: Aços; Maquinação de aços; microestrutura dos aços; Tratamentos térmicos dos aços; Especificações dos aços.

Comparative analysis of steel tubes as a function of their machinability

Abstract

Different batches of the same type of steel may have different reactions when machined. This study aimed to find answers to these differences, through chemical analysis, hardness tests and metallographic analysis, which were compared with the certificates of the batches of steel manufacturers. Differences were found in the chemical composition and microstructure. It was concluded that the differences in chemical composition and different treatments in the batches of steels originated the observed differences in machining. It was recommended to the company Galucho that it should start to buying lots of tube with the cold drawing (+ C) mechanical treatment.

Key-Words: Steels; Machining of Steels; Microstructure of Steels; Heat treatment of steels; Steel Specifications.

Índice

| | |
|---|-----|
| Introdução | 1 |
| Desenvolvimento | 3 |
| 1. Características e especificações dos aços | 3 |
| 2. Maquinabilidade dos aços | 9 |
| 3. Influência da microestrutura e tratamentos térmicos nos aços | 11 |
| 4. Influência da composição química | 13 |
| 5. Procedimentos | 15 |
| 5.1 Preparação metalográfica de amostras para análise por microscopia óptica.15 | |
| 5.1.1 Extração das amostras | 15 |
| 5.1.2 Montagem a quente em resina | 15 |
| 5.1.3 Desbaste das amostras | 16 |
| 5.1.4 Polimento das amostras | 17 |
| 5.1.5 Contrastação | 17 |
| 5.2 Teste de dureza | 18 |
| 5.3 Microscopia Ótica | 18 |
| 6. Resultados | 19 |
| 6.1 Análise visual à Limalha | 19 |
| 6.2 Análise comparativa dos certificados dos fabricantes | 20 |
| 6.3 Análise química aos resultados dos lotes | 21 |
| 6.4 Análise aos resultados da microscopia | 22 |
| Conclusões | 25 |
| Referências Bibliográficas | 27 |
| Anexos | 31 |
| Anexo 1- Lista de Chave de Aços | i |
| Anexo 2- Tabela de conversão de HB para RM do Durómetro Wolpert | iii |
| Anexo 3- Certificado do Tubo Bom (TB) | v |
| Anexo 4- Certificado do Tubo Mau (TM) | vii |
| Anexo 5- Análise Química de TM e TB poer entidade externa | xii |

Lista de abreviaturas e siglas

Tubo Bom – TB

Tubo Mau – TM

Versus – vs.

Página – p.

Resistência mecânica - RM

Unidade de medida de tensão – MPa

Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica - CATIM

Hardness Brinell - HB

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1- Tubo com boa maquinabilidade | 1 |
| Figura 2- Tubo com má maquinabilidade | 2 |
| Figura 3- Diagrama ferro-carbono com representações esquemáticas das microestruturas para uma liga de composição hipoeutetoide | 7 |
| Figura 4- Tipos de limalhas | 10 |
| Figura 5- Serrote para corte mecânico | 15 |
| Figura 6- Prensa metalográfica Struers Prontopress - 2 | 16 |
| Figura 7- Amostras dos lotes TM e TB | 16 |
| Figura 8- Polidora elétrica Knuth-Rotor 2 | 17 |
| Figura 9- Polidora Streurs Dap U | 17 |
| Figura 10- Durómetro Woplert | 18 |
| Figura 11- Limalha do tubo do lote TB (tubo com boa maquinabilidade) | 19 |
| Figura 12- Limalha do tubo do lote TM (tubo com má maquinabilidade) | 20 |
| Figura 13- TM, ampliação 200x | 22 |
| Figura 14- TM, ampliação 500x | 23 |
| Figura 15- TB, ampliação 200x | 23 |
| Figura 16- TB, ampliação 500x | 24 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1- Chave de aços 1.0580 | 4 |
| Tabela 2- Propriedades mecânicas do aço E355/ST52 | 5 |
| Tabela 3- Equivalências do aço E355 (1.0580) | 6 |
| Tabela 4- Tipos de tratamentos térmicos em tubo de aço ST52/E355 | 8 |
| Tabela 5- Propriedades mecânicas Din EN 10305-1 do aço E355/ST52 | 8 |
| Tabela 6- Resistência mecânica (RM) e dureza (HB) dos lotes TB vs. TM indicada no certificado do fabricante e determinada experimentalmente | 21 |
| Tabela 7- Composição química dos aços dos lotes TB e TM indicada no Certificado do fabricante e determinada por entidade externa | 21 |

Introdução

A empresa Galucho, Indústrias metalomecânicas SA, onde trabalho, fabrica entre outros produtos, corpos para cilindros hidráulicos a partir de um aço estrutural, com uma resistência mecânica entre os 470 e os 640 MPa, com a denominação ST52 e/ou E355. Estes aços são adquiridos a diferentes fornecedores, que por sua vez os adquirem a diferentes fabricantes.

Apesar de os aços estruturais utilizados terem o mesmo intervalo de composição química, aquando da sua maquinação em tornos automáticos são claramente visíveis diferentes comportamentos. Em alguns lotes de tubos (Figura 1), as limalhas são pequenas e a maquinação decorre sem problemas. Noutros lotes (Figura 2), as limalhas são longas e enrolam-se na ferramenta de corte, provocando vibrações na ferramenta, obrigando a paragens e à redução de velocidade da maquinação e alterando o tempo de maquinação. Ocorrem também alterações no acabamento final da peça, normalmente com perda de qualidade no acabamento fino, ficando o mesmo com rugosidades derivadas das vibrações, sendo perfeitamente perceptível na Figura 2 (Tubo com má maquinabilidade) em comparação com a Figura 1 (Tubo com boa maquinabilidade).



Figura 1- Tubo com uma boa maquinabilidade

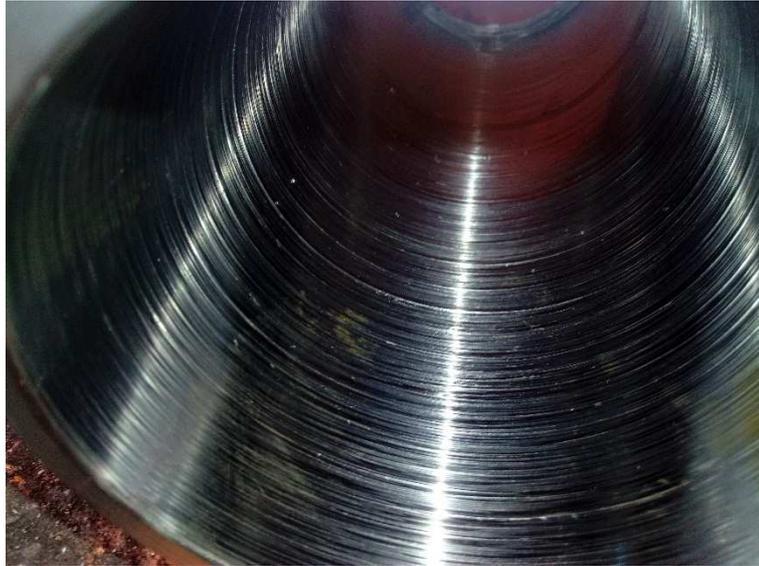


Figura 2- Tubo com uma má maquinabilidade

Neste projeto foi feito um estudo para entender o que leva a esta diferença de comportamento na maquinação. Com este objetivo específico foram analisados por comparação os certificados de um lote de tubos com uma boa maquinabilidade (TB), e um lote de tubos com uma má maquinabilidade (TM). Foram extraídas amostras dos respectivos lotes de TB e TM tendo sido solicitadas análises químicas ao Centro de Apoio à Indústria Metalomecânica (CATIM). Da mesma forma, foram extraídas amostras dos lotes TB e TM para preparação metalográfica (montagem a quente, polimento e ataque químico), efetuada no laboratório da empresa Galucho. A análise metalográfica das amostras dos lotes TB e TM foi efetuada por microscopia ótica no laboratório da Atlântica de modo a visualizar na sua microestrutura, o tamanho e forma de grão e a distribuição de fases. Adicionalmente foram efetuados testes de dureza aos lotes para posterior comparação aos seus respectivos certificados. Uma vez concluídas todas as análises e comparações pertinentes foi elaborado um relatório ao departamento de qualidade da empresa Galucho liderado pelo Eng. Eduardo Nunes, com as conclusões deste estudo.

Desenvolvimento

1. Características e especificações dos aços

Uma liga metálica consiste na união de dois ou mais elementos químicos onde pelo menos um é um metal (Pannoni, 2017). Como exemplos temos o bronze (liga de cobre e estanho), o latão (liga de cobre e zinco), o aço carbono (liga de ferro e carbono), entre outros. Aço é a denominação genérica para ligas de ferro-carbono, com teores de carbono de 0,008 a 2,11 %. Os aços-carbono podem ser também divididos em três categorias segundo o seu conteúdo em carbono: aços baixo carbono ($\%C < 0,25$), aços médio carbono ($0,25 < \%C \leq 0,60$) e aços alto carbono ($0,60 < \%C \leq 2,11$). Nos aços, a adição de carbono ao ferro, leva à formação de um carboneto de ferro (Fe_3C), mais conhecido por cementite. A cementite é uma substância muito dura, que aumenta a resistência mecânica do aço (relativamente ao ferro puro), mas diminui a ductilidade e resistência ao impacto (Instituto Federal de Santa Catarina, 2009). Outros elementos, como o silício, o fósforo, o enxofre, e o manganês entre outros, também podem ser usados no processo de produção dos aços. De acordo com o teor total de elementos de liga presentes, podem-se dividir os aços ligados em três classes: aços baixa liga com adições de elementos de liga até 5%, aços média liga com adições entre 5 e 10% e aços alta liga com adições superiores a 10%.

O aço é a mais versátil e a mais importante das ligas metálicas podendo ser produzido com uma enorme variedade de características que podem ser controladas de modo a atender um certo uso específico. O produto final pode ser uma ponte, um fogão, um prédio ou uma simples colher. O aço é produzido numa grande variedade de tipos e formatos, cada qual para atender com mais eficiência a uma ou mais aplicações. Existem mais de 3500 tipos diferentes de aços e cerca de 75% deles foram desenvolvidos nos últimos 20 anos, segundo o Portal “Met@lica Construção Civil”. Os aços diferenciam-se entre si pela forma, tamanho e uniformidade dos grãos que o compõem e, é claro, pela sua composição química. Esta pode ser alterada em função do interesse da sua aplicação final, obtendo-se através da adição de determinados elementos químicos aços com diferentes graus de resistência mecânica, soldabilidade, ductilidade, resistência à corrosão, entre outros.

De maneira geral, os aços possuem excelentes propriedades mecânicas: resistem bem à tração, à compressão, à flexão, e como é um material homogêneo, pode ser laminado, forjado, estampado, estriado e as suas propriedades podem ainda ser modificadas por tratamentos térmicos ou químicos.

Para nos regularmos no dia-a-dia, no meio de uma tão grande variedade de produtos diferentes, foram criadas as normas. Segundo o Instituto Português da Qualidade (2009), uma norma é um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que define regras, linhas de orientação ou características para atividades ou seus resultados, destinados à utilização comum e repetida, visando atingir um grau ótimo de ordem, num dado contexto [NP EN 45020- 2009]. No caso deste estudo, em que se está a trabalhar com aços, as normas ou padrões de aços constituem sistemas de identificação baseado em especificações químicas, mecânicas e/ou metalúrgicas.

O aço em estudo é um aço estrutural, fabricado sob a forma de tubos de aço com a denominação (dada pelo fornecedor) DIN ST52 nascida a partir da norma alemã DIN 17100 que classifica os “aços para construção em geral” em função da resistência à tração. É uma das normas criadas com o objetivo de regulamentar a fabricação e o fornecimento de tubos mecânicos e trefilados. Existem designações equivalentes para o mesmo material na Euronorm (EN), E355, em que a sua chave de aços é a 1.0580 (anexo 1). O intervalo de composição química é apresentado na tabela 1, as propriedades mecânicas na tabela 2 e as suas equivalências na tabela 3.

Tabela 1 – Chave de aços 1.0580

| <u>Tipo de Aço</u> | | <u>Composição química (%)</u> | | | | | |
|---------------------------|-------|--------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| Nome | | Número | C(máx.) | Si(máx.) | Mn(máx.) | P(máx.) | S(máx.) |
| E355 | ST 52 | 1.0580 | 0,22 | 0,55 | 1,60 | 0,025 | 0,025 |

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço E355/ST52 (Steel Number, 2011)

| | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Rm - Tensile strength (MPa) (+U) | 540 | | | |
| Rm - Tensile strength (MPa) (+A) | 450-490 | | | |
| Rm - Tensile strength (MPa) (+N) | 490-630 | | | |
| Nominal thickness (mm): | to 16 | 16 - 40 | 40 - 65 | 65 - 100 |
| Rm - Tensile strength (MPa) (+AR) | 490 | 490 | 490 | 470 |
| Rm - Tensile strength (MPa) (+C) | 640 | | | |
| Rm - Tensile strength (MPa) (+LC) | 580-590 | | | |
| Rm - Tensile strength (MPa) (+SR) | 580-590 | | | |

| | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| ReH - Minimum yield strength (MPa) (+U) | 400 | | | | |
| ReH - Minimum yield strength (MPa) (+N) | 355 | | | | |
| Nominal thickness (mm): | to 16 | 16 - 40 | 40 - 65 | 65 - 80 | 80 - 100 |
| ReH - Minimum yield strength (MPa) (+AR) | 355 | 345 | 335 | 315 | 295 |
| ReH - Minimum yield strength (MPa) (+SR) | 435-450 | | | | |

| | | | | | |
|---|------------|--|--|--|--|
| A - Min. elongation at fracture (%) (+A) or (+N) | 22 | | | | |
| A - Min. elongation at fracture (%) (+U) | 5 | | | | |
| A - Min. elongation at fracture (%) longitud., (+AR) | 20 | | | | |
| A - Min. elongation at fracture (%) (+C) | 4 | | | | |
| A - Min. elongation at fracture (%) (+SR) | 10 | | | | |
| A - Min. elongation at fracture (%) (+A) | 22 | | | | |
| A - Min. elongation at fracture (%) (+LC) | 6-7 | | | | |

Tabela 3 – Equivalências do aço E355 (1.0580) (Steel Number, 2011)

| | |
|----------------------------|---|
| EU, EN | E355 (1.0580) |
| USA | GR.65 |
| Alemanha DIN, WNR | 1.0060, E355, St52, St52-3 |
| França AFNOR | E335, Es355, Ts-47 ^a , TU526 |
| Inglaterra BS | CEW5, CFS5, E335, ERW5NKM, ERW5NZF |
| Italia UNI | E335, Fe510 |
| Suécia SS | 1650 |
| Polonia PN | MSt6 |
| Republica Checa CSN | 11600 |
| Austria ONORM | St60F |
| Russia GOST | St60F |
| Internacional ISO | Fe590 |

O aço ST52 é um aço baixo-carbono com percentagem máxima de carbono de 0,22 %. É uma liga de composição hipoeutectóide (0,022-0,77 wt % C) e de acordo com o diagrama de fases ferro-carbono (figura 3) tem à temperatura ambiente uma microestrutura de equilíbrio composta por ferrite proeutectóide e perlite.

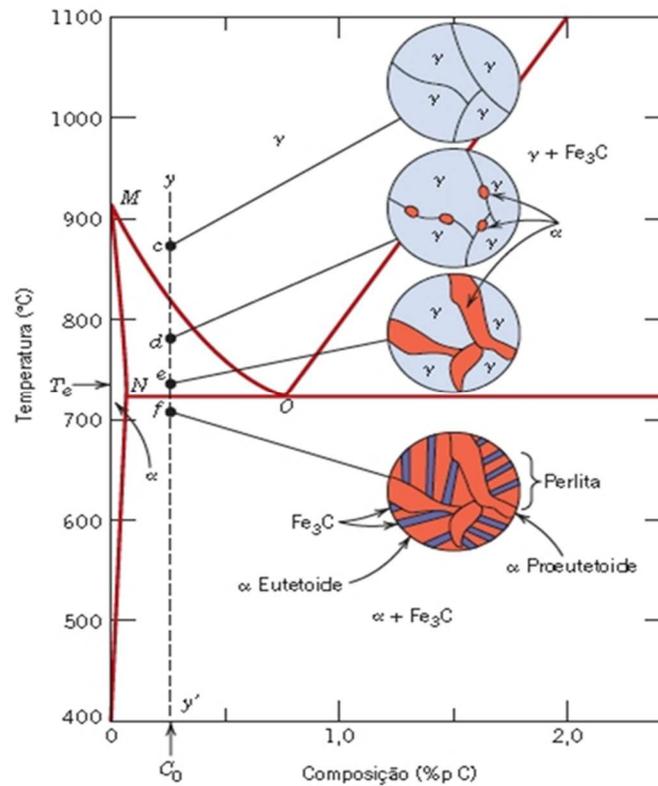


Figura 3- Diagrama ferro-carbono com representações esquemáticas das microestruturas para uma liga de composição hipoeutetoide (Callister & Rethwisch, 2016, p. 309)

Os tubos de aço ST52/E355 podem ser fornecidos com diferentes tratamentos térmicos indicados na tabela 4, que levam a alterações da microestrutura do aço.

Tabela 4 – Tipos de tratamentos em tubos de aço ST52/E355 (Golin, 2018)

| Denominação | Simbologia EN 10305 | Descrição |
|---------------------------------|--------------------------------|---|
| Trefilado / duro | +C | Nenhum tratamento térmico após deformação a frio |
| Trefilado / macio | +LC | Após o tratamento térmico segue uma leve redução de acabamento. |
| Trefilado com alívio de tensões | +SR | Os tubos sofrem um alívio de tensões em fornos com atmosfera controlada |
| Recozido | +A | Os tubos são recozidos em fornos com atmosfera controlada |
| Normalizado | +N | Os tubos são normalizados em fornos com atmosfera controlada em temperatura acima da zona crítica |

Os valores mínimos de resistência mecânica para este tipo de tratamentos estão indicados na tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades mecânicas DIN EN 10305-1 do aço E355/ST52 (Seeberger, 2018)

| +C | +LC | +SR | +A | +N |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| R_m MPa | R_m MPa | R_m MPa | R_m MPa | R_m MPa |
| 640 | 580 | 580 | 450 | 490-630 |

2. Maquinabilidade dos aços

Nos aços, tão importante como as propriedades de desempenho (limite elástico, resistência mecânica, etc.), é o comportamento do material durante o processo de maquinação que deve ser considerado aquando da sua seleção, como refere T. Junio (2016). A maquinabilidade é definida como a facilidade com que o material pode ser cortado, torneado, fresado ou furado, sem prejuízo das suas propriedades mecânicas, estando diretamente ligada à obtenção de componentes com as dimensões desejadas e qualidade superficial satisfatória. A maquinabilidade dos materiais é uma propriedade difícil de determinar, uma vez que cada material impõe condições particulares que vão ditar as normas mais adequadas desse material a ser maquinado. A escolha correta do material a ser maquinado, assim como as ferramentas, líquido de corte, equipamento e as condições de maquinação, a nível económico, são fatores a considerar para o melhoramento do processo de maquinação, podendo reduzir significativamente os custos e tempos de produção reduzidos (Baptista, 2002).

Um dos fatores que influenciam de forma preponderante a maquinabilidade é a dureza do aço. Pode-se definir a dureza como sendo a resistência de um material à penetração na sua superfície. Normalmente, valores altos para a dureza significam dificuldades em maquinar uma peça; no entanto a questão da dureza não serve de modo absoluto como referencial para determinar se um material tem boa maquinabilidade ou não, devido ao facto de que durante a maquinação há formação de limalhas/aparas originadas pela remoção do material em excesso por forma a conferir à peça a geometria e dimensões adequadas, e antes da limalha ser separada da peça, ocorre um certo encruamento do material por ação da ferramenta de corte. Para além disso, uma dureza muito baixa pode, de certo modo, significar uma maior dificuldade na maquinação, já que, se o material for muito dúctil, será muito plástico (caso da ferrite no aço carbono) e o material tende a aderir, em vez de ser arrancado, à ferramenta de corte. Estas limalhas podem ser de vários tipos, como pode ser observada na figura 4, desde longas e contínuas em materiais dúcteis, às limalhas esfareladas e quebradiças de aços mais duros.

As limalhas longas e contínuas, em máquinas de corte como os atuais CNC, podem gerar emaranhados com o formato de ninhos que se acumulam na área de maquinação, representando um risco para o processo, além do risco à integridade física dos operadores das máquinas. O tipo de limalha é, portanto, um bom indicador da maquinabilidade dos materiais, e alguns estudos demonstraram que os metais, ao serem maquinados, devem produzir uma limalha frágil e, portanto, quebradiça, o que cria maior facilidade de manuseamento e operação (Baptista, 2002).

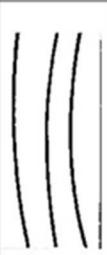
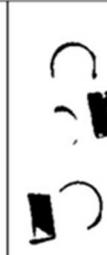
| FITA | | HÉLICE | | | | | OUTROS | | |
|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|
| FITA | EMARANHADO | HÉLICE PLANA | HÉLICE OBLÍQUA | HÉLICE LONGA | HÉLICE CURTA | HÉLICE ESPIRAL | ESPIRAL | VÍRGULA | ARRANCADOS |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| desfavorável | | médio | | | favorável | | médio | | |

Figura 4 – Tipos de limalhas (Super Usinagem, 2011)

A formação da limalha é bastante influenciada pela resistência mecânica e pela ductilidade do material. Uma resistência crescente favorece a quebra da limalha. Impurezas como inclusões na matriz do metal provocam a formação de uma limalha irregular, que se quebra facilmente. Neste contexto, os microconstituintes exercem grande influência sobre a formação da limalha, pois alteram as características de ductilidade e de fragilidade em função da sua presença, quantidade e forma, promovendo diferentes condições para a sua quebra (Baptista, 2002).

3. Influência da microestrutura e tratamentos térmicos nos aços

No caso dos aços, a composição química, a microestrutura e os tratamentos térmicos e mecânicos são fatores essenciais para a melhoria da sua maquinabilidade. Mas o fator que melhor caracteriza a maquinabilidade do aço é a sua microestrutura. Sem se alterar a composição química de um aço, mas simplesmente provocando uma modificação na sua microestrutura, pode-se alterar de forma significativa a maquinabilidade de um aço. Aços com teor de carbono muito baixo (<0,15%), são melhor maquinados, quando normalizados, em vez de recozidos ou encruados, segundo a Infomet (2018).

O tratamento térmico de normalização tem como objetivo aliviar tensões internas, refinar o tamanho de grão e/ou melhorar a tenacidade de um material metálico após processos de produção como a laminação, forjamento, fundição, etc.. A normalização consiste em aquecer um aço a uma temperatura de estabilidade da fase na região austenítica e depois deixar arrefecer ao ar. Os aços normalizados são mais duros e resistentes que os aços recozidos.

Outro tratamento térmico comum nos aços é o recozimento, usado para reduzir a dureza dos aços, com o intento de se obter uma maior maquinabilidade das peças que irão ser trabalhadas. O processo dá-se pelo aquecimento do aço (existem alguns processos que necessitam de atmosfera controlada), e manutenção em temperaturas relativamente baixas entre 550°C e 900°C. A temperatura é estipulada pelo tipo do aço, que pode ser consultado numa tabela do fabricante. O arrefecimento é feito de maneira lenta dentro do forno em que foi aquecido ou à temperatura ambiente. Através deste processo são eliminadas as tensões internas geradas por processos anteriores.

O encruamento refere-se ao aumento da dureza e da resistência mecânica de um metal dúctil à medida que este é deformado plasticamente abaixo da sua temperatura de recristalização. No caso presente dos tubos, o encruamento é normalmente efetuado por trefilação. O encruamento sofrido por deformação a frio aumenta a resistência à tração e o limite de escoamento ao mesmo tempo que diminui a sua ductilidade.

No entanto os aços de baixo carbono (<0,25%), caso do ST522/ E355, apresentam melhor maquinabilidade quando no estado encruado, desde que as tensões internas do encruamento tenham sido aliviadas. Este efeito deve-se ao aumento da dureza provocada pelo encruamento, e tamanho grão ferrítico pequeno, como é referido pela Infomet (2018).

Os aços carbono entre 0,20% e 0,30% têm melhor maquinabilidade quando apresentam estrutura perlítica, com diâmetros acima de 75mm, obtida por simples laminação. Abaixo dos 75mm, a melhor estrutura é a normalizada (Infomet, 2018).

Os aços com teor de carbono entre 0,30% e 0,40% têm melhor maquinabilidade quando apresentam uma estrutura perlítica grosseira, com um mínimo de ferrite obtida por recozimento (Infomet, 2018). Já os aços com teor de carbono entre 0,40% e 0,60%, devem apresentar uma estrutura perlítica lamelar e esferoidite grosseira para melhor maquinação (Infomet, 2018). Aços de alto carbono (acima de 0,60%), são melhor maquinados com uma estrutura esferoidite, de grosseira a fina (Infomet, 2018).

O tratamento térmico de esferoidização é geralmente utilizado em aços de médio e alto teor de carbono com o objetivo de formar uma microestrutura composta por partículas de cementite de formatos próximos ao esférico numa matriz ferrítica. O tratamento reduz significativamente a dureza de aços de alto teor de carbono, aumentando a sua maquinabilidade e a ductilidade. O ciclo térmico consiste no aquecimento do aço numa temperatura normalmente imediatamente abaixo da temperatura eutectóide, seguido inicialmente por um arrefecimento lento por algum tempo e depois por um arrefecimento rápido. De uma forma geral, é considerado um tratamento longo e caro.

Aços com um tamanho de grão austenítico pequeno (inferior a 5 na escala ASTM¹), são mais difíceis de maquinar que outros de maior tamanho de grão, mas em condições semelhantes, para acabamento fino, esses aços de granulação fina são melhores.

¹ O número do tamanho de grão ASTM (n), é dado por: $N = 2^{(n-1)}$ onde n é o tamanho de grão ASTM, e N é o número de grãos por pol² (polegada quadrada) medido com 100x de aumento.

4 . Influência da composição química

As primeiras tentativas de determinar a maquinabilidade de um metal, tendo por base a sua composição química, foram realizadas em 1948 por J. Sorensen e, dez anos mais tarde, por Bodart e os seus colaboradores (Baptista, 2002).

A introdução de elementos de liga nos aços é feita quando se pretende um ou mais dos seguintes efeitos: dureza, resistência mecânica, resistência à corrosão resistência ao calor, resistência ao desgaste, diminuição do peso, refinamento das propriedades elétricas, refinamento das propriedades magnéticas, e também a melhoria da maquinabilidade.

A introdução de forma controlada de inclusões não metálicas melhora apreciavelmente a maquinabilidade; este tipo de aços são os mais “desejáveis” para serem maquinados.

A inclusão de elementos de liga produz modificações estruturais, conduzindo a um endurecimento que tem reflexo sobre as propriedades mecânicas e sobre a maquinabilidade, dependendo da quantidade, forma e distribuição desses elementos.

Os principais elementos de liga que se adicionam para melhorar a maquinabilidade são: o enxofre (S), chumbo (Pb), fósforo (P), estanho (Sn), bismuto (Bi) selênio (Se) e telúrio (Te) (Prado, 2012). De modo isolado, ou formando compostos, interrompem a matriz do aço, facilitando a quebra da limalha, a lubrificação da ferramenta e, por consequência, diminuindo os esforços de corte.

Por contraponto, os elementos formadores de carbonetos (como o vanádio, o nióbio, o tungstênio, o molibdênio) e outros como manganês, cobalto, cromo e níquel têm efeito adverso na maquinabilidade (Prado, 2012).

No entanto, o enxofre e o manganês quando ligados formam o sulfureto de manganês (MnS); sendo o MnS duro e frágil confere às limalhas esta mesma dureza e fragilidade, tornando-as quebradiças e curtas, fator referência de uma boa maquinabilidade.

A quantidade de manganês em relação ao enxofre deve ir desde 3 de manganês para 1 de enxofre, até de 8 para 1; quanto maior a relação entre os dois, melhores serão as propriedades do aço ao ser maquinado a quente (Chiaverini, 1954).

5. Procedimentos

5.1 Preparação metalográfica de amostras para análise por microscopia óptica

5.1.1 Extração das amostras

Foram recolhidas amostras de cada lote, TB e TM, por corte com um serrote mecânico com arrefecimento a água (figura 5), seguido por corte com uma serra manual. As amostras para análise por microscopia óptica têm dimensões de 1cm² e as amostras para análise química 2,5 cm².



Figura 5- Serrote para corte mecânico

5.1.2 Montagem a quente em resina

O manuseamento de amostras de pequena dimensão não permite a adequada manipulação durante o processo de desbaste e polimento, sendo aconselhado a inserção das amostras em resina para aumentar o seu volume. Para esse procedimento foi usado uma mistura de resinas em pó de baquelite e termoplástico.

No laboratório da empresa Galucho, as amostras foram inseridas numa prensa metalográfica Struers Prontopress-2 (figura 6), tendo sido cobertas pela resina para montagem a quente com sistema de refrigeração. Cada amostra esteve durante 8 minutos a uma temperatura de 165°C, sendo seguido de uma fase de arrefecimento durante 4 minutos.



Figura 6- Prensa metalográfica Struers Prontopress-2

5.1.3 Desbaste das amostras

O desbaste das amostras (figura 7) é essencial para a eliminação dos danos causados durante o corte. Este procedimento visa a eliminação dos sulcos e riscos das amostras para que a superfície fique suficientemente plana e cuja profundidade de deformação seja suficientemente fina que permita o seu desaparecimento após a posterior fase de polimento.



Figura 7- Amostras dos lotes TM e TB

O procedimento foi realizado no laboratório da empresa Galucho, numa polidora elétrica com fluxo de água, Knuth-Rotor 2 (figura 8), tendo sido utilizados discos abrasivos (lixas) de granulometrias decrescentes (mesh- grãos/polegada quadrada): 220; 320; 500; 800 e 1000; em cada mudança de lixa rodou-se a amostra em 90°.



Figura 8- Polidora elétrica Knuth-Rotor 2

5.1.4 Polimento das amostras

Com esta operação pretendeu-se obter uma superfície plana, livre de riscos e com alta refletividade. Numa polideira Struers Dap-U (figura 9) do laboratório da empresa Galucho foi colocado um prato magnético com um pano correspondente ao abrasivo a usar. Neste procedimento foi usado pó de diamante em suspensão sob a forma de pasta com granulometrias de 6, 3 e 1 μm .



Figura 9- Polidora Struers Dap U

5.1.5 Contrastação

Para que se possa visualizar a microestrutura através da microscopia é necessário efetuar um tratamento de contrastação no qual a superfície da amostra é atacada quimicamente e de forma diferenciada, dependendo das fases presentes na microestrutura. A contrastação das amostras em estudo foi feita com uma solução de Nital a 3%, que consiste numa mistura de ácido nítrico e etanol.

As amostras foram inseridas nessa solução durante 5 segundos, passando-as logo de seguida por água abundante para parar a reação química; finalizou-se a operação secando as amostras ao ar.

5.2 Teste de dureza

Os lotes de tubos de TB e TM foram sujeitos ao ensaio de dureza Brinell através do durómetro Wolpert (figura 10). também do laboratório da empresa Galucho. Neste procedimento, após o corte e polimento das amostras, foi aplicada uma carga estática de 187,5 Kg durante 20 segundos nas amostras, com um indentador de esfera de diâmetro 2,5 mm. A indentação causada pela carga aplicada nas amostras foi ampliada pela lente de 70x que a máquina possui, tendo-se procedido à sua medição e comparação com as tabelas, para se conhecer os valores da dureza das amostras em HB (Hardness Brinell) e valores de resistência mecânica dos materiais ensaiados.



Figura 10- Durómetro Wolpert

5.3 Microscopia ótica

As amostras montadas foram analisadas por microscopia ótica num microscópio Leica DM2700M, do laboratório da Atlântica com ampliações entre 50 e 1000x de modo a observar e caracterizar a sua microestrutura. Apenas as ampliações de 200x e de 500x permitiram uma boa visualização e análise das microestruturas, tendo estas ampliações sido utilizadas para os resultados.

6. Resultados

6.1 Análise visual à limalha

A figura 11 mostra a limalha formada durante a maquinação do aço do lote TB (tubo com boa maquinabilidade), onde é perfeitamente perceptível que as limalhas são de pequenas dimensões do tipo espiral. Este tipo de limalha é facilmente escoado com o caudal de água debitado sobre a ferramenta de corte, o que evita os entupimentos e as vibrações.



Figura 11- Limalha do tubo do lote TB (tubo com boa maquinabilidade)

A figura 12 mostra a limalha formada durante a maquinação do aço do lote TM (tubo com uma má maquinabilidade), onde se denota perfeitamente as limalhas longas do tipo emaranhado, sinal evidente que as limalhas não são quebradiças. Este tipo de limalha pode provocar problemas na maquinação, tal como entupimentos e vibrações.



Figura 12- Limalha do tubo do lote TM (tubo com má maquinabilidade).

6.2 Análise comparativa dos certificados dos fabricantes

Na Tabela 5 indicam-se os valores da resistência mecânica do aço dos lotes TB e TM indicados pelo fabricante e os valores determinados experimentalmente na Galucho. Por análise dos resultados, pode-se constatar que as resistências mecânicas (medidas experimentalmente através de um teste de dureza e convertidos em resistência mecânica através de tabelas do durómetro Wolpert (anexo 2), estão um pouco acima do declarado pelos fabricantes, sendo também claro que o tubo com uma boa maquinabilidade tem uma dureza superior à do tubo com uma má maquinabilidade, vindo isso ao encontro da parte teórica que diz que valores altos para a dureza significam dificuldades em maquinar uma peça, mas que no entanto em materiais dúcteis valores de dureza um pouco maiores facilita a quebra da limalha (Baptista, 2002).

Tabela 6- Resistência mecânica (RM) e dureza (HB) dos lotes TB vs. TM indicada no certificado do fabricante e determinada experimentalmente.

| Lote | Certificado Fabricante (RM) | Ensaio Galucho | |
|-----------|--------------------------------|----------------|---------|
| | | (HB) | (RM) |
| TB | 567 MPa | 184 | 622 MPa |
| TM | 502 MPa | 158 | 535 MPa |

6.3. Análise química aos resultados dos lotes

A tabela 7 indica a composição química dos aços dos lotes TB e TM indicada no Certificado dos Fabricantes e obtida através de análise em entidade externa (CATIM), apresentadas nos Anexos 3, 4 e 5, respectivamente. Por comparação, ressalta logo a diferença de carbono entre os lotes, com maior proeminência de carbono no lote TB em relação a TM. Este resultado é consistente com os resultados do teste de dureza, já que mais carbono implica maior dureza. O outro elemento químico que tem também uma diferença significativa de um lote para o outro é o silício. No entanto, este elemento só é acrescentado ao metal líquido para auxiliar na desoxidação e impedir a formação de bolhas nos lingotes; está presente no aço, em teores de até 0,6 %, e não tem grande influência nas suas propriedades (Instituto Federal de Santa Catarina, 2009).

Tabela 7- Composição química dos aços dos lotes TB e TM indicada no Certificado do fabricante (Anexos 2 e 3) e determinada por entidade externa (Anexo 4).

| Composição química (% at) | | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------|---------------------------|-----------|
| Elemento Químico | Tubo bom | | Tubo mau | |
| | Certificado do fabricante | CATIM | Certificado do fabricante | CATIM |
| C | 0,18 % | 0,18 % | 0,12 % | 0,12 % |
| Mn | 1,35 % | 1,41 % | 1,44 % | 1,46 % |
| S | 0,002 % | 0,005 % | 0,0013 % | < 0,004 % |
| P | 0,013 % | 0,014 % | 0,012 % | 0,012 % |
| Si | 0,21 % | 0,35 % | 0,19 % | 0,18 % |
| Ni | 0,07 % | 0,018 % | 0,03 % | 0,024 % |
| Cr | 0,05 % | 0,073 % | 0,05 % | 0,05 % |

| | | | | |
|-----------|---------|----------|---------|---------|
| Mo | 0,01 % | 0,008 % | 0,01 % | 0,005 |
| Cu | 0,27 % | 0,052 % | 0,02 % | 0,016 % |
| Al | 0,028 % | 0,0024 % | 0,034 % | 0,034 % |
| Nb | 0,002 % | - | 0,03 % | - |
| Ti | 0,002 % | - | 0,005 % | - |
| V | 0,019 % | 0,066 % | 0,06 % | 0,064 % |

6.4 Análise aos resultados de microscopia ótica

A análise por microscopia ótica revelou a presença de perlite e ferrite proeutetóide em ambas as amostras, conforme esperado. A perlite apresenta uma estrutura em lamelas alternadas de cementite (Fe_3C , zonas escuras), e de ferrite eutetóide (zonas claras), e em pequenas porções isoladas, separadas por ferrite proeutetóide.

As figuras 13 e 14 mostram uma ampliação de 200x e 500x respectivamente, da amostra do tubo com uma má maquinabilidade. Nesta microestrutura, pode-se observar que os grãos de perlite estão espalhados de forma aleatória pela amostra.

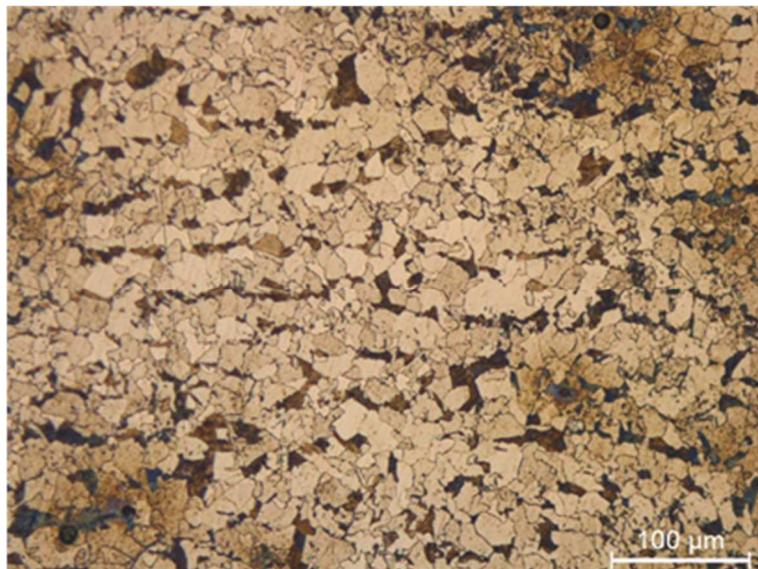


Figura 13- TM, ampliação 200x

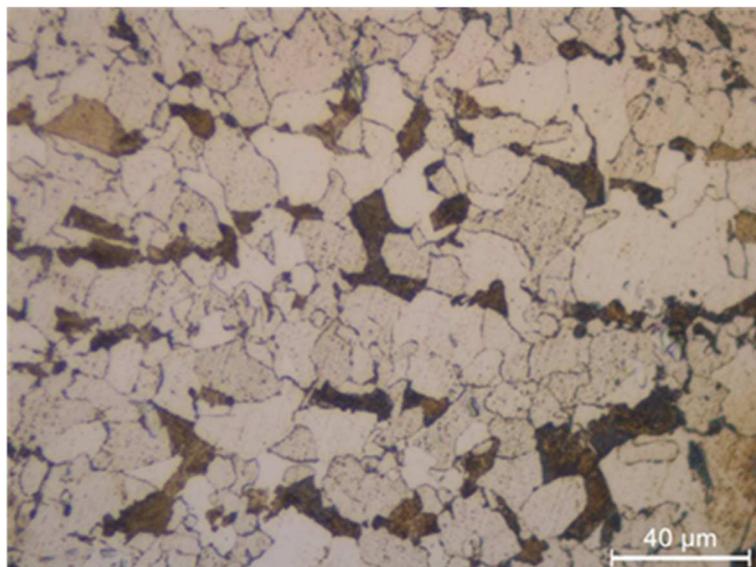


Figura 14- TM, ampliação 500x

Comparando com as figuras 15 e 16 (tubo com boa maquinabilidade) com a mesma ampliação, os grãos, tanto da perlite como da ferrite, têm uma forma alongada na direção da laminação.

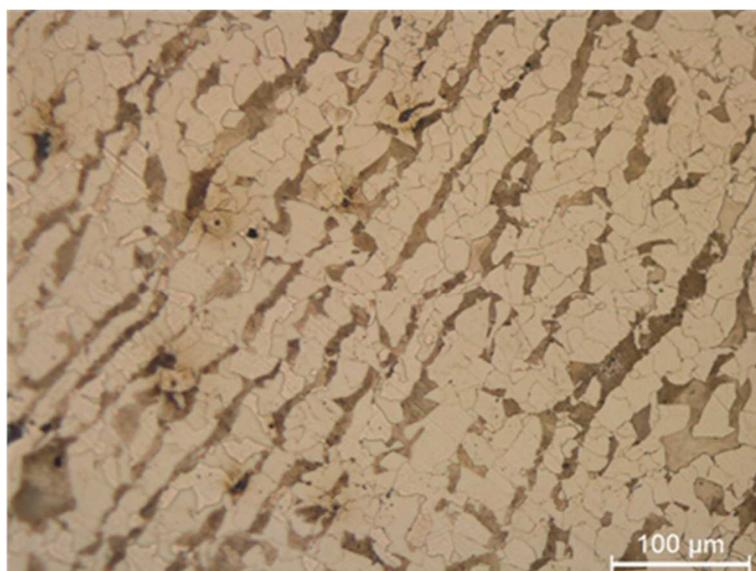


Figura 15- TB, ampliação 200x

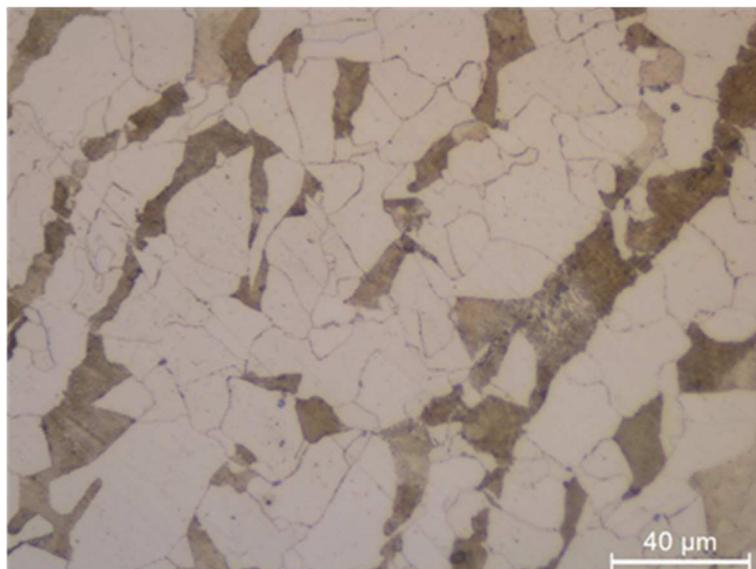


Figura 16- TB, ampliação 500x

Estes resultados indicam que os lotes de tubos foram alvo de tratamentos térmicos e/ou mecânicos diferentes aquando da sua fabricação, resultando nas diferenças de microestrutura observadas entre as amostras.

Conclusões

Neste trabalho abordámos o assunto da maquinabilidade de tubos de aço com a denominação ST52 e/ou E355, em que diferentes lotes tinham comportamentos diferentes durante a maquinação. Por informação recolhida dos fabricantes ficámos a saber que esse tipo de tubos pode ser fornecido com diferentes tipos de tratamentos térmicos, e que esses mesmos tratamentos térmicos alteram a dureza e resistência mecânica dos mesmos. Foram retiradas amostras dos diferentes lotes de tubos e feitas análises químicas e metalográficas, além do teste de dureza. De todos os dados recolhidos verificou-se que as análises químicas estavam em consonância com os certificados dos fabricantes e que, tal como indicavam estes certificados, o lote de tubos com uma boa maquinabilidade tinha mais carbono do que o lote de tubos com uma má maquinabilidade. Nos testes de dureza verificou-se que a mesma estava um pouco superior em ambos os casos do que os respetivos certificados; em comparação entre eles o lote TB tinha uma resistência mecânica superior ao do lote TM. Na análise metalográfica das amostras verificou-se que o lote TB tinha os grãos alongados na direção da laminação na forma de lamelas, enquanto os do lote TM não tinham forma alongada e estavam distribuídos de forma aleatória.

Pelas observações feitas às amostras e por todos os dados recolhidos, posso concluir que no lote de tubos E355 com uma boa maquinabilidade foi usado o tratamento de trefilação a frio (+C), o que deu origem aos grãos alongados, ao aumento da sua dureza e da resistência mecânica, proporcionando na maquinação uma quebra nas aparas, resultando em limalhas pequenas que foram facilmente escoadas pelo fluxo de água de arrefecimento da ferramenta de corte, não dando assim problemas na maquinação das peças. Em relação ao lote de tubos com uma má maquinabilidade, pelo tipo de grãos e pela resistência mecânica, podemos concluir que foi efetuado o tratamento de normalização (+N), que resulta numa baixa resistência mecânica do aço aliada à sua baixa dureza, o que por sua vez confere uma maior dificuldade na maquinação, já que, como o material é muito dúctil e muito plástico, o material tende a aderir, em vez de ser arrancado, à ferramenta de corte provocando as limalhas longas que estão na origem das vibrações na ferramenta de corte.

Este trabalho foi muito importante para o meu conhecimento, compreensão e aprofundamento dos aços e do seu comportamento ao nível da maquinação, tendo também contribuído para o meu aperfeiçoamento a nível de competências de investigação e análise.

Referências Bibliográficas

- Alves, J. L. (2005). *Diagrama de Equilibrio das ligas Fe-C*. Acedido 14-05-2018. Disponível <https://paginas.fe.up.pt/~falves/DiagramaFeC.pdf>
- Baptista, A. L. B. (2002). Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços. VRev. Esc. Minas [online], vol. 56, n. 2, pp. 103-109. Acedido 29-03/2018. Disponível http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672002000200006
- Callister, Jr., W. D. & Rethwish, D. G. (2016). *Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução*. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora
- Cavstel Welding. *Aços - tabela de equivalência*. Acedido 26-05-2018. Disponível <http://fernandobatista.net/download.php?f=cf335bece75362f3cb3ef8cc054bd%3Cstrong%3E1%3C/strong%3Ebb>
- Chiaverini, V. (1954). Aços de usinagem fácil. In I. Berezin (Ed.) *Boletim Geologia e Metalurgia*, 11 (pp. 107-110). Acedido 15-04-2018. Disponível <http://sites.poli.usp.br/geologiaemetalurgia/Revistas/Edi%C3%A7%C3%A3o%2011/artigo11.13.pdf>
- Eugénio, S. (2017). Metais: Ligas Ferrosas. Acedido 03-03-2018. Disponível em Moodle Atlântica.
- Fermac. *Recozimento*. Acedido 20-05-2018. Disponível <http://tratamentotermico.com/recozimento.html>
- Ferraresi, V. A. (2014). *Ligas Ferro-Carbono*. Acedido 14-05-2018. Disponível <ftp://mecanica.ufu.br/LIVRE/Valtair%20-%20Metalurgia/MMAT-5-ligas%20fe-c.pdf>
- Golin. *Trefilados Tubulares*. Acedido 31-05-2018. Disponível https://golin.com.br/wp-content/uploads/2018/01/T09-Tabela_tubos_trefilados_fornecimento-din-en-10305-2.pdf
- Infomet. *Sistemas de classificação dos aços*. Acedido 08-04-2018. Disponível <http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=4>

Infomet. *Fatores metalúrgicos que influenciam a usinabilidade*. Acedido 29-03-2018. Disponível <http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=48>

Instituto Federal de Santa Catarina. *Melhorando as propriedades dos aços*. Acedido 22-05-2018. Disponível https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/7/7d/Aula_06.pdf

Instituto Português da Qualidade (2009). *Manual da normalização*. Lisboa: Ministério da Economia e Educação

Instituto Superior de Engenharia do Porto. *Procedimento lixamento e Polimento da amostra*. Acedido 06-05-2018. Disponível http://www.dem.isep.ipp.pt/uploads/DEM_PDFs/Laboratorios_Docs/LMET/procedimentos/procedimento%20lixamento_polimento%20labopol.pdf

Junio, T. *Usinabilidade*. Acedido 29-03-2018. Disponível <http://www.ebah.pt/content/ABAAAghLwAL/usinabilidade>

Lopes, R. F.. *Preparação de Amostras para Análise Microestrutural-1*. Acedido 06-05-2018 Disponível <http://www.ebah.pt/content/ABAAAfoDYAB/preparacao-amostras-analise-microestrutural-1>

Metal Data.info. *E355 EN 10305-1 (Euronorm)*. Acedido 08-04-2018. Disponível <https://www.metaldata.info/reports/E355.pdf>

Moraes, A. L. & Carvalho, F. A. (2016). *Análise da Microestrutura e das Propriedades Mecânicas do Aço IF – Nb/Ti*. Rio de Janeiro: Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Acedido 28-05-2018. Disponível http://www.cefet-rj.br/attachments/article/2943/An%C3%A1lise%20da%20Microestrutura%20e%20das%20Propriedades%20Mecânicas%20do%20A%C3%A7o%20IF%20Nb_Ti.pdf

Pannoni, F. D. *Aços Estruturais*. Acedido 26-05-2018. Disponível https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=acos-estruturais-astm-a-36

Portal Met@lica Construção Civil. Aços Estruturais. Acedido 26-05-2018. Disponível <http://www.metalica.com.br/acos-estruturais>

Prado, W. *Usinabilidade dos Materiais*. Acedido 29-03-2018. Disponível http://mundomecanico.com.br/wp-content/uploads/2012/08/Aula_9_-_Usinabilidade_dos_Materiais.pdf

Sandvik Coromant. *Usinabilidade – definição*. Acedido 26-05-2018. Disponível https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/materials/workpiece_materials/machinability_definition/pages/default.aspx

Seeberger. *Material data sheet E355*. Acedido 08-04-2018. Disponível <https://www.seeberger.net/assets/pdf/werkstoffe/stahl/en/E355>

Steel Number. *E355 (1.0580)*. Acedido 07-05-2018. Disponível http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=570

Super Usinagem. (2011) *Cavacos*. Acedido 01-06-2018. Disponível <http://superusinagem.blogspot.com/2011/03/cavacos.html>

Total Materia. *Normas de Aços*. Acedido 08-04-2018. Disponível <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=NormasdeAcos&LN=PT>

Vallourec. *Tubos Mecânicos*. Acedido 08-04-2018. Disponível http://www.vallourec.com/COUNTRIES/BRAZIL/EN/Media/Catalogues/Documents/Catalogo_Mec%C3%A2nico.pdf

Wegst, C. & Wegst, M. (2010). *Stahlschlüssel*. Marbach: Vergal Stahlschlüssel Wegst GMBH

Anexos

Anexo 1

Lista de Chave de Aços (Wegst & Wegst, 2010, p.519)

| BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND | | REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE | | FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|---|----------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|--------|-----------------------|--------|---------------------|---------|--|
| Werkstoff-Nummern-Verzeichnis | | Liste des numéros de matière | | Standard-number arrangement | | | | | | | | | |
| Wkt. No. du mat. | Kurzname Symbole Symbol | DIN | Analyse | | | Composition | | | | | | | |
| | | | C | Si | Mn | | P | S | Cr | Al | Cu | N | Pb |
| 1.0354 | S355J00 / S323 U | EN 10225-2; EN 10249-1 | ≤ 0,20 ^{a)} | ≤ 0,35 | ≤ 1,60 | 0,040 | 0,030 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,009 ¹⁾ | ≤ 0,015 | V ≤ 0,03; Mo ≤ 0,03; Nb ≤ 0,20; Ti ≤ 0,05 |
| 1.0355 | S355 Q3 T / S355 Q3 T1 | EN 10268 | ≤ 0,16 | ≤ 0,30 | ≤ 1,60 | 0,025 | 0,025 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,015 | ≤ 0,015 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0357 | P355 NB | EN 10270 | ≤ 0,20 | ≤ 0,50 | ≤ 1,60 | 0,025 | 0,015 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 ²⁾ | ≤ 0,20 | 0,009 ³⁾ | ≤ 0,015 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12 |
| 1.0359 | GE300 / G5-60 | EN 10263 | ≤ 0,12 | ≤ 0,50 | ≤ 1,60 | 0,035 | 0,030 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,015 | ≤ 0,015 | V ≤ 0,03; Mo ≤ 0,03; Nb ≤ 0,20; Ti ≤ 0,05 |
| 1.0360 | S355 S2 / S355 S2 | EN 10263 | ≤ 0,16 | ≤ 0,50 | ≤ 1,60 | 0,035 | 0,030 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,015 | ≤ 0,015 | V ≤ 0,03; Mo ≤ 0,03; Nb ≤ 0,20; Ti ≤ 0,05 |
| 1.0361 | GL-E-40 / GL-EH-40 (S390G35) | EN 10263 | ≤ 0,16 | ≤ 0,50 | ≤ 1,60 | 0,040 | 0,040 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,015 | ≤ 0,015 | V ≤ 0,03; Mo ≤ 0,03; Nb ≤ 0,20; Ti ≤ 0,05 |
| 1.0362 | P355 N / S355 N | EN 10271-3; SEW 081-2 | ≤ 0,18 ⁴⁾ | ≤ 0,50 | ≤ 1,10-1,70 ⁵⁾ | 0,025 | 0,015 ⁶⁾ | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 ⁷⁾ | ≤ 0,30 | 0,012 ⁸⁾ | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,05; Nb ≤ 0,50; Ti ≤ 0,10; Ti ≤ 0,03; Nb ≤ 0,03; Mo ≤ 0,03; (Nb+Ti+V) ≤ 0,12 ⁹⁾ |
| 1.0363 | E-75 | EN 10263 | ≤ 0,18 ⁴⁾ | ≤ 0,50 | ≤ 1,10-1,70 ⁵⁾ | 0,030 | 0,030 | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 ⁷⁾ | ≤ 0,30 | 0,012 ⁸⁾ | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,05; Nb ≤ 0,50; Ti ≤ 0,10; Ti ≤ 0,03; Nb ≤ 0,03; Mo ≤ 0,03; (Nb+Ti+V) ≤ 0,12 ⁹⁾ |
| 1.0364 | N-80 | EN 10263 | ≤ 0,18 ⁴⁾ | ≤ 0,50 | ≤ 1,10-1,70 ⁵⁾ | 0,030 | 0,030 | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 ⁷⁾ | ≤ 0,30 | 0,012 ⁸⁾ | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,05; Nb ≤ 0,50; Ti ≤ 0,10; Ti ≤ 0,03; Nb ≤ 0,03; Mo ≤ 0,03; (Nb+Ti+V) ≤ 0,12 ⁹⁾ |
| 1.0365 | S355 NH / NS355 | EN 10224-3; EN 10273; SEW 081-2 | ≤ 0,18 ⁴⁾ | ≤ 0,50 | ≤ 1,10-1,70 ⁵⁾ | 0,025 | 0,015 ⁶⁾ | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 ⁷⁾ | ≤ 0,30 | 0,012 ⁸⁾ | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,05; Nb ≤ 0,50; Ti ≤ 0,10; Ti ≤ 0,03; Nb ≤ 0,03; Mo ≤ 0,03; (Nb+Ti+V) ≤ 0,12 ⁹⁾ |
| 1.0366 | P355 NL1 / NS355 | EN 10224-3; EN 10271-3; SEW 081-2 | ≤ 0,32 | ≤ 0,25 | ≤ 0,80 | 0,080 | 0,060 | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 ⁷⁾ | ≤ 0,30 | 0,012 ⁸⁾ | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,05; Nb ≤ 0,50; Ti ≤ 0,10; Ti ≤ 0,03; Nb ≤ 0,03; Mo ≤ 0,03; (Nb+Ti+V) ≤ 0,12 ⁹⁾ |
| 1.0367 | 32 Mn 3 | EN 10263 | ≤ 0,32 | ≤ 0,25 | ≤ 0,80 | 0,080 | 0,060 | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 ⁷⁾ | ≤ 0,30 | 0,012 ⁸⁾ | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,05; Nb ≤ 0,50; Ti ≤ 0,10; Ti ≤ 0,03; Nb ≤ 0,03; Mo ≤ 0,03; (Nb+Ti+V) ≤ 0,12 ⁹⁾ |
| 1.0368 | 39 Mn 4 | EN 10263 | ≤ 0,32 | ≤ 0,25 | ≤ 0,80 | 0,080 | 0,060 | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 ⁷⁾ | ≤ 0,30 | 0,012 ⁸⁾ | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,05; Nb ≤ 0,50; Ti ≤ 0,10; Ti ≤ 0,03; Nb ≤ 0,03; Mo ≤ 0,03; (Nb+Ti+V) ≤ 0,12 ⁹⁾ |
| 1.0369 | S355 J263 C (S355 J263) | EN 10263 | ≤ 0,20 | ≤ 0,35 | ≤ 1,60 | 0,035 | 0,035 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,015 | ≤ 0,015 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0370 | S355 J263 (S355 J263) | EN 10263 | ≤ 0,20 | ≤ 0,35 | ≤ 1,60 | 0,035 | 0,035 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,015 | ≤ 0,015 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0371 | P355 OH1 | EN 10222-4 | ≤ 0,20 | ≤ 0,35 | ≤ 1,60 | 0,035 | 0,035 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,015 | ≤ 0,015 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0372 | S355 J263 F / PS 2-3 | EN 10222-4 | ≤ 0,20 | ≤ 0,35 | ≤ 1,60 | 0,040 | 0,040 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,015 | ≤ 0,015 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0373 | OS 323 (S355 J263) | EN 10222-4 | ≤ 0,20 | ≤ 0,35 | ≤ 1,60 | 0,040 | 0,040 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,015 | ≤ 0,015 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0374 | HC 400 LA / H400 / ZSE 400 | EN 10222-4 | ≤ 0,20 | ≤ 0,35 | ≤ 1,60 | 0,040 | 0,040 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,015 | ≤ 0,015 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0375 | E420 | EN 10263 | ≤ 0,16 | ≤ 0,50 | ≤ 1,70 | 0,025 | 0,025 | ≤ 0,20 | ≥ 0,020 | ≤ 0,20 | 0,012 | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0376 | S355 J2H / NS355 J263 / S323 N | EN 10270-1; EN 10219-1 | ≤ 0,16 | ≤ 0,50 | ≤ 1,60 | 0,025 ¹⁰⁾ | 0,025 ¹¹⁾ | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 | ≤ 0,30 | 0,012 | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0377 | S355 J2G / S355 J2G4 | EN 10263-2 | ≤ 0,16 | ≤ 0,50 | ≤ 1,60 | 0,025 ¹⁰⁾ | 0,025 ¹¹⁾ | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 | ≤ 0,30 | 0,012 | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0378 | L380 NB / S355 J2G | EN 10263-2 | ≤ 0,16 | ≤ 0,50 | ≤ 1,60 | 0,025 ¹⁰⁾ | 0,025 ¹¹⁾ | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 | ≤ 0,30 | 0,012 | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0379 | S355 J2C / S355 J2G4C | EN 10263-2; EN 10277-2 | ≤ 0,16 | ≤ 0,50 | ≤ 1,60 | 0,025 ¹⁰⁾ | 0,025 ¹¹⁾ | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 | ≤ 0,30 | 0,012 | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |
| 1.0380 | E385 / S355 G17 / S323 | EN 10264; EN 10268-1; EN 10297-1; EN 10305-1; 2; 3; 4; 5; 6 | ≤ 0,22 | ≤ 0,55 | ≤ 1,60 | 0,025 ¹²⁾ | 0,025 ¹³⁾ | ≤ 0,30 | ≥ 0,020 | ≤ 0,30 | 0,012 | ≤ 0,012 | Mo ≤ 0,03; Ti ≤ 0,12; Nb ≤ 0,05 |

Tradução da próxima página - Suite prochaine page - Continued on next page

Anexo 2

Tabela de conversão de HB para RM do Durómetro Wolpert

TABELAS DE CONVERSÃO

- Aços de baixa liga laminados a quente ou tratados

Umwertungstabelle / Conversion table / Tableau de conversion

Für unlegierte und niedriglegierte Stähle und Stahluß im warmgewalzten oder wärmebehandelten Zustand. Bei hochlegierten und/oder kaltverfestigten Stählen sind erhebliche Abweichungen bei der Umwertung zu erwarten.
 For plain and low-alloy steels and steel castings in hot-rolled or heat-treated state. In case of high-alloy and/or cold work-hardened steels considerable deviations during conversion are to be expected.
 Pour acier non-allié et faiblement allié ainsi que pour acier coulé dans l'état laminé à chaud ou traité à chaud. Pour acier fortement allié et/ou écroui des déviations considérables peuvent apparaître à la conversion.

Para aços de alta liga as conversões não são muito fáceis

| Vickers (F ≥ 98 N) HV | Brinell ¹⁾ (0,102 · F/D ² =30) HB | Zugfestigkeit Tensile strength Résistance à la traction N/mm ² | Rockwell | | | | | | |
|-----------------------------|---|--|----------|------|------|-------------------|---------|---------|---------|
| | | | HRB | HRC | HRA | HRD ²⁾ | HR 15 N | HR 30 N | HR 45 N |
| 80 | 76,0 | 255 | | | | | | | |
| 85 | 80,7 | 270 | 41,0 | | | | | | |
| 90 | 85,5 | 285 | 48,0 | | | | | | |
| 95 | 90,2 | 305 | 52,0 | | | | | | |
| 100 | 95,0 | 320 | 56,2 | | | | | | |
| 105 | 99,8 | 335 | | | | | | | |
| 110 | 105 | 350 | 62,3 | | | | | | |
| 115 | 109 | 370 | | | | | | | |
| 120 | 114 | 385 | 66,7 | | | | | | |
| 125 | 119 | 400 | | | | | | | |
| 130 | 124 | 415 | 71,2 | | | | | | |
| 135 | 128 | 430 | | | | | | | |
| 140 | 133 | 450 | 75,0 | | | | | | |
| 145 | 138 | 465 | | | | | | | |
| 150 | 143 | 480 | 78,7 | | | | | | |
| 155 | 147 | 495 | | | | | | | |
| 160 | 152 | 510 | 81,7 | | | | | | |
| 165 | 156 | 530 | | | | | | | |
| 170 | 162 | 545 | 85,0 | | | | | | |
| 175 | 166 | 560 | | | | | | | |
| 180 | 171 | 575 | 87,1 | | | | | | |
| 185 | 176 | 595 | | | | | | | |
| 190 | 181 | 610 | 89,5 | | | | | | |
| 195 | 185 | 625 | | | | | | | |
| 200 | 190 | 640 | 91,5 | | | | | | |
| 205 | 195 | 660 | 92,5 | | | | | | |
| 210 | 199 | 675 | 93,5 | | | | | | |
| 215 | 204 | 690 | 94,0 | | | | | | |
| 220 | 209 | 705 | 95,0 | | | | | | |
| 225 | 214 | 720 | 96,0 | | | | | | |
| 230 | 219 | 740 | 96,7 | | | | | | |
| 235 | 223 | 755 | | | | | | | |
| 240 | 228 | 770 | 98,1 | 20,3 | 60,7 | 40,3 | 69,6 | 41,7 | 19,9 |
| 245 | 233 | 785 | | 21,3 | 61,2 | 41,1 | 70,1 | 42,5 | 21,1 |
| 250 | 238 | 800 | 99,5 | 22,2 | 61,6 | 41,7 | 70,6 | 43,4 | 22,2 |
| 255 | 242 | 820 | | 23,1 | 62,0 | 42,2 | 71,1 | 44,2 | 23,2 |
| 260 | 247 | 835 | (101) | 24,0 | 62,4 | 43,1 | 71,6 | 45,0 | 24,3 |
| 265 | 252 | 850 | | 24,8 | 62,7 | 43,7 | 72,1 | 45,7 | 25,2 |
| 270 | 257 | 865 | (102) | 25,6 | 63,1 | 44,3 | 72,6 | 46,4 | 26,2 |
| 275 | 261 | 880 | | 26,4 | 63,5 | 44,9 | 73,0 | 47,2 | 27,1 |
| 280 | 266 | 900 | (104) | 27,1 | 63,8 | 45,3 | 73,4 | 47,8 | 27,9 |
| 285 | 271 | 915 | | 27,8 | 64,2 | 46,0 | 73,8 | 48,4 | 28,7 |
| 290 | 276 | 930 | (105) | 28,5 | 64,5 | 46,5 | 74,2 | 49,0 | 29,5 |
| 295 | 280 | 950 | | 29,2 | 64,8 | 47,1 | 74,6 | 49,7 | 30,4 |
| 300 | 285 | 965 | | 29,8 | 65,2 | 47,5 | 74,9 | 50,2 | 31,1 |
| 310 | 295 | 995 | | 31,0 | 65,8 | 48,4 | 75,6 | 51,3 | 32,5 |
| 320 | 304 | 1030 | | 32,2 | 66,4 | 49,4 | 76,2 | 52,3 | 33,9 |
| 330 | 314 | 1060 | | 33,3 | 67,0 | 50,2 | 76,8 | 53,6 | 35,2 |
| 340 | 323 | 1095 | | 34,4 | 67,6 | 51,1 | 77,4 | 54,4 | 36,5 |
| 350 | 333 | 1125 | | 35,5 | 68,1 | 51,9 | 78,0 | 55,4 | 37,8 |
| 360 | 342 | 1155 | | 36,6 | 68,7 | 52,8 | 78,6 | 56,4 | 39,1 |
| 370 | 352 | 1190 | | 37,7 | 69,2 | 53,6 | 79,2 | 57,4 | 40,4 |
| 380 | 361 | 1220 | | 38,8 | 69,8 | 54,4 | 79,8 | 58,4 | 41,7 |
| 390 | 371 | 1255 | | 39,8 | 70,3 | 55,3 | 80,3 | 59,3 | 42,9 |
| 400 | 380 | 1290 | | 40,8 | 70,8 | 56,0 | 80,8 | 60,2 | 44,1 |
| 410 | 390 | 1320 | | 41,8 | 71,4 | 56,8 | 81,4 | 61,1 | 45,3 |
| 420 | 399 | 1350 | | 42,7 | 71,8 | 57,5 | 81,8 | 61,9 | 46,4 |
| 430 | 409 | 1385 | | 43,6 | 72,3 | 58,2 | 82,3 | 62,7 | 47,4 |
| 440 | 418 | 1420 | | 44,5 | 72,0 | 58,8 | 82,8 | 63,5 | 48,4 |
| 450 | 428 | 1455 | | 45,3 | 73,3 | 59,4 | 83,2 | 64,3 | 49,4 |
| 460 | 437 | 1485 | | 46,1 | 73,6 | 60,1 | 83,6 | 64,9 | 50,4 |
| 470 | 447 | 1520 | | 46,9 | 74,1 | 60,7 | 83,9 | 65,7 | 51,3 |
| 480 | (456) | 1555 | | 47,7 | 74,5 | 61,3 | 84,3 | 66,4 | 52,2 |
| 490 | (466) | 1595 | | 48,4 | 74,9 | 61,6 | 84,7 | 67,1 | 53,1 |

Umwertungstabelle 1



Anexo 3

Certificado de qualidade do Tubo Bom (TB)

COD QC - 3.1 - Ed. 2 REV 5/2014



TMK-ARTROM S.A.

Draganesti Str. 30, Slatina, jud. OLT, Romania 230119
 Tel: +40 (249) 436862, 434640, 434641
 Fax: +40 (249) 434330, 437288
 E-mail: office.slatina@tmk-artrom.eu www.tmk-artrom.eu
 J 28/9/1991; VAT No. RO 1510210/1992
 Subscribed and Paid Share Capital: 291,587,538,34 lei

INSPECTION CERTIFICATE - EN 10204: 2004 / 3.1

| | | | |
|--|--|--|-----------------------------|
| No/Nr : E4593 Date/Datum: 28.02.2017 | Manufacturer's mark : Herstellerzeichen : | Customer Order No. / Vertrags Nr. 1791R | PL: 11169 |
| CUSTOMER - KUNDE: ROLMETAIS-AÇOS FINOS E METAIS S A | | | |
| Specification / Spezifikation: EN 10297-1: 03 | Dimensions-Abmessungen: 127 x 20 x 6 000 to 8 000 mm Steel-Stahlsorte: E355 | | |
| Description: Hot rolled seamless steel pipes; marking at one end: manufacturer's mark, standard, steel grade, heat no., LOT, mill inspector no. 2, technical control sign. Beschreibung: Warmgewalzte Nahtlose Stahlrohre; Markierung an eine Enden: Herstellerzeichen, Norm, Stahl Qualität, Chargen nr., LOT, Werkssachverständiger nr. 2, technisches - Kontrollzeichen. | | | |
| Heat No. - Schmelze Nr.: 46327 | | | |
| Quantity delivered Gesamtgewicht | Pcs. - Stückzahl | Length - Gesamtlänge - m | Weight - Gesamtgewicht - Kg |
| | 8 | 58,27 | 3070 |

Ladle Chemical Analysis-Schmelzenanalyse (%)

| Heat no. | C | Mn | S | P | Si | Ni | Cr | Mo | Cu | Al | Nb | Ti | V |
|----------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 46327 | 0.18 | 1.35 | 0.002 | 0.013 | 0.21 | 0.07 | 0.05 | 0.01 | 0.27 | 0.028 | 0.002 | 0.002 | 0.019 |

Mechanical Properties- Mechanische Eigenschaften

| TENSILE TEST- ZUGVERSUCH (EN ISO 6892-1) - at room temperature- Test Specimen / Strip-Longitudinal | | | Rp0.2 N/mm ² | Rm N/mm ² | A % |
|--|--|--|---|-------------------------|--------|
| Dimension - Proben-Abmessungen (mm): 6.65 x 19.85 | | | 377 | 567 | 25 |
| Section - Proben-Durchschnitt (mm ²): 132.09 | | | | | |
| Length - Proben-Länge - (Lo) (mm): 65 | | | | | |
| Ring expanding test Ringaufdehnversuch (EN ISO 8495) | Flattening test Ring faltversuch (EN ISO 8492) | Charpy V - Notch / Kerbschlagbiegeversuch (EN ISO 148-1) Longitudinal 10 x 10 [mm] | Ring tensile test Ring zugversuch (EN ISO 8496) | | |
| - | - | - | - | | |

Hydraulic test pressure- Wasserinnendruckversuch 70 bar for 5 sec: OK

Visual inspection and dimensional check : OK

Besichtigung und Ausmessung : OK

"NO WELD REPAIR ON HEREBY CERTIFIED TUBES"

The manufacturer of pipes is certified in acc. with ISO 9001: 2008, 14001:2004 and ISO 18001:2007

QC & LABORATORIES CHIEF

CHEF DER WERKSZEUGNISABTEILUNG

Dipl. Eng. Silviu Barbulescu

MILL INSPECTOR

UNTERSCHRIFT DES WERKSACHVERSTÄNDIGEN

Eng. Iulian Andrei

The forgery of this certificate concludes to responsibility mentioned on Romanian Penal Code (art. 290-292).

THIS IS FOR CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN DESCRIBED HAS BEEN MANUFACTURED WITH THE ORDERED SPECIFICATION AND THAT INFORMATION IS CORRECT, THEY MEET THE SPECIFICATION'S REQUIREMENTS AND ARE RECORDS IN OUR COMPANY DOCUMENTS.

Material fornecido pela n/FT
 N.º 74250 de 06/12/2017 e
 pela v/requisição N.º 2017-0.0/877

Anexo 4

Certificado de Qualidade do Tubo Mau (TM)

Delivery Note

Delivery note no.: 59628
 Delivery date: 28 Nov 2017
 Page: 3 / 3



| Item | Material /Description | Pcs | Total meter | M | Weight |
|-----------|---|-------------|------------------------------|-------------|--------------|
| 80674935 | 114,3x22,2-S/E/P355-N-SW- | 4 Pcs | 23.510 M | | 1,184.904 KG |
| Length | HL Length 6000 mm Min. 5000.0 mm Max. 7000.0 mm | | | | |
| Heat no.: | 47964 | 23.51 M | 1,184.904 KG | Country: RO | |
| 80674936 | 114,3x17,5-S/E/P355-N-SW- | 8 ST | 52.190 M | | 2,181.542 KG |
| Length | HL Length 6000 mm Min. 5000.0 mm Max. 7000.0 mm | | | | |
| Heat no.: | 356815 | Country: DE | Customs tariff no.: 73043992 | | |
| 80674937 | 95x17,5-S/E/P355-N-SW-110 | 4 ST | 26.720 M | | 892.448 KG |
| Length | HL Length 6000 mm Min. 5000.0 mm Max. 7000.0 mm | | | | |
| Heat no.: | 607931 | Country: DE | Customs tariff no.: 73043992 | | |
| 80674938 | 101,6x16-S/E/P355-N-SW-11 | 11 Pcs | 74.791 M | | 2,527.936 KG |
| Length | HL Length 6000 mm Min. 5000.0 mm Max. 7000.0 mm | | | | |
| Heat no.: | 607931 | 47.62 M | 1,609.556 KG | Country: DE | |
| Heat no.: | 607931 | 27.171 M | 918.38 KG | Country: DE | |
| 80674939 | 159x17,5-S/E/P355-N-SW-11 | 5 Pcs | 30.770 M | | 1,880.047 KG |
| Length | HL Length 6000 mm Min. 5000.0 mm Max. 7000.0 mm | | | | |
| Heat no.: | 7084085Z | 7 M | 427.7 KG | Country: CN | |
| Heat no.: | 326475 | 5.83 M | 356.213 KG | Country: DE | |
| Heat no.: | 326475 | 5.98 M | 365.378 KG | Country: DE | |
| Heat no.: | 326475 | 5.98 M | 365.378 KG | Country: DE | |
| Heat no.: | 326475 | 5.98 M | 365.378 KG | Country: DE | |
| 80674940 | 44,5x5,6-S/E/P355-N-SW-11 | 0 Pcs | 34.450 M | | 184.997 KG |
| Length | HL Length 6000 mm Min. 5000.0 mm Max. 7000.0 mm | | | | |
| Heat no.: | 603332 | Country: DE | Customs tariff no.: 73043992 | | |
| 80674941 | 101,6x12,5-S/E/P355-N-SW- | 4 ST | 26 M | | 715 KG |
| Length | HL Length 6000 mm Min. 5000.0 mm Max. 7000.0 mm | | | | |
| Heat no.: | 47598 | Country: RO | Customs tariff no.: 73043992 | | |

We acknowledge receipt and acceptance of the goods in proper condition. We have checked that the quantity, i.e. number of bars and brunches, is correct.

Date License plate Signature

Total weight: 24,127.391 KG

GERO Gelsenkirchener Rohrhandels-gesellschaft mbh
 Bruchstraße 5 (Geb. A) | 45883 Gelsenkirchen
 Telefon: +49 209 80006 0 | Fax: +49 209 80006 88
 info@gero-rtw.de
 www.gero-rtw.de

AMTSRICHT GELSENKIRCHEN HR B 774
 Geschäftsführer: Frank Jeschke
 Erfüllungsort und Gerichtsstand: Gelsenkirchen
 Ust.-Ident-Nr.: DE 125012242

Bankverbindung:
 Commerzbank
 Deutsche Bank
 Sparkasse
 Postbank

BIC:
 COBA DE 33XXX
 DEUT DE 33XXX
 WELA DE 33XXX
 FBAN DE 33XXX

ISAN:
 DE66 3004 0000 0531 4018 00
 DE13 4207 0062 0119 7474 00
 DE15 4205 0001 0101 0801 90
 DE54 2601 0001 0001 0001 00

RTSS AMERICA TRANSPORTES, LDA.
 Rua da Lezíria 102 P-4.º Esq.
 2135-270 SAMORA CORREIA

| | | |
|---|---|---|
| <p>Vallourec Deutschland GmbH (A01) Werk Mülheim Rohrkontstraße Schützenstrasse 124 45476 MÜLHEIM AN DER RUHR GERMANY</p> |  | <p>INSPECTION CERTIFICATE (A02) ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.1 EN 10204:2004</p> <hr/> <p>No. / Nr. : 76335Mu16 (A03) Page/Seite: 1 / 5 Date/Datum: 22.08.2016</p> |
|---|---|---|

| | |
|---|---|
| <p>(A01) Vallourec Deutschland GmbH</p> | <p>(A08.1) Vallourec-Order-No. / Vallourec-Auftrags-Nr./ 231792</p> <p>(A08.2) Suborder / Unterauftrag 84266876</p> |
| <p>(A06.1) Customer / Kunde HOBERG & DRIESCH GMBH & CO. KG ROEHRENGROSSHANDEL THEODORSTRASSE 101 40472 DUESSELDORF</p> | <p>(A07.1) Customer Order-No. / Kunde Bestell-Nr. 4500005030</p> |
| <p>(A06.2) Orderer / Besteller /</p> | <p>(A07.2) Orderer Order-No. / Besteller Bestell-Nr. 4500005030 Date / Datum 21.04.2016</p> |
| <p>(B01, B02, B04) Description of the product Erzeugnisbeschreibung</p> | <p>Hot finished seamless steel pipes EN 10216-3, TC 1, 2013 EN 10210-1, 2006 EN 10297-1, 2003 DIN 1629, 1984 AD - Data Sheet W 4, February 2013 VDTUEV data sheet 354/2, February 2013 P355N TC1, EN 10216-3 S355J2H, EN 10210-1 E355 + N, EN 10297-1 St52.0 N, DIN 1629 Ends plain, square to tube axis, deburred Without outside rust protection Without inside rust protection</p> <p>Nahtlose Stahlrohre, warmgefertigt EN 10216-3, TC 1, 2013 EN 10210-1, 2006 EN 10297-1, 2003 DIN 1629, 1984 AD - Merkblatt W 4, February 2013 VDTUEV Werkstoffblatt 354/2, February 2013 P355N TC1, EN 10216-3 S355J2H, EN 10210-1 E355 + N, EN 10297-1 St52.0 N, DIN 1629 Enden glatt, Senkrecht zur Rohrachse abgeschnitten, gratfrei Ohne Rostschutz außen Ohne Rostschutz innen</p> |
| <p>(A14)  16 0769-CPR-VAS-00483-1</p> | <p>The declaration of performance no. 5a is available at www.vallourec.com. Die Leistungserklärung mit der Nr 5a ist auf www.vallourec.com verfügbar.</p> |
| <p>Inspection certificate 3.1 acc. EN 10 204 acc. to AD 2000 Guideline W4, table 1a/1b, letter of agreement by TÜV NORD Systems.</p> | |

| | | |
|---|---|--|
| Vallourec Deutschland GmbH (A01) Werk Mülheim Rohrkontstraße Schützenstraße 124 45476 MÜLHEIM AN DER RUHR GERMANY |  | INSPECTION CERTIFICATE (A02) ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.1 EN 10204:2004 <hr/> No. / Nr. : 76335Mu16 (A03) Page/Seite: 2 / 5 Date/Datum: 22.08.2016 |
|---|---|--|

TÜV-file SWEW-0403-15
 Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach EN 10 204 gemäß AD 2000-Guideline W4, Tabelle 1a/1b, Zustimmungsschreiben des TÜV NORD Systems. TÜV-Az.: SWEW-0403-15

| (A13) Vallourec Item Position | (A09) Cust. Item Position | (B14) Item text Positionstext | (B09) Dimensions Abmessung | (B10) Single length Einzellänge |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 3 | | | OD 114.3 x WT 17.5 mm OD Tol ± 1 % WT Tol : ± 9 % AD 114.3 x WD 17.5 mm AD Toleranz ± 1 % Wanddickentoleranz : ± 9 % | Random length from 12000 to 14000 mm Without short lengths Herstelllängen von 12000 bis 14000 mm Ohne Kurzlängen |

| (A13) Vallourec Item Position | (A09) Cust. Item Position | (B08) Quantity Stück | (B11) Total length Gesamtlänge m | (B13) Weight Gewicht kg |
|--|---------------------------------|----------------------------|---|----------------------------------|
| 3 | | 23 | 301,98 | 12.417 |

| (A13) Vallourec Item Position | (A09) Delivery Note-No Lieferschein-Nr. | (A03) Packing list-No Packlisten-Nr. |
|--|---|--|
| 3 | 97928 | |

(C71)

HEAT CHEMICAL ANALYSIS / SCHMELZANALYSE

| (B07.1) Heat Schmelze | (B15) Process Erschmelz. | C % | Si % | Mn % | P % | S % | Al % | Cu % | Cr % | Ni % | Mo % |
|-----------------------------|--------------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| min | - | - | - | 0.90 | - | - | 0.020 | - | - | - | - |
| max | - | 0.200 | 0.500 | 1.60 | 0.025 | 0.0200 | - | 0.300 | 0.300 | 0.500 | 0.080 |
| 356815 | Oxygen (BOF) | 0.120 | 0.190 | 1.44 | 0.012 | 0.0013 | 0.034 | 0.020 | 0.050 | 0.030 | 0.010 |

| | | |
|---|---|--|
| Vallourec Deutschland GmbH (A01) Werk Mülheim Rohrkontstraße Schützenstrasse 124 45476 MÜLHEIM AN DER RUHR GERMANY |  | INSPECTION CERTIFICATE (A02) ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.1 EN 10204:2004 No. / Nr. : 76335Mu16 (A03) Page/Seite: 3 / 5 Date/Datum: 22.08.2016 |
|---|---|--|

(C71)
HEAT CHEMICAL ANALYSIS / SCHMELZANALYSE

| (B07.1) Heat Schmelze | V % | Ti % | Nb(Cb) % | N % | CQ 03 % | EF 02 % | EF 28 % | | | | |
|-----------------------------|--------|---------|-------------|--------|------------|------------|------------|--|--|--|--|
| min | - | - | - | - | - | - | - | | | | |
| max | 0.100 | 0.040 | 0.050 | 0.0120 | .47 | 0.12 | 0.45 | | | | |
| 356815 | 0.060 | 0.005 | 0.030 | 0.0101 | .39 | 0.10 | 0.08 | | | | |

| | |
|-------|---|
| CQ 03 | CE/VC = C + MN/6 + (CR+MO+V)/5 + (NI+CU)/15 |
| EF 02 | EF = V + TI + NB |
| EF 28 | EF = CR + MO + CU |

Heats fully killed
 Beruhigter Stahl

AL >= 2 X N

TENSILE TEST RESULTS / ERGEBNISSE DES ZUGVERSUCHS

| | |
|---|--|
| Type / Form (C10.1) | TUBE STRIP TEST SPECIMEN / ROHRSTREIFENPROBE |
| Test temperature / Prüftemperatur (C03) | ROOM TEMPERATURE / RAUMTEMPERATUR |
| Direction / Richtung (C02) | longitudinal / längs |

| (B07.1) Heat Schmelze | (C00.1) Test Piece Prüfstück | (C10) Dimension Abmessung | (C11) YS Streckgr. | (C12) TS Zugfest. | (C13) Elong. Dehnung | (C14.1) Ratio Verhältn. | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|--|--|--|--|
| | | mm | ReH MPa | R _m MPa | $5,65 \sqrt{S_0}$ % | R/R _m - | | | | |
| min | | - | 355 | 500 | 22.0 | - | | | | |
| max | | - | - | 630 | - | - | | | | |
| 356815 | M538 | 25.00X18.05 | 370 | 502 | 30.0 | 0.74 | | | | |

IMPACT TEST RESULTS / ERGEBNISSE DES KERBSCHLAGBIEGEVERSUCHS

| | |
|---|---------------------|
| Type / Form (C40) | Charpy-V / Charpy-V |
| Test temperature / Prüftemperatur (C03) | - 20 DEGREES C |
| Direction / Richtung (C02) | transverse / quer |

Anexo 5

Análise Química de TM e TB por entidade externa



centro de apoio tecnológico
à indústria metalomecânica

C.I.P.C. n° 501630473



accreditação
10009
Ensaços

Laboratório de Ensaços

RELATÓRIO DE ENSAIO
DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Relatório de Ensaio N°: 20186000456 /10.01

Página: 1 de 1

Data: 2018-05-16

Processo N°: 20186000456

Requerente: GALUCHO - INDÚST.METALOMECÂNICAS, SA
Avª Central n° 4 S. JOÃO DAS LAMPAS
2706-851 S. JOÃO DAS LAMPAS

Data do Pedido: 10/05/2018

Pedido Tipo: Correio Electrónico

Data de Entrada:

Referência da(s) Amostra(s): 1 /4 e 2 /4.

Data de Ensaio:

Equipamento Utilizado: ARL 3460 OES - Catim N° 11.40915.

Método Utilizado: Espectrometria de Emissão Óptica (Procedimento Interno LEM - P08.01 Rev.4, Maio 2017).
A especificação de ensaio está disponível para consulta.

Material: Liga Ferrocabónica

Descrição do(s) Item(s): Galucho – Amostra 1 /4 e 2 /4.

RESULTADOS OBTIDOS

| Referência da Amostra | Concentração % | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|------|------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | V | Cu | Al |
| 1 /4 | 0,18 | 0,35 | 1,41 | 0,014 | 0,005 | 0,073 | 0,018 | 0,008 | 0,066 | 0,052 | 0,024 |
| 2 /4 | 0,12 | 0,18 | 1,46 | 0,012 | * <0,004 | 0,050 | 0,024 | 0,005 | 0,064 | 0,016 | 0,034 |

OBSERVAÇÕES:

- A recolha da(s) amostra(s) analisada(s) é da responsabilidade do cliente.
- * Limite de quantificação do elemento Enxofre (S).

Nota: Os resultados obtidos referem-se apenas às amostras ensaiadas

RESPONSÁVEL TÉCNICO



(Mª Adelaide Lourenço)

DIRECTOR DO LABORATÓRIO



(Pedro Castro)

Rua dos Plátanos, 197
4100-414 Porto - Portugal

Estrada do Paço do Lumiar, Campus do Lumiar - Edifício Q
1649-038 Lisboa - Portugal

Rua Cidade do Porto, Campus da Delphi - Edifício 4
4705-086 Braga - Portugal

Este documento não pode ser reproduzido, exceto integralmente, sem a autorização por escrito do CATIM