

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Materiais

Hugo Mian Neto

Parafuso de travamento do perfurador de solo: um estudo de caso

São Carlos

2016

Hugo Mian Neto

Parafuso de travamento do perfurador de solo: um estudo de caso

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Engenheiro
de Materiais e Manufatura.

Orientador: Professora Lauralice de
Campos F. Canale

São Carlos

2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

M891p MIAN NETO, HUGO
PARAFUSO DE TRAVAMENTO DO PERFURADOR DE SOLO: UM
ESTUDO DE CASO / HUGO MIAN NETO; orientadora LAURALICE
CAMPOS FRANCESCHINI CANALE. São Carlos, 2016.

Monografia (Graduação em Engenharia De Materiais e
Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2016.

1. PERFURADOR DE SOLO. 2. PARAFUSO DE TRAVAMENTO.
3. QUEBRA. I. Título.

Formulário para relatório de defesa de TCC

Relatório de defesa pública de Trabalho de Conclusão de Curso da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

Aluno	HUGO MIAN NETO	No. USP: 7243028
Orientador ou resp. pela disciplina	Lauralice de C. F. Canale	No. USP: 57702
Titulo do TCC	Parafuso de travamento do perfurador de solo: Um estudo de caso	
Curso ou Ênfase	Engenharia de Materiais e Manufatura	
Disciplina	SMM0325 Trabalho de Conclusão de Curso	
Local da defesa:	Auditório SMM	Data de defesa: 05 / 05 / 2016 Horário: 9h30

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passou a palavra aos examinadores para as devidas arguições. Em seguida, a Comissão Julgadora proclamou o resultado:

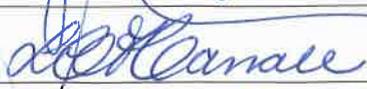
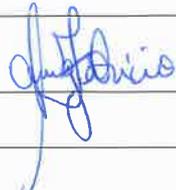
Membros da Comissão Julgadora	Vínculo	Sigla Unidade	Nota
Lauralice de C. F. Canale	Professora	SMM/EESC	8,0
Waldek W. Bose Filho	Professor	SMM/EESC	8,0
Luigi Leonardo Mazzucco Albano	Mestre	SMM/EESC	8,0

Média =

Resultado final	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Necessita de ajustes	<input type="checkbox"/> Reprovado
-----------------	--	---	------------------------------------

Observações da Comissão Julgadora

Eu, Ana Fabricio, Auxiliar Acadêmico, lavrei o presente relatório que assino com os(as) Senhores(as). São Carlos, 05/05/2016

	
Membro 1	Membro 2
	
Membro 3	Membro 4
	
Orientador(a) ou responsável pela disciplina	

RESUMO

MIAN, H. (2016). **Parafuso de travamento do perfurador de solo: um estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Trata o comportamento de um parafuso de aço utilizado para transmitir movimento do eixo motor de um perfurador de solo (caixa redutora de velocidades) para o eixo movido, o qual é representado pela broca. São analisadas diversas condições de tratamentos térmicos no componente, bem como, as propriedades físicas e químicas resultantes desses processos. Após isso, como objetivo principal do trabalho, são realizados testes em campo a fim de medir o desempenho desses componentes, buscando sempre aumentar o ciclo de vida útil dos mesmos e também facilitar o manejo da substituição do parafuso quando fraturado.

Palavras – chave: parafuso de aço, perfurador de solo.

ABSTRACT

MIAN, H. (2016). **Ground punch locking screw: a case study.** Term Paper, School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo.

This is the behavior of a steel bolt used to transmit movement of the drive shaft of a soil punch (reduction gear box) to the driven shaft, which is represented by the bit. They are analyzed various conditions of heat treatments on the component as well as the physical and chemical properties of these processes. After this, as the main objective of the work, they are conducted field tests to measure the performance of these devices, always seeking to increase the life cycle of the same and also facilitate the handling of the screw replacement when broken.

Keywords: steel bolt, ground punch.

Lista de Figuras

Figura 1 – Temperatura crítica em função do teor de carbono. (CALLISTER, 2002) ..	11
Figura 2 - Exemplo Diagrama CCT aço 1050 (CALLISTER 2002).....	12
Figura 3 - Martensita maclada na forma de ripas. a) Desenho esquemático. Adaptado de (MAKI; TSUZAKI; TAMURA, 1980). b) Imagem obtida por microscopia eletrônica de transmissão (KRAUSS 1999).....	13
Figura 4 - Martensita em forma de palcas. a) Desenho esquemático (PORTER, EASTERLING, 1992). b) Microestrutura real (KRAUSS, 1999).....	14
Figura 5 - Dureza em função da temperatura de revenimento (CALLISTER, 2002)	15
Figura 6 - Trator com o perfurador de solo acoplado.....	16
Figura 7 - Detalhe do parafuso transmissor de movimento (componente sob análise)..	16
Figura 8 - Detalhe do eixo cardan e das barras de hidráulico.....	16
Figura 9 - Detalhe do engate no terceiro ponto	17
Figura 10 - Parafuso de aço classe 8.8.....	18
Figura 11 - Óptica ultravioleta.....	20
Figura 12 - Equipamento para embutimento à quente.....	21
Figura 13 - Buraco sendo executado pelo perfurador.....	22
Figura 14 - Buraco terminado.....	23
Figura 15 - Microestrutura de parafuso do grupo 1	26
Figura 16 – Parafuso deformado e fraturado após teste	27
Figura 17 - Parafuso do grupo 2 deformado após teste	29
Figura 18 - Microestrutura de parafuso do grupo 3.....	31
Figura 19 - Dureza da estrutura martensítica em função da quantidade de carbono (REPUBLIC STEEL CORPORATION, 1968).....	32
Figura 20 - Detalhe de parafuso do grupo 3 após 8 horas de teste	33

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Propriedades e classes de parafuso (adaptada e traduzida ISO 898).....	18
Tabela 2 - Composição química obtida através da espectrometria (% em peso)	24
Tabela 3 - Composição química sugerida pela norma ISO 898 para parafusos da classe 8.8.	25
Tabela 4 - Medidas de dureza aferidas em laboratório para parafusos do grupo 1	26
Tabela 5 - Resultado dos testes em campo dos parafusos do grupo 1	27
Tabela 6 - Medidas de dureza aferidas em laboratório para os parafusos do grupo 2....	28
Tabela 7 - Resultados do teste em campo para os parafusos do grupo 2	29
Tabela 8 - Medidas de dureza aferidas em laboratório para os parafusos do grupo 3....	30
Tabela 9 - Composição química barra sugerida (favorit aços)	34

Sumário

Introdução	9
Objetivo	10
Revisão bibliográfica	10
Têmpera	10
Morfologias da martensita	13
Revenido	14
O componente mecânico sob análise	15
Materiais e Métodos	18
Análise Química do Parafuso	19
Medida de Dureza	20
Preparação Metalográfica	20
Teste em campo do perfurador de solo	21
Tratamento térmico dos grupos de parafusos 2 e 3.....	23
Resultados e Discussões	24
Grupo 1 de parafusos	24
Grupo 2 de parafusos	28
Grupo 3 de parafusos	30
Conclusões.....	34
Referências	34

Introdução

Componentes mecânicos de um aço têm suas propriedades de resistência determinadas pela composição química do aço e pelas etapas de processamento. Essas condições determinam as microestruturas e distribuições de fase que são responsáveis pelo desempenho do componente.

Neste processo, os tratamentos térmicos têm um papel fundamental.

Tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhes características determinadas.

As propriedades dos aços dependem, em princípio, da sua estrutura. Os tratamentos térmicos modificam, em maior ou menor escala, a estrutura dos aços, resultando, em consequência na alteração mais ou menos pronunciada, de suas propriedades. Cada uma das estruturas obtidas apresenta seus característicos próprios, que se transferem ao aço, conforme a estrutura ou combinação de estrutura ou combinação de estruturas presentes. Pelo exposto, pode-se perfeitamente avaliar a importância dos tratamentos térmicos.

Dependendo do tratamento térmico efetuado, pode-se:

- Remover de tensões internas (oriundas de esfriamento desigual, trabalho mecânico ou outra causa);
- Aumentar ou diminuição da dureza;
- Aumentar a resistência mecânica;
- Melhorar a ductilidade;
- Melhorar a usinabilidade;
- Melhorar a resistência ao desgaste;
- Melhorar as propriedades de corte;
- Melhorar a resistência à corrosão;
- Melhorar a resistência ao calor;
- Modificar as propriedades elétricas e magnéticas.

A simples enumeração dos objetivos acima evidencia claramente a importância e a necessidade do tratamento térmico no aço. Em geral, a melhora de uma ou mais propriedades, mediante um determinado tratamento térmico, é conseguida com prejuízo de outras. Por exemplo, o aumento da ductilidade provoca simultaneamente queda nos valores de dureza e resistência à tração. É necessário, pois, que o tratamento térmico seja escolhido e aplicado criteriosamente, para que os inconvenientes apontados sejam reduzidos ao mínimo. Não se verifica, pela simples aplicação de um tratamento térmico, qualquer alteração da composição química do aço. Quando o tratamento térmico não gera as propriedades mecânicas necessárias a uma aplicação, o componente pode ter uma vida útil reduzida ou mesmo ser ineficaz à situação de trabalho o qual foi atribuído. A motivação desse trabalho foi a ineficiência de um parafuso de travamento de um perfurador de solo.

Objetivo

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento em campo de três grupos de parafusos com diferentes durezas que foram obtidas através de diferentes tratamentos térmicos. Para isso, foram observados os ciclos de vida útil dos parafusos de cada grupo, os quais eram responsáveis por transmitir movimento do eixo motor de um perfurador de solo para o eixo movido, o qual é representado pela broca perfuradora de solo.

Revisão bibliográfica

Têmpera

Uma das características mais importantes dos aços como materiais de construção mecânica, é a possibilidade de se desenvolver combinações ótimas de resistência e

tenacidade. A estrutura que classicamente permite tais combinações é a estrutura martensita revenida.

A têmpera é um tratamento térmico que consiste em aquecer o aço acima da sua temperatura de austenitização e em seguida resfriá-lo com velocidade suficientemente rápida para evitar transformações perlíticas e bainíticas na peça em questão, em consequência disso, obtém-se a estrutura metaestável martensítica (COSTA E SILVA; MEI, 1988).

O aquecimento é feito baseado no diagrama Fe-C e as faixas de temperaturas recomendáveis podem ser vistas na figura 1.

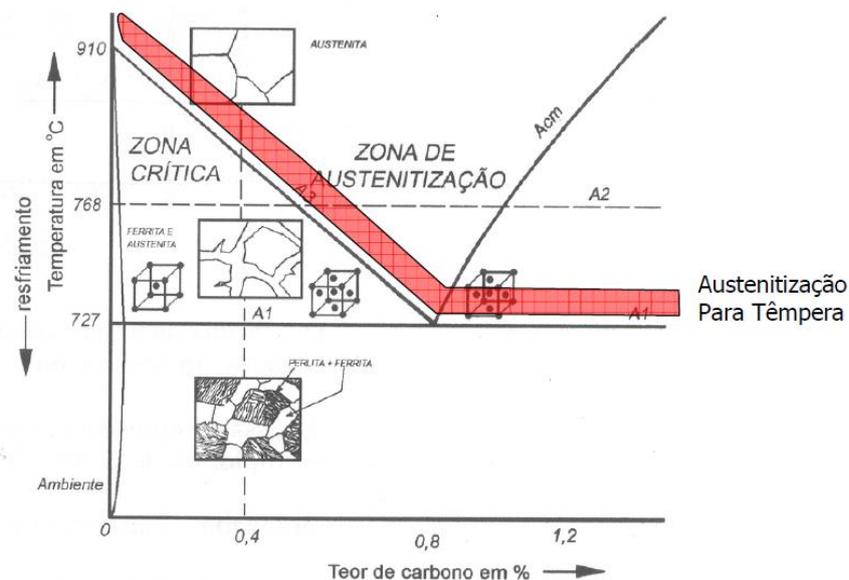


Figura 1 – Temperatura crítica em função do teor de carbono. (CALLISTER, 2002)

A velocidade de resfriamento, gerada pela disponibilidade dos diversos meios de resfriamento, é escolhida baseada no diagrama CCT do aço em questão.

Um exemplo de diagrama CCT pode ser visto na figura 2. Velocidades de resfriamento maiores ou iguais à crítica promoverão a formação unicamente da estrutura martensítica. Velocidades menores promoverão a formação de estruturas que possuem menor dureza, como a perlita e bainita.

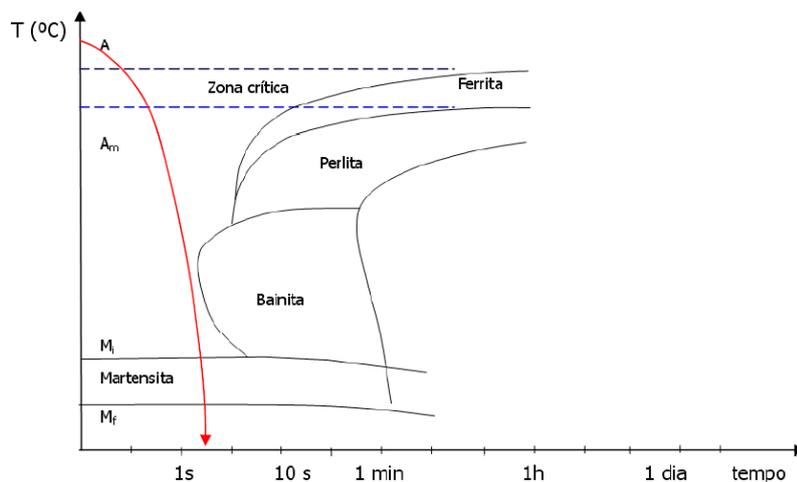


Figura 2 - Exemplo Diagrama CCT aço 1050 (CALLISTER 2002)

Para controlar a taxa de resfriamento utilizam-se diversos meios de têmpera. Os mais comuns são água, óleo e ar. A escolha do meio mais adequado é função da dureza que se deseja obter, da geometria do componente e naturalmente do tipo de aço. Resfriamentos muito bruscos tendem a potencializar os riscos de distorção e trincas e resfriamentos lentos não produzem a dureza necessária.

Segundo COSTA E SILVA; MEI, 1988 devido o brutal resfriamento sofrido pelos corpos temperados, surgem acentuadas diferenças de temperatura entre o centro da peça e sua superfície, com isso, surgem tensões internas que são associadas à:

1. Contração do aço durante o resfriamento;
2. Expansão associada com a transformação martensítica;
3. Mudanças bruscas de secção e outros concentradores de tensões.

O potencial de trincas e distorções também é dependente da composição química do aço. Aços com elementos de ligas e maiores concentrações de carbono são mais propensos ao trincamento.

Morfologias da martensita

Dependendo do conteúdo de carbono da fase matriz austenítica, a martensita será maclada (em formas de ripas) para aços baixo carbono, ou na forma de placas, para aços alto carbono. A martensita também pode se formar como mistura das duas morfologias. No geral a martensita maclada confere alta dureza e ductilidade, porém menor resistência mecânica, já estruturas de martensita em placas possuem altas resistências mecânicas, mas não são dúcteis, e frequentemente contêm micro trincas decorrentes do impacto entre placas, que podem iniciar falhas subsequentes (VOORT, 2009)

A figura 3 apresenta a morfologia da martensita maclada.

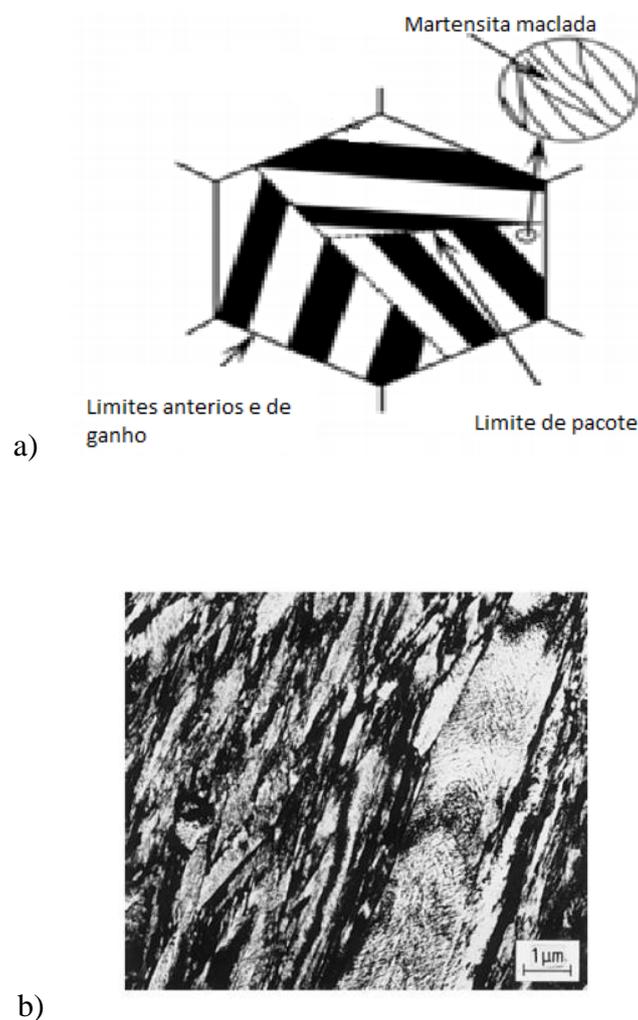
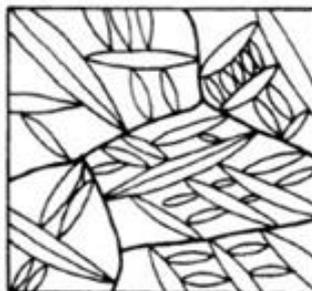
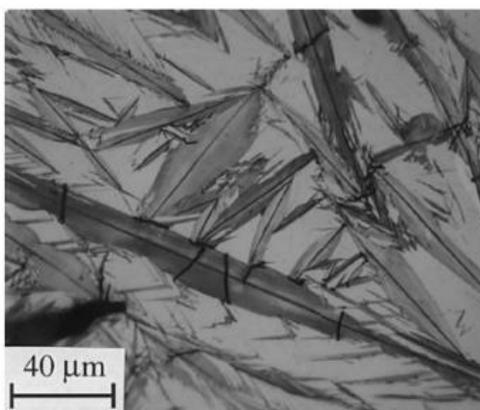


Figura 3 - Martensita maclada na forma de ripas. a) Desenho esquemático. Adaptado de (MAKI; TSUZAKI; TAMURA, 1980). b) Imagem obtida por microscopia eletrônica de transmissão (KRAUSS 1999).

A figura 4 mostra a outra morfologia para aços de mais alto carbono



a)



b)

Figura 4 - Martensita em forma de placas. a) Desenho esquemático (PORTER, EASTERLING, 1992). b) Microestrutura real (KRAUSS, 1999).

Revenido

O tratamento de têmpera torna as peças muito duras, porém muito frágeis. Geralmente, a grande maioria dos componentes que passam pelo processo de têmpera passam também, posteriormente, pelo revenimento, que busca aliviar as tensões residuais acumuladas na têmpera, resultando em uma diminuição da dureza e um aumento da tenacidade (COSTA E SILVA; MEI, 1988).

Durante o revenido, a martensita com estrutura TC (tetragonal de corpo centrado) perde o excesso de carbono em solução e seu reticulado cristalino vai se tornando mais próximo do da ferrita, sem distorção e sem acúmulo de tensões mecânicas. Quanto

maior for a temperatura do revenimento, mais intensamente se manifestam as suas consequências, como pode ser visto na figura 5:

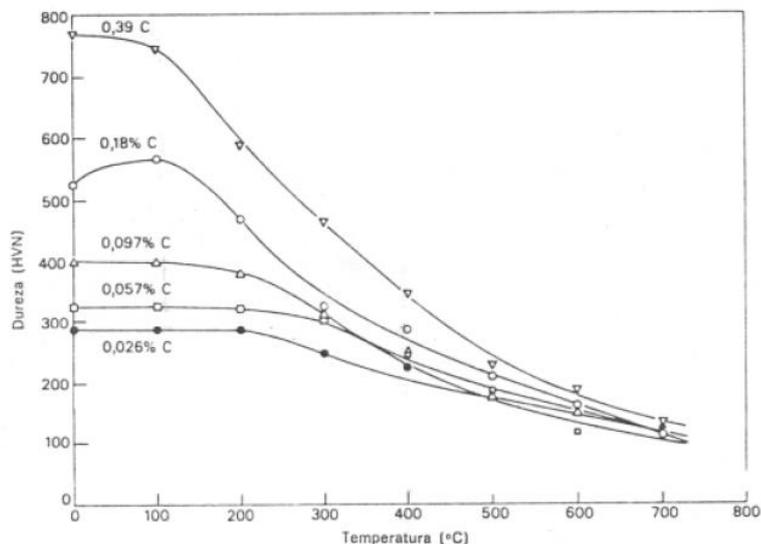


Figura 5 - Dureza em função da temperatura de revenimento (CALLISTER, 2002)

Verifica-se que quanto maior for a porcentagem de carbono mais intensa é a queda da dureza.

O componente mecânico sob análise

O componente é parte integrante de um perfurador de solo.

O perfurador de solo é um implemento agrícola que como o próprio nome já diz tem a função de perfurar o solo e é muito utilizado na construção de cercas e galpões.

O seu princípio de funcionamento é bastante simples: seu acionamento se dá por meio de cardan rotativo, o qual é engatado no trator que fornece movimento de rotação para uma caixa redutora de velocidades, e a partir disso o movimento é transmitido para o eixo no qual se acopla a broca. A regulagem de altura e movimentação vertical se dá por meio de engate no terceiro ponto e barras de hidráulico do trator.

As figuras 6-9 ilustram detalhadamente o princípio de funcionamento:



Figura 6 - Trator com o perfurador de solo acoplado



Figura 7 - Detalhe do parafuso transmissor de movimento (componente sob análise)



Figura 8 - Detalhe do eixo cardan e das barras de hidráulico



Figura 9 - Detalhe do engate no terceiro ponto

Esse componente era então um parafuso de acordo com a norma ISO 898. Essa norma é uma norma internacional que define as propriedades mecânicas e físicas para parafusos. Ela é dividida em cinco partes que são:

1. Parafusos e pregos, com valores de propriedade especificados - rosca grossa e linha passo fino;
2. Porcas com valores de carga de prova especificados - rosca grossa;
3. Definir parafusos e elementos de fixação rosqueados semelhantes que não estão sob tensões de tração;
4. Porcas com valores de carga de prova especificados - passo de rosca Belas;
5. Teste e mínimos torques de torção para porcas e parafusos com diâmetros nominais de 1 mm a 10 mm.

O item sob análise nesse trabalho é o primeiro, visto que define as propriedades mecânicas do parafuso que está sendo utilizado.

Vale ressaltar, que os parafusos apresentados pela norma estão divididos em classes. No perfurados vinha sendo usados parafusos da classe 8.8 com um diâmetro de 16 mm.

A tabela 1 ilustra as diferentes classes dos parafusos e suas propriedades.

Tabela 1 - Propriedades e classes de parafuso (adaptada e traduzida ISO 898).

Propriedade Mecânica e Física	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	8.8	9.8	10.9	12.9	
Resistência à tração	300	400	400	500	500	600	800	800	900	1000	12000	
Dureza Vickers	95	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385	
Dureza Rockwell	220						250	320	335	360	380	435
Dureza Rockwell	-						22	23	28	32	39	
Dureza Rockwell	-						32	34	37	39	44	

Dessas propriedades apresentadas, ressalta-se os limites de dureza para diâmetro de 16 mm, que estão entre 22 e 32 HRC.

Materiais e Métodos

Foram adquiridos 8 parafusos de classe 8.8, com diâmetro de 16 mm e comprimento de 13 cm, como mostra a figura 10, que até então vinham sendo usados no sistema de perfuração de solo. A caracterização deles foi com os procedimentos descritos a seguir:



Figura 10 - Parafuso de aço classe 8.8

Análise Química do Parafuso

Foi feita através da técnica de Espectrometria por Emissão Óptica. O princípio de funcionamento desse método é baseado na medição das três grandezas físicas básicas da luz ou da onda eletromagnética: intensidade (ou amplitude), frequência e polarização (ângulo de vibração) (ASTM A751 – 11; SERWAY; RAYMOND, 2011). No espectrômetro de emissão óptica essas grandezas físicas são visualizadas com a excitação do corpo-de-prova por meio de uma tensão elétrica. Conforme mostrado na figura 11, o eletrodo fornece uma tensão elétrica no corpo de prova para que seja possível visualizar as três grandezas físicas da luz emitida por cada elemento químico constituinte na liga, as quais são medidas pela óptica ultravioleta do equipamento. Ou seja, o espectrômetro de emissão óptica é composto basicamente em uma rede de difração e um captador. A rede faz que a luz incidente sobre a abertura do espectrômetro (Figura 11 – óptica ultravioleta) se divida em feixes de onda, os quais incidem sobre os captadores que são sensores fotovoltaicos. Desse modo, é possível identificar a intensidade luminosa de cada comprimento de onda que existe na composição do feixe incidente, permitindo assim, a caracterização e a quantificação em massa dos elementos químicos presentes na liga. O ensaio de composição química em aços por espectroscopia de emissão óptica é orientado pela norma ASTM A751 – 11, a qual trata dos padrões e métodos para testes, práticas e terminologias para a análise química em produtos de aço, e pela norma ASTM E1806 – 09 a qual trata da prática padrão de amostragem para ensaios em aços e ferros fundidos.

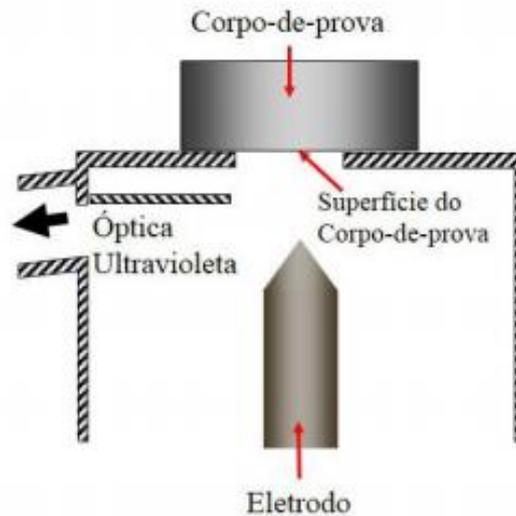


Figura 11 - Óptica ultravioleta

Medida de Dureza

Com o intuito de reunir mais características e propriedades do parafuso, foram feitas também medições de dureza superficial Rockwell C (HRC). Foram feitas medições no centro, no meio e na extremidade externa da amostra. Essas medições também foram executadas no Laboratório do Departamento de Engenharia de Materiais e seguiram os procedimentos convencionais de operação.

Preparação Metalográfica

Inicialmente cortou-se uma amostra do parafuso e embutiu-a em resina baquelite, utilizando o equipamento AROTEC PRE40 MI, como mostrado na figura 12.



Figura 12 - Equipamento para embutimento à quente

Com a amostra já embutida, realizou-se a sequência de lixamento e polimento de acordo com as técnicas convencionais de preparação metalográfica. Para observação microestrutural foi utilizado ataque de nital 1%.

A microestrutura resultante foi fotografada com ampliações de 220, 500 e 1000 vezes, também seguindo os procedimentos convencionais e utilizando o microscópio (Olympus Cx31) do laboratório do Departamento de Engenharia de Materiais

Feita a caracterização, os parafusos foram então separados em três grupos. No primeiro grupo, os parafusos foram submetidos à testes em campo no estado em que foram adquiridos, no segundo grupo, foram temperados e revenidos e somente após esses ciclos de tratamentos térmicos é que foram submetidos ao ensaio em campo. No terceiro grupo os parafusos foram somente temperados antes do ensaio em campo.

Teste em campo do perfurador de solo

Para realização dos testes em campo foram utilizados os seguintes materiais:

1. Um trator com 90 cv de potência;
2. Um perfurador de solo da marca BALDAN;
3. Uma broca perfuradora de solo com 1 metro de comprimento e 9 polegadas de diâmetro;

4. Parafusos de aço da classe 8.8 com dimensões 16 mm de diâmetro e 13 cm de comprimento.

Para garantir a qualidade dos testes, as condições de operação foram mantidas e tiveram as seguintes características: A rotação do motor do trator foi mantida em 1000 rotações por minuto, o que confere uma rotação de aproximadamente 240 rotações por minuto na broca, o tipo de solo perfurado (argiloso) e a profundidade dos furos que foi de 1 metro. O tempo médio de realização de cada furo, que compreende o posicionamento da broca, o acionamento do sistema e a realização do furo foi de 1,5 minuto.

A figura a 13 mostra o teste sendo executado e a figura 14 o buraco perfurado.



Figura 13 - Buraco sendo executado pelo perfurador



Figura 14 - Buraco terminado

Tratamento térmico dos grupos de parafusos 2 e 3

Primeiramente aqueceu-se o forno a uma temperatura de 850° C, e colocou-se dentro de uma caixa metálica os parafusos juntamente com carvão e cavaco de ferro para proteger a superfície do parafuso de sofrer perda de carbono.

Em seguida colocou-se a caixa com os parafusos dentro do forno e aguardou-se um intervalo de tempo de duas horas até ser efetuado o rápido resfriamento, feito em água na temperatura ambiente e sob constante agitação.

Foram temperados um total de quatro parafusos.

Posteriormente a têmpera realizada nos parafusos, dois deles foram submetidos também ao procedimento de revenimento, que foi efetuado a 400° C por duas horas, com o intuito de eliminar as tensões residuais acumuladas no processo anterior.

Após passarem por esta etapa de tratamentos térmicos, foram realizadas todas as etapas anteriores de preparação e análise metalográfica, medida de dureza, bem como os testes em campo para aferir novamente o desempenho dos parafusos. Vale ressaltar que os

procedimentos foram realizados tanto para os parafusos somente temperados quanto para os temperados e revenidos.

Resultados e Discussões

Grupo 1 de parafusos

A análise química dos parafusos comerciais, representada na tabela 2 revelou que, os valores da porcentagem de Mn encontram-se acima dos valores alcançados para aços comuns (10XX), que normalmente fica na faixa de 0,6 a 0,9 %. Isso já permitiria colocar esta composição como aços de baixa liga com manganês (11XX), que registra, de acordo com o livro ENGINEERING PROPERTIES OF STEEL (1982) a porcentagem de manganês na faixa de 1,00 a 1,30%. Nesse sentido, pode-se dizer que este parafuso comercial está dentro das especificações da norma, pois esta composição está prevista na linha 1 da tabela 3 (composição química especificada pela norma ISO 898 para parafusos da classe 8.8) e são parafusos que devem ser temperados e revenidos.

Tabela 2 - Composição química obtida através da espectrometria (% em peso)

C	0,2833
Mn	1,1295
Si	0,2226
Cr	0,1618
Ni	0,0146
Mo	0,0220
Cu	0,0349
P	0,0133
S	0,0079
Ti	0,0259

Tabela 3 - Composição química sugerida pela norma ISO 898 para parafusos da classe 8.8.

Material e Tratamento	Composição Química			
	C	P	S	B
Aço carbono com elementos de liga (B, Mn ou Cr) temperado e revenido	0,015-0,40	0,035	0,035	0,003
Aço carbono temperado e revenido	0,25-0,55	0,035	0,035	0,003

A microestrutura desse parafuso, apresentada na figura 15 ilustra a presença de martensita maclada revenida e áreas que poderiam sugerir a presença de bainita e outros componentes. Essa morfologia da martensita é característica de aços de baixo carbono, apresentando durezas menores, que uma vez revenidas proporcionarão valores de dureza ainda mais baixos, de acordo com KRAUSS (1999). No revenimento de aços baixa liga, a dureza diminui continuamente à medida em que se aumenta a temperatura do revenimento. Isso significa que as durezas dependerão da temperatura do revenimento e que por certo ficam abaixo da dureza obtida no estado somente temperado.

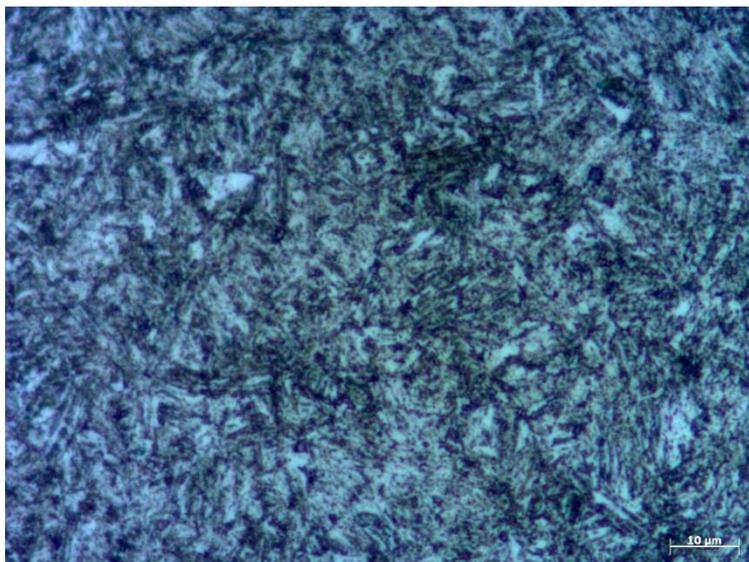


Figura 15 - Microestrutura de parafuso do grupo 1

Os valores de dureza desse parafuso comercial estão descritos na tabela 4. Comparando com os valores de norma para esse componente da classe 8.8, verifica-se que o parafuso se encontra no limite inferior de dureza da faixa recomendada, já que pela norma mencionada anteriormente, os valores de dureza para essa classe de parafusos devem ficar entre 22 e 32 HRC.

Tabela 4 - Medidas de dureza aferidas em laboratório para parafusos do grupo 1

POSIÇÃO	VALORES DE DUREZA HRC
CENTRO	24
MEIO	22
EXTREMIDADE EXTERNA	25

NOTA: Para cada posição foram feitas duas medições e os resultados apresentados na tabela acima equivalem a média aritmética entre elas. Vale ressaltar que os resultados foram praticamente idênticos.

Baixos valores de dureza tornam o componente mais propenso a sofrer deformação plástica. Foi o que se verificou nos ensaios em campo com este parafuso (grupo1). A deformação plástica sofrida pelo parafuso é totalmente indesejada no processo, uma vez que dificulta muito a substituição do mesmo, além de promover uma vida útil muito limitada.

A figura 16 mostra o parafuso deformado e fraturado e a tabela 5 mostra o desempenho desse grupo 1 em termos de número de horas trabalhadas e número de furos feitos.

O que se observa é que dada a solicitação, o componente se deforma plasticamente e fratura pelo encruamento imposto durante a deformação plástica nos ciclos subsequentes.



Figura 16 – Parafuso deformado e fraturado após teste

Tabela 5 - Resultado dos testes em campo dos parafusos do grupo 1

CORPO DE PROVA	TEMPO (MINUTOS)	NÚMERO DE FUROS
CP 1	32	48
CP 2	36	54
CP 3	30	45

Observando a tabela, também é possível concluir que os ciclos de vida útil dos corpos de prova, nas condições citadas, podem apresentar uma pequena variação, pois é praticamente impossível que se encontre a mesma resistência em furos diferentes dada a variação do solo. Vale ressaltar que houve um teste descartado, pois ocorreu uma

situação em que o perfurador de solo encontrou uma camada rochosa. Essa situação foi considerada como adversa e o tempo até a fratura do parafuso foi de 17 minutos.

De posse de todos esses dados, surgiu a necessidade de buscar um parafuso que apresentasse uma maior resistência a esse tipo de esforço, afim de melhorar o desempenho do mesmo quando submetido ao trabalho, uma vez que, como já foi dito anteriormente, sua substituição após fraturado é muito difícil, tornando o trabalho lento e cansativo.

Desse modo, foi feito um estudo em termos de processos de tratamento térmico para elevar a dureza no limite máximo permitida para esse parafuso de classe 8.8 dentro do especificado pela ISO.

Grupo 2 de parafusos

No grupo 2, parafusos com resultado de análise química similar aos anteriores, após sofrer a têmpera e o revenido, os seus valores de dureza atingiram a faixa de 35 HRC, conforme pode ser verificado na tabela 6. Esses valores estão um pouco acima do recomendado por norma para parafusos dessa classe, que é 32 HRC. A microestrutura se apresentou bastante semelhante a do grupo 1, com predominância de martensita maclada revenida.

Tabela 6 - Medidas de dureza aferidas em laboratório para os parafusos do grupo 2

	Amostra temperada e Revenida
Centro	35
Meio	34
Extremidade	35

Indo aos testes de campo, observou-se que o componente ainda apresentava deformação plástica após uso, mas não chegou a fraturar em nenhum dos experimentos, como mostra a figura 17.



Figura 17 - Parafuso do grupo 2 deformado após teste

A tabela 7 ilustra os resultados obtidos em campo para o grupo 2 de parafusos. O tempo máximo de trabalho foi estipulado em 8 horas e, nesse período não se observou a fratura do componente, somente a deformação plástica ilustrada na figura 17.

Tabela 7 - Resultados do teste em campo para os parafusos do grupo 2

	Parafusos Temperados e Revenidos
CP 1	1 dia (aprox. 8 horas) – não fraturou
CP 2	1 dia (aprox. 8 horas) – não fraturou

Essa deformação plástica sugere que a dureza obtida nos componentes do grupo 2 ainda não são suficientes para suportar os esforços. Havia então dois caminhos a seguir: um revenido a uma temperatura mais baixa ou testar o comportamento do parafuso na condição apenas temperado, o que por certo apresentaria componentes com níveis de dureza maiores.

Embora a martensita tenha uma característica frágil, aços de baixo carbono com martensita maclada e a presença ainda de outras fases de menor dureza, não trariam níveis de tensões comprometedoras ao tipo de aplicação. Aparentemente nesse componente a solicitação para a absorção de choques é pequena. Assim decidiu-se por testá-los na condição somente temperados.

Grupo 3 de parafusos

As durezas obtidas nos parafusos desse grupo se encontram na tabela 8:

Tabela 8 - Medidas de dureza aferidas em laboratório para os parafusos do grupo 3

	Amostra temperada
Centro	36,2
Meio	40,8
Extremidade	41,8

Nota-se que os valores de dureza são superiores ao do grupo 2, uma vez que não sofreram o revenimento. A microestrutura obtida nas amostras desse grupo apresenta-se formada por martensita maclada com presença ainda de outras fases, possivelmente bainita (figura 18).



Figura 18 - Microestrutura de parafuso do grupo 3

Tendo-se a porcentagem de carbono e o valor de dureza na condição temperado, pode-se fazer uma avaliação adicional, a de porcentagem de martensita obtida pós têmpera.

Usando a figura 19 (REPUBLIC STEEL CORPORATION), é possível verificar que, para 0,28% de carbono (composição do parafuso) e dureza de 40 HRC, a porcentagem de martensita formada está entre 50 % e 80 %. Valores de martensita dessa ordem possivelmente foram possíveis devido aos valores mais altos de manganês. Como é sabido, manganês é um elemento de liga que tem grande efeito na temperabilidade.

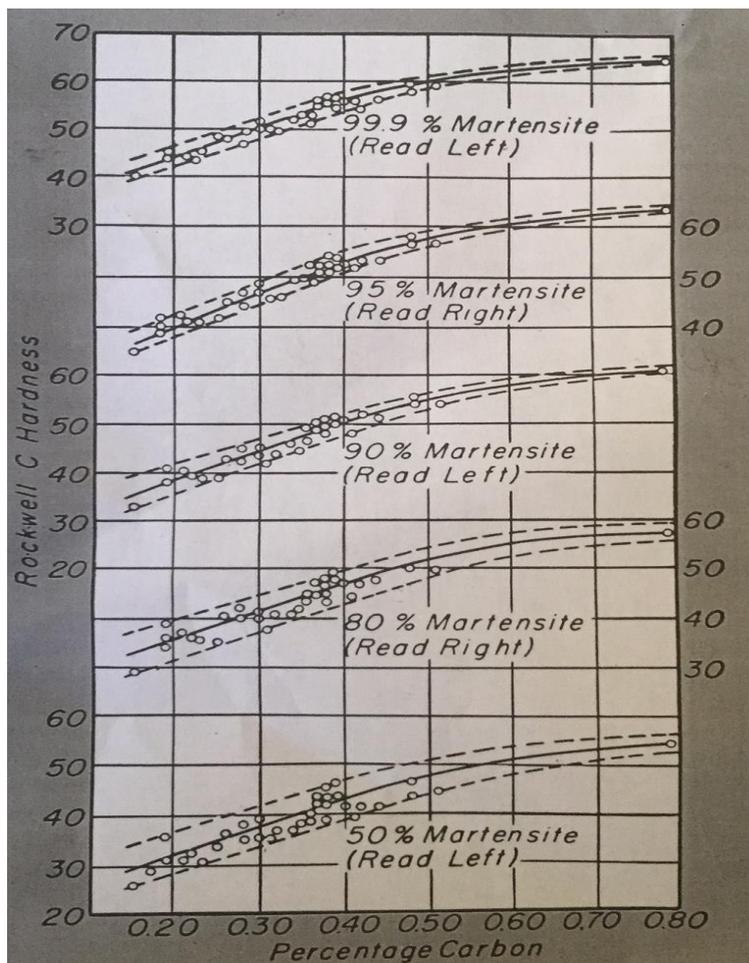


Figura 19 - Dureza da estrutura martensitica em função da quantidade de carbono (REPUBLIC STEEL CORPORATION, 1968)

Essas amostras foram então ensaiadas em campo. Foi testada somente uma que trabalhou por aproximadamente 8 horas ininterruptas sem nenhum sinal de falha. A figura 19 mostra o parafuso retirado após as 8 horas de teste.



Figura 20 - Detalhe de parafuso do grupo 3 após 8 horas de teste

Pode-se observar que praticamente não há nenhuma deformação plástica visível.

Assim o que se verificou foi que os parafusos da classe 8.8 apresentam níveis de resistência incompatíveis com as solicitações mecânicas exigidas nessa aplicação em específico, indicando a necessidade de se usar classes superiores. Parafusos da classe 10.9 atingiriam os níveis de dureza necessários para esta aplicação, no entanto, tais parafusos são mais difíceis de serem adquiridos.

Diante disso, o que se poderia sugerir como uma solução simples, sem a necessidade de se usar parafusos de classe superior, é a busca de pinos comerciais que apresentem níveis compatíveis de dureza.

Uma pesquisa no comércio local trouxe uma solução que consiste na utilização de pinos, cortados através de barras inteiras de 6 metros de comprimento e 16 mm de diâmetro, fornecida com dureza nominal de 42 HRC, com a composição química dada na tabela 9.

Tabela 9 - Composição química barra sugerida (favorit aços)

C	0,40 - 0,50 %
Si	0,20 - 0,35 %
Mn	0,50 - 0,70 %
Cr	0,60 – 0,80 %
Mo	0,25 – 0,35 %
V	0,07 – 0,12 %

Conclusões

O estudo apresentado mostrou que:

- Parafusos da classe 8.8, na situação como adquiridos, apresentando dureza na faixa de 24 HRC não possuem a resistência necessária para atender as solicitações da aplicação estudada.
- Parafusos de mesmo material temperados e revenidos, alcançaram uma dureza em torno de 35 HRC tem melhor desempenho, mas ainda apresentam deformação plástica resultante da solicitação imposta.
- Durezas da ordem de 40 HRC conseguidas pela têmpera em água produziram a resistência necessária para atender os requisitos mecânicos impostos nesta aplicação.
- A utilização de pinos comerciais com níveis de dureza de 42 HRC, não normalizados, de aço com composição química já citada, possivelmente poderão ser usados nessa aplicação.

Referências

American Society for Metals – Engineering Properties of Steel

BROOKS, CHARLIE R. – Principles of the Heat Treatment of Plain Carbon and Low-Alloy Steels – 1996;

CALLISTER, W. D. – Ciência e Engenharia dos Materiais – 2002;

KRAUSS, George – Principles of Heat Treatment of Steel – 1999;

MAKI, T.; TSUZAKI, K.; TAMURA, I. – The Morphology of Microstructure Composed of Lath Martensite in Steels – 1980;

Norma ASTM E3-11 – técnicas de metalografia;

Norma ASTM E18-05e1 – padrão de medições de dureza Rockwell;

Norma ISO 898;

PORTER, D. A.; EASTERLING, K. E. – Phase Transformation in Metals and Alloys – 1992;

SILVA, A. L. C.; MEI, P. R. – Aços e Ligas Especiais – 1988;

VOORT, G. F. V. – Martensite and retained austenite. Industrial Heating – 2009.