



Universidade Estadual Paulista

“Júlio de Mesquita Filho”



FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

DANIEL PONTES TAGLIABUES

Análise dos Desgastes da Coroa do Sabre de Corte em Máquina Florestais.

Bauru, SP

Dezembro - 2020

DANIEL PONTES TAGLIABUES

**Análise dos Desgastes da Coroa do Sabre de Corte em
Máquina Florestais.**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru, programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica na área de Processos de Fabricação, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Ivaldo De Domenico Valarelli

Bauru, SP

Dezembro - 2020

Tagliabues, Daniel. Pontes.

Análise dos Desgastes da Coroa do Sabre de
Corte em máquinas florestais. / Daniel Pontes

Tagliabues, 2020

127 f. : il.

Orientador: Dr. Ivaldo De Domenico Valarelli

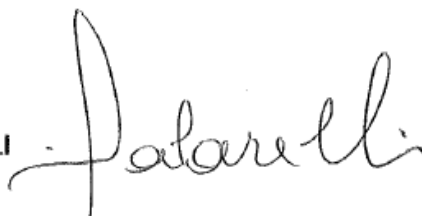
Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2020

1. Mecanização florestal 2. Harvester 3.
Eucaliptos 4. Microfundição 5. Martêmpera 6.
Desgaste Abrasivo I. Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE DANIEL PONTES TAGLIABUES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 15 dias do mês de dezembro do ano de 2020, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de DANIEL PONTES TAGLIABUES, intitulada **ANÁLISE DOS DESGASTES DA COROA DO SABRE DE CORTE EM MÁQUINA FLORESTAIS**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. ELSON AVALLONE (Participação Virtual) do(a) Departamento de Indústria / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) - Câmpus de Catanduva/SP, Prof. Dr. ALEXANDRE JORGE DUARTE DE SOUZA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Industrial Madeireira / Campus Experimental de Itapeva - UNESP. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI



Este trabalho eu dedico ao meu pai, Antônio Tagliabues e minha mãe, Elaine E. P. Tagliabues, a minha noiva, Ana Flávia que durante esta difícil e conturbada jornada me incentivaram até conclusão.

*À minha irmã Jessica, às minhas sobrinhas e aos meus amigos.
Eu ofereço!!!*

Primeiramente quero agradecer a Deus, pois através dele que obtive o desejo, paciência e sabedoria para chegar ao fim desta Dissertação, agradeço aos meus pais e minha noiva que sempre me apoiaram em todos os segundos destinados a este trabalho. A Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia campus de Bauru por me aceitar e conceder a minha presença no programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, agradeço ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Ivaldo De Domenico Valarelli, por ter me orientado e ter me mostrado um exemplo de dedicação, paciência e amor por aquilo que se faz. Muito obrigado pela confiança e por acreditar em mim !! e também ao meu amigo Dr. Marcus Antônio Pereira Bueno pela disposição, ajuda e por me incentivar a nunca desistir. Agradeço ao meu amigo e companheiro de pesquisa, José de Aguiar Junior, por estar sempre presente e ter me apoiado nas horas de real necessidade e também agradeço a todos os amigos e amigas que diretamente ou indiretamente me ajudaram e me incentivaram com este trabalho.

Agradeço a Maqnova por ter deixado utilizar suas instalações e por ter doado as amostras das coroas para a realização deste estudo, agradeço também a Cia Suzano de papel e Celulose com uma unidade situada em Itatinga - SP por deixar realizar a coleta de dados em seu parque florestal e a Empresa TBM Service por realizar as análises dos corpos de provas utilizados neste trabalho.

A todos mais uma vez meus sinceros agradecimentos, Daniel.

RESUMO

Análise dos Desgastes da Coroa do Sabre de Corte em Máquina Florestais

A mecanização florestal tem apresentado e demonstrado ser uma atividade custosa em diversos fatores a serem controlados e monitorados para continuar sendo uma atividade viável e competitiva no mercado nacional. Tendo em vista uma demanda por reduções de custos, o presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento em campo de duas coroas utilizada em um “cabeçote Harvester”, sendo uma original (A) comprada de uma revenda para peças genuínas para reposição de máquinas florestais e outra microfundida (B). O modelo “harvester” é constituído por uma máquina base automotriz, uma lança ou braço mecânico/hidráulico e um implemento mais conhecido como “cabeçote” em sua extremidade. O “cabeçote de Harvester” é uma das ferramentas que executa o trabalho e é composto por braços acumuladores (preensores) e uma serra ou um sabre e uma coroa (pinhão / disco). A coroa microfundida (B) foi fabricada através do processo de microfundição com o material SAE 8630. Após a utilização de ambas as coroas (A e B) em campo durante o período de um ciclo de colheita florestal de madeiras de Eucalipto, as mesmas foram removidas e analisadas através de ensaios dos tipos: não destrutivo (Ultrassom), dureza Rockwell, microdureza vickers e desgaste abrasivo, além de análise química via espectrometria óptica, de modo a se obter o comportamento do desgaste das coroas. Em adição avaliou-se também o comportamento das máquinas em campo. Comparando as análises laboratoriais com o desempenho em campo, foi possível observar que os desgastes na coroa por microfundição (B) foram maiores em relação ao material genuíno (coroa original (A)), entretanto, também apresentou bons desempenhos na colheita. Apesar da vida útil da coroa microfundida (B) ser inferior, tecnicamente ela se apresenta como uma possível fonte de material alternativo.

PALAVRAS-CHAVE: mecanização florestal, harvester, eucalipto, microfundição, martêmpera e desgaste abrasivo.

ABSTRACT

Analysis of the Saber Cutting Sprocket Wear on Forestry Machines

The forest mechanization has been presented and demonstrated itself as an expensive activity in several factors which need to be controlled and monitored to continue being a workable and competitive activity in the national market. Aiming at the demand for cost reduction, this study has as its goal to analyze the behavior of a sprocket in a field, which has been used in a "head harvester". The Harvester template consists of an automotive base machine, a spear or mechanic/hydraulic arm, and an implement well-known as "head" in its end. The "head harvester" is one of the tools which performs the work and it is composed by accumulator arms (squeezers), a saw or a cutting saber, and a sprocket (disc). This sprocket was made of SAE 8630 through investment casting process. By spectrographic, hardness and wear abrasive tests, we can analyze the behavior of the wear in a period of Eucalyptus forestry harvest cycle. Comparing the laboratory analysis of the field performance between a sprocket made of genuine material and the one made through investment casting, it is possible to see that the most worn sprocket was the second one. Yet, it demonstrated good performance during the harvest cycle and, although its lifespan is shorter, this sprocket has technically shown is itself as a possible source of alternative material.

KEYWORDS: Forest mechanization, harvester, eucalyptus, investment casting, martempering and abrasive wear.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAF	Associação Baiana das Empresas de Base Florestal
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ASM	American Society for Metals
ASTM	American Society for Testing and Materials
BRACELPA	Associação Brasileira de Celulose e Papel
CPA	Corpo de prova Coroa Original
CPM	Corpo de prova Coroa Microfundida
DAP	Diâmetro da Altura do Peito Médio
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nation
FESA	Forest Engineering Southern Africa
FS	Forest Service
HB	Hardness Brinell
HRC	Hardness Rockwell C
HV	Hardness Vickers
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
SAE	Society of Automotive Engineers
SNIF	Sistema Nacional de Informações Florestal
SysFlor	Sistema de Planejamento Florestal
TTT	Tempo - Temperatura – Transformação
UNESP	Universidade Estadual Paulista

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
Atm	Pressão atmosférica
Bar	Pressão
C	Carbono
Cm	Centímetro
cm ³	Centímetro Cúbico
Cr	Cromo
°C	Grau Célsius
D	Densidade
Fe	Ferro
g	Grama
ha	Hectare
H	Hora
K	Coeficiente de desgaste
kN	Kilo Newton
L	Carga
m	Metro
m ³	Metro Cúbico
min	Minutos
mm ³	Milímetros Cúbicos
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
N	Newton
Ni	Níquel
P	Fósforo
rpm	Rotações por minuto
S	Enxofre
S ₀	Distância percorrida
Si	Silício
V	Vanádio
V _R	Volume Removido
%	Porcentagem

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Floresta Plantada 2015 - 2018	20
Figura 2. Distribuição do plantio de eucalipto por estados e evolução de plantio no Brasil.	21
Figura 3. Evolução da produtividade do Eucalipto e Pinus no Brasil, 2012-2018.	22
Figura 4. Modelo de um cabeçote Harvester.....	27
Figura 5. Um cabeçote Harvester com detalhe da unidade de serra.....	28
Figura 6. Tipos de dentes: (1) redondo; (2) semiquadrado e (3) quadrado.	29
Figura 7. Composição da corrente: dente de corte, elo de tração, elo de união e rebite.	30
Figura 8. Parte genérica do sabre	31
Figura 9. Tipos sabres: (1) sabres sólidos com nariz fixo e (2) sabre sólido com nariz removível	32
Figura 10. Montagem da coroa no conjunto de corte do Harvester.....	33
Figura 11. Coroa “Spur” e Coroa “Rim”.	34
Figura 12. Tipos de coroas “Rim” em variedade de tamanho e passos para correntes.	35
Figura 13. Modos de Mecanismo de Desgaste	37
Figura 14. Mecanismos de desgaste abrasivo	38
Figura 15. Desgaste abrasivo por deslizamento (1) e por rolamento (2).....	39
Figura 16. Mecanismos de desgaste - Desgaste Adesivo	39
Figura 17. Mecanismos de desgaste - Desgaste por fadiga.....	40
Figura 18. Mecanismos de desgaste - Desgaste corrosivo	41
Figura 19. Etapas do processo de microfusão	43
Figura 20. Montagem da Coroa de cera no canal (montagem dos cachos)	44
Figura 21. Lavagem (a), revestimento cerâmico (b) e revestimento dos canhos com material refratário granulado (c).....	45
Figura 22. Cachos entrando na autoclave para deceragem.....	46
Figura 23. Cachos a forno a vácuo (a) e resfriamento ao ar livre (b)	47
Figura 24. Cachos antes da desmolagem (a) e cachos após a desmolagem (b)	48

Figura 25. Diagrama esquemático de transformação para Austêmpera: Têmpera Convencional e Revenido (a) e Austêmpera (b).....	50
Figura 26. Diagrama esquemático de transformação para martêmpera: têmpera convencional (a) e Martêmpera (b).....	51
Figura 27. Fluxograma para construção da coroa microfundida.....	54
Figura 28. Matriz para injeção em cera para o molde da coroa.....	55
Figura 29. Coroa em material de cera.	56
Figura 30. Coroa Microfundida SAE 8630 após processo de microfusão.	56
Figura 31. Máquina utilizada para realizar o processo de usinagem.....	58
Figura 32. Esquema do procedimento do tratamento térmico em banho de sal e resfriamento em óleo e revenimento para Coroa.	59
Figura 33. Montagem do alinhamento da coroa com a corrente	60
Figura 34. Máquina Komatsu em campo com o cabeçote Harvester	61
Figura 35. Cabeçote Harvester - Valmet 370E	62
Figura 36. Máquina realizando corte da madeira	63
Figura 37. Primeiro Empilhamento dos toretes após o corte	63
Figura 38. Segundo Empilhamento dos toretes após o corte	64
Figura 39. Aparelho de Ultrassom digital portátil.	65
Figura 40. Espectrômetro utilizado para análise química das coroas, modelo SPECTROMAX.	66
Figura 41. (a) durômetro de bancada Mitutoyou e (b) durômetro de bancada Digimess.....	67
Figura 42. Corpos de prova para ensaio de desgaste abrasivo, sendo (a) corpos de prova da coroa original e (b) corpos de prova da coroa microfundida.....	68
Figura 43. Equipamento utilizado para o ensaio de desgaste nos corpos de provas.....	69
Figura 44. Inspeção visual Coroa Original (A), sendo (a) parte frontal e (b) parte lateral com marcas de contato com a corrente.....	71
Figura 45. Inspeção visual Coroa fabricada (B), sendo (a) parte frontal e (b) parte lateral com marcas de contato com a corrente.....	72
Figura 46. Média de pontos HRC em função do desempenho das coroas em campo.....	73
Figura 47. Resultado na tela do aparelho de ultrassom a coroa original (A).	74

Figura 48. Resultado na tela do aparelho de ultrassom a coroa microfundida (B).	74
Figura 49. Coroa Original (A) com a identificação do corpo de prova CPA-01.....	77
Figura 50. Análise Micrográfica Coroa Original (A) Corpo de Prova CPA-01.....	77
Figura 51. Coroa Original (A) com a identificação do corpo de prova CPM-01	78
Figura 52. Análise Micrográfica Coroa Microfundida (B), Corpo de Prova CPM-01.	79
Figura 53. Média da perda de massa em função da distância percorrida (m) para as coroas.....	82
Figura 54. Média da perda de massa em função da distância percorrida (m) para as coroas.....	83
Figura 55. Coeficiente de desgaste em função da distância percorrida para coroas.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Área de floresta plantada (ha), por cultura	20
Tabela 2.	Composição química AISI 8630.	57
Tabela 3.	Propriedades mecânicas AISI 8630.	57
Tabela 4.	Identificação dos corpos de prova para ensaio de desgaste abrasivo.....	69
Tabela 5.	Desempenho das coroas em campo	72
Tabela 6.	Composição Química das Coroas.....	75
Tabela 7.	Ensaio de Dureza Rockwell C das Coroas.....	80
Tabela 8.	Ensaio de microdureza Vickers das Coroas.....	81
Tabela 9.	Resultado do ensaio de desgaste abrasivo perda/ variação de massa.....	82
Tabela 10.	Densidade, média da perda de massa e volume removido para as coroas	83
Tabela 11.	Coeficiente de desgaste para as coroas.	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVO	18
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	FLORESTAS PLANTADAS	19
3.2	EUCALIPTO E SUAS UTILIZAÇÕES	21
3.3	COLHEITA FLORESTAL PARA O EUCALIPTO	22
3.4	SISTEMA “HARVESTER” PARA A MECANIZAÇÃO DA COLHEITA FLORESTAL	24
3.5	SISTEMA DE CORTE EM UM CABEÇOTE “HARVESTER”	27
3.6	CONJUNTO DE CORTE PARA O CABEÇOTE “HARVESTER”	28
3.6.1	CORRENTE	29
3.6.2	SABRE	30
3.6.3	COROA (PINHÃO / DISCO)	32
3.7	DEGASTE	36
3.7.1	MECANISMOS DE DESGASTE	36
3.7.1.1	DESGASTE ABRASIVO	38
3.7.1.2	DESGASTE ADESIVO	39
3.7.1.3	DESGASTE POR FADIGA	40
3.7.1.4	DESGASTE CORROSIVO E OXIDATIVO	41
3.8	MICROFUSÃO (FUNDIÇÃO DE PRECISÃO)	42
3.8.1	INJEÇÃO E EXTRAÇÃO DA CERA	43
3.8.2	MONTAGEM DOS CACHOS	44
3.8.3	REVESTIMENTO DOS CACHOS COM LAMA REFRAATÁRIA, APLICAÇÃO DO MATERIAL GRANULADO.	45
3.8.4	DECERAGEM E CALCINAÇÃO	46
3.8.5	VAZAMENTO ATRAVÉS DO PREENCHIMENTO DO METAL NO MOLDE CERÂMICO	46
3.8.6	QUEBRA DA CASCA (DESMOLAGEM) E SEPARAÇÃO DAS PEÇAS	47

3.8.7	INSPEÇÃO VISUAL, DIMENSIONAL E METALOGRÁFICA.....	48
3.9	TRATAMENTO ISOTÉRMICO E TÉRMICO	49
3.9.1	TRATAMENTO ISOTÉRMICO	49
3.9.2	AUSTÊMPERA.....	50
3.9.3	MARTÊMPERA	51
3.9.4	REVENIDO.....	51
4	MATERIAIS E MÉTODOS	52
4.1	MATERIAIS UTILIZADOS	52
4.1.1	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	53
4.2	METODOLOGIA.....	53
4.2.1	PROCESSO DE MICROFUSÃO DA COROA.....	54
4.2.1.1	FABRICAÇÃO DE MOLDES E MATRIZES PARA O PROCESSO DE INJEÇÃO EM CERA.....	55
4.2.2	PROCESSO DE USINAGEM DA COROA	57
4.2.3	TRATAMENTO TÉRMICO DA COROA MICROFUNDIDA	58
4.2.4	MONTAGEM DA COROA NO CONJUNTO DE CORTE.....	60
4.2.4.1	OPERAÇÃO DO HAVERSTER EM CAMPO	60
4.2.5	ENSAIO NÃO DESTRUTIVO	64
4.2.5.1	ENSAIO POR ULTRASSOM.....	64
4.2.6	ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS COROAS	65
4.2.6.1	ANÁLISE QUÍMICA VIA ESPECTROMETRIA ÓPTICA.....	65
4.2.6.2	ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL E ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS.....	66
4.2.6.3	ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO	67
4.3	ANALISE ESTATÍSTICA	70
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1	RESULTADO DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTÍVEIS	71
5.1.1	INSPEÇÃO VISUAL DAS COROAS	71
5.1.2	ENSAIO POR ULTRASSOM.....	73
5.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS COROAS.....	75
5.3	ANÁLISE MICROGRÁFICA DAS COROAS.....	76
5.3.1	ANÁLISE MICROGRÁFICA DA COROA ORIGINAL (A).....	76

5.3.2	ANALISE MICROGRÁFICA DA COROA MICROFUNDIDA (B)	78
5.4	ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL DAS COROAS	79
5.5	ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS DAS COROAS	81
5.6	ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO	81
6	CONCLUSÃO	85
7	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	86
	REFERÊNCIAS.....	87
	ANEXO.....	96
	APÊNDICE	97

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal mundial é caracterizado como um fornecedor de energia ou matéria prima para indústria da construção civil e de transformação. No Brasil, existem aproximadamente 7,8 milhões de hectares com florestas plantadas, sendo 75,22% por espécies do gênero eucalipto, 20,63% por espécies do gênero pinus e 4,15% de outras espécies cuja madeira é destinada para a produção de celulose e papel, chapas, energia, carvão vegetal, painéis, dentre outros produtos e subprodutos. O país vem desenvolvendo uma estrutura produtiva complexa no setor florestal, como floresta plantada (Pinus / Eucaliptos) e com equipamentos, insumos e projetos de engenharia resultando em um aumento na participação no comércio mundial. (DEGENHARDT-GOLDBACH,2020).

No ano de 2018 o setor responsável pelas árvores plantadas destacou um crescimento de 13,1% resultando em uma receita setorial de R\$ 86,6 bilhões. O aumento deste segmento registrou uma evolução acima da média nacional de 1,1% no Produto Interno Bruto (PIB) Nacional enquanto o da agropecuária evoluiu 0,1%, o setor de serviços 1,3% e a indústria em geral de 0,6%. Contudo o setor de árvores plantas obteve uma participação de 1,3% do PIB nacional e de 6,9% do PIB industrial. Com este aumento na produção nacional, o Brasil vem se destacando no comércio mundial como o maior exportador de celulose, o saldo da balança comercial atingiu um novo recorde e fechou o ano em U\$\$ 11,4 bilhões mantendo um crescimento constante nos últimos 3 anos, conforme destacado pelo Instituto Brasileiro de Árvores (IBÁ).

De acordo com Associação Baiana das Empresas de Base Florestal (ABAF), no centro-oeste paulista o setor florestal tem ganhado destaque devido à expansão de uma fábrica de celulose solúvel que terá capacidade de gerar anualmente cerca de 2 milhões de toneladas de celulose. A maioria da produção desta celulose solúvel será destinada à exportação aos principais mercados da China e Europa. Por estar inserido num contexto global e ter uma participação considerável no PIB brasileiro, o setor florestal demanda de inovações, avanços tecnológicos e reduções de custo na colheita florestal, que justifiquem por vantagens econômicas e ambientais.

Segundo Arce et al. (2004) a colheita florestal representa a operação final de um ciclo de produção florestal, na qual são obtidos os produtos mais valiosos,

constituindo um dos fatores que determinam a rentabilidade florestal. Esta atividade é, a que também mais sofre o processo de mecanização.

A colheita mecanizada é um processo contínuo de melhorias nas condições de trabalho e redução do custo final da madeira (Do Nascimento Santos, 2018). A colheita florestal mecanizada pode ser executada de maneiras diversas e por vários equipamentos tendo assim uma junção entre máquinas, que formam o sistema de colheita florestal, que pode ser definido como um conjunto de atividades integradas que permitem o fluxo constante de madeira (Ferraz, 2020).

O harvester é a máquina principal, utilizada na derrubada, corte e processamento, em toras de comprimentos pré-determinados. Durante a etapa da colheita, sistema harvester executa todo o processo derrubar, descascamento, traçamento até o empilhamento da madeira para secagem e prontas para serem recolhidas da floresta. (LINHARES, 2012).

De acordo com Brown (2017), o harvester é constituído por uma máquina principal ou máquina base podendo ter rodados em pneus com tração 6x6 ou 8x8, semi-esteiras e esteiras. Além desta máquina base o harvester é equipado com uma grua hidráulica e com um cabeçote. O cabeçote harvester define-se por um implemento inteligente complexo, tendo diversas conexões hidráulicas e ligado diretamente a um computador que processa informações como número de árvores processadas, volume de madeira processado e volume médio individual. Os principais componentes do cabeçote harvester é o sistema de corte que são suas facas, entre elas a faca vertical, frontais direita e esquerda e traseiras direita e esquerda, seus rolos que são quem alimenta o cabeçote e faz o movimento no fuste e o sabre que realiza os cortes de derrubada e traçamento, os mesmos constam com sensores que medem o diâmetro e comprimento dos fustes.

O sistema de corte é constituído por uma embreagem centrífuga, pinhão, sabre e corrente, por (STREIT; OLIVIERA; HASELGRUBER, 1986).

A coroa (pinhão / disco) move a corrente de corte em torno da barra guia de uma colheitadeira em alta velocidade, ela é um componente integrante do sistema de corte, transferindo o poder do harvester para sua corrente conduzida ao redor do sabre de corte. (Oregon, 2005).

2 OBJETIVO

O objetivo deste presente estudo foi acompanhar uma coroa para o sabre de corte de um cabeçote harvester, com material microfundido e comparar o desgaste deste material com uma coroa de material original, sendo que o atual fabricante é uma revenda autorizada pela montadora do cabeçote harvester. Em adição, medir a produtividade de corte com a coroa de material microfundido e apresentar uma proposta técnica alternativa com a reposição da coroa devido ao desgaste.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a resistência mecânica através dos ensaios mecânicos como (espectrometria óptica, dureza, microdureza e ultrassom) e ensaio de desgaste abrasivo.
- Avaliar a produtividade (vida útil até reposição) da coroa microfundida em comparação com a coroa original.
- Analisar os resultados obtidos entre a coroa microfundida em relação coroa original e apresentar como proposta técnica e alternativa em sua fase de substituição devido ao desgaste.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica para esta pesquisa, e os principais temas abordados foram: eucalipto, mecanização florestal, harvester e desgaste da coroa do sistema de corte de um cabeçote harvester.

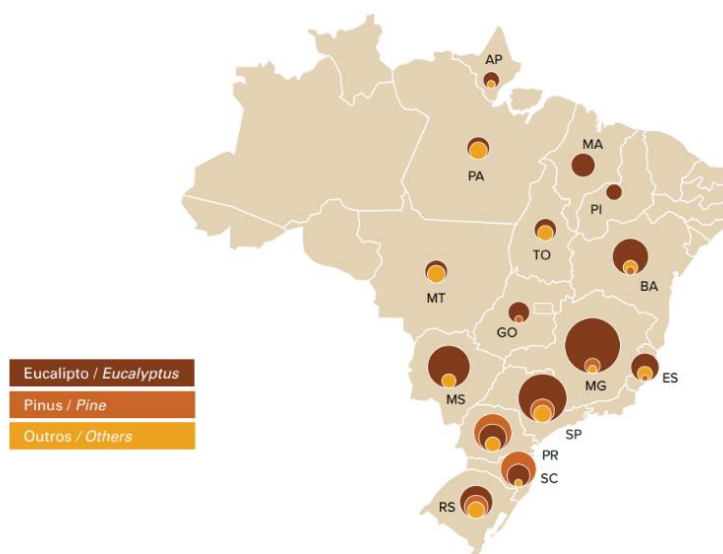
3.1 FLORESTAS PLANTADAS

De acordo com Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF), se iniciaram os plantios de florestas há mais de um século no Brasil, o pioneiro Navarro de Andrade em 1903, foi quem trouxe as mudas de eucalipto (*Eucalyptus* spp.). Esses primeiros plantios produziram madeira para dormentes das estradas de ferro. A partir de 1947 obtivemos os plantios do pinus (*Pinus* spp). Essas espécies, eucalipto e pinus, tem se desenvolvido satisfatoriamente nas regiões onde foram introduzidas, o eucalipto nos cerrados paulistas e o pinus no sul do Brasil.

Os plantios florestais se mostram em grande parte por sistema de monocultura, com rápido crescimento principalmente com os gêneros de Eucaliptos e Pinus. Algumas pesquisas tem demonstrado um resultado positivo na área de sistemas agroflorestais nos aspectos econômicos, ambientais e sociais, sendo que de uma forma geral tem tido dificuldades em promover um aumento das florestas plantadas. Os investimentos em florestas plantadas diferem das culturas agrícolas em geral, o motivo principal decorre em custos operacionais das florestas plantadas desenvolvidas até a idade de corte. Mesmo assim o Brasil nos últimos anos tem aumentado sua área de florestas plantadas, entretanto em uma proporção menor em relação à média mundial. (Moreira, 2017).

No mapa da Figura 1, é possível distinguir as principais áreas de distribuição da espécie de eucalipto, pinus e outros no Brasil.

Figura 1. Floresta Plantada 2015 - 2018



Fonte: SNIF, 2018

Como os recursos naturais da Mata Atlântica haviam sido dilapidados, o plantio dessas espécies tornou-se alternativa viável para suprir a demanda de madeira. O Brasil possui aproximadamente 59% de seu território coberto por florestas naturais e plantadas, sendo a segunda maior área florestal do mundo, precedida apenas da Rússia; deste percentual aproximadamente 500 milhões de hectares são de florestas nativas e 10 milhões de hectares de florestas plantadas (SNIF, 2018; COSTA, 2019).

Os 7,83 milhões de hectares plantados de eucalipto, pinus e demais espécies são destinados para produção de painéis de madeira, pisos laminados, celulose, papel, produção energética e biomassa. (IBÁ, 2019). Na tabela 1 é demonstrada a quantidade da área de floresta plantada por hectare (ha) por espécie de Eucalipto, Pinus e outros.

Tabela 1. Área de floresta plantada (ha), por cultura

Espécie	Ano				
	2014	2015	2016	2017	2018
Outras	588.521	589.201	589.361	585.825	591.451
Pinus	1.588.997	1.581.239	1.567.177	1.567.177	1.569.305
Eucalipto	5.558.653	5.630.607	5.673.784	5.687.72	5.672.431
Total Geral	7.736.171	7.801.047	7.830.322	7.840.731	7.833.187

Fonte: IBÁ 2019.

3.2 EUCALIPTO E SUAS UTILIZAÇÕES

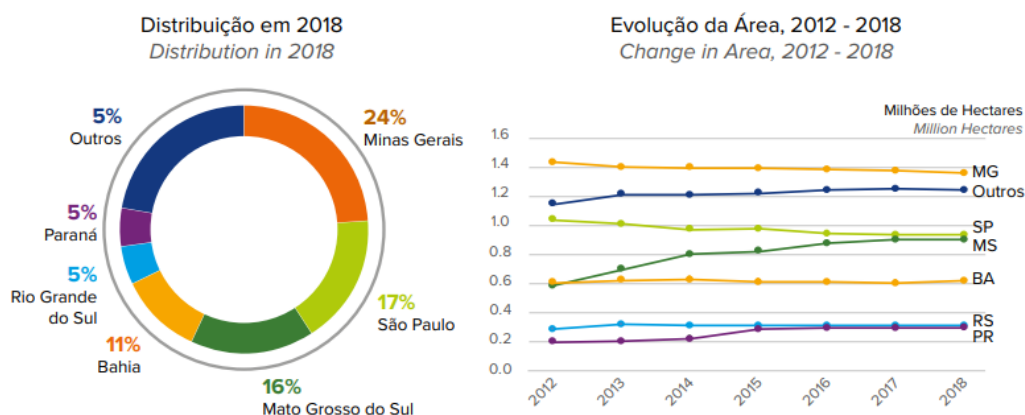
Originário do continente Australiano, essa espécie de Mirtáceas, chamada comumente por eucalipto ou eucaliptos cobre uma área de aproximadamente 90% do território compreendido pela Oceania (BERTOLA, 2004).

O gênero *Eucalyptus* tem aproximadamente 700 espécies (Ferreira, 2019). Dentre as espécies mais cultivadas no Brasil estão o *Eucalyptus camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. grandis*, *E. robusta*, *E. saligna*, *E. globulus*, *E. deglupta*, *E. tereticornis*, *E. pellita*, *E. moorei*, *E. smithii*, *E. urophylla* e *E. resinífera*, onde as mais cultivadas são as espécies *Eucalyptus grandis* (55%), *Eucalyptus saligna* (17%), *Eucalyptus urophylla* (9%), *Eucalyptus viminalis* (2%), híbridos de *E. grandis* e *E. urophylla* (11%) e outras espécies somadas chegam a 6%. A espécie *Eucalyptus benthamii* também vem se destacando na região sul do país por sua tolerância a baixas temperaturas e geadas (BRACELPA, 2014).

Sua expansão das florestas de eucalipto na indústria Brasileira de base florestal, que já é mundialmente conhecida por sua produtividade e redução de ciclos de rotação do plantio e colheita das safras. Esse fator creditado as empresas do ramo e ao avanço de investimento em pesquisa e melhoramento genético, com produtividade média de plantio de eucalipto de 36 m³/ha. ano, enquanto o pinus mantém 30,1 m³/ha. ano, destaca o relatório anual IBA concluído em 2018 (IBÁ, 2019).

O Gráfico da Figura 2 mostra as descrições detalhadas da distribuição e plantio de eucalipto por estados e sua evolução das áreas de plantio entre os anos de 2012 e 2018.

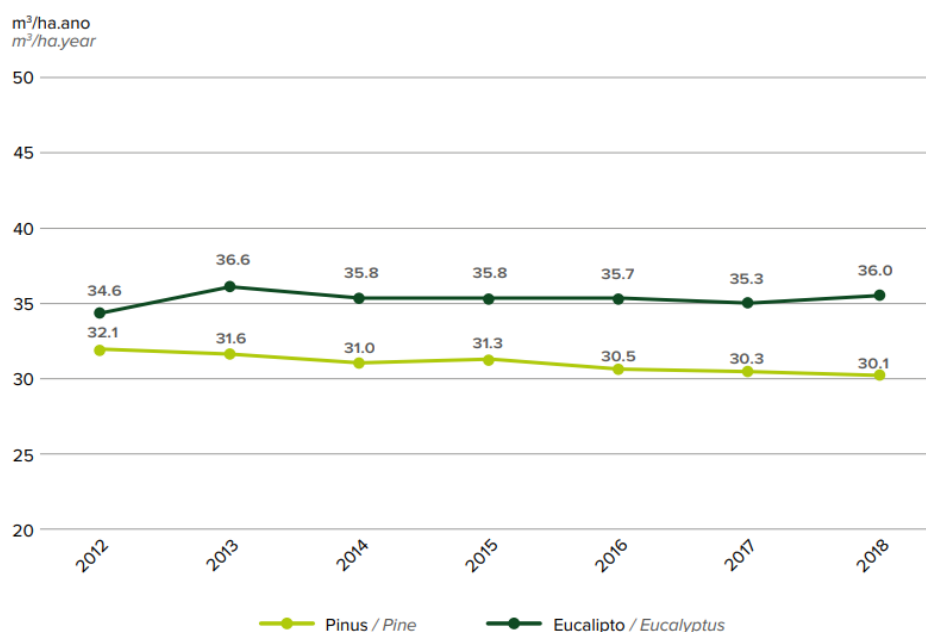
Figura 2. Distribuição do plantio de eucalipto por estados e evolução de plantio no Brasil.



Fonte: (IBÁ, 2019).

Mesmo com os impactos ocorridos durante o ano como alterações climáticas as quais causam desequilíbrio do regime de chuvas em todo território nacional, a produtividade de eucalipto apresentou um aumento médio de 0,5% ao ano. Este aumento está relacionado aos investimentos em pesquisa e melhoramento genético e busca pelos melhores métodos silviculturais feitos pelas empresas ao decorrer dos anos. Enquanto a produtividade média do pinus apresentou um decréscimo de 0,8% no mesmo período (IBÁ, 2019). Na Figura 3 é possível analisar a média de $m^3/ha.ano$ para o Eucalipto e para o Pinus no período entre 2012 e 2018.

Figura 3. Evolução da produtividade do Eucalipto e Pinus no Brasil, 2012-2018.



Fonte: (IBÁ, 2019)

3.3 COLHEITA FLORESTAL PARA O EUCALIPTO.

A atividade florestal se instalou no Brasil logo após o descobrimento, e se iniciou por meio da exploração do pau-brasil. Essa atividade constitui-se por vários anos como a principal atividade econômica do país, passando para segundo plano com o avanço da agricultura. Somente a partir da década de 60, através dos incentivos fiscais, que se iniciou o reflorestamento tornando-se uma atividade em larga escala (Siqueira, 1990).

No Brasil, as operações florestais foram modernizadas a partir da década de 70 quando a indústria nacional começou a produzir maquinários como motosserras e gruas (Sales, 1981).

Segundo Machado, (2002), define-se colheita florestal como um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal que concentra atividades desde a preparação e a extração da madeira até o local de transporte, mediante uso de técnicas e de padrões estabelecidos, com a finalidade de transformar essa mesma madeira em produto final. A colheita pode ser mencionada como uma das fases mais importante do ponto de vista técnico-econômico e inclui as etapas de corte (derrubada, desgalhamento e processamento ou traçamento); de descascamento, quando executado no campo; e de extração e carregamento.

A expressão colheita de madeira é considerada mais adequada com referência a florestas plantadas e ainda implica uma conotação de vantagem; sugere impacto menos negativo que a expressão exploração florestal (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998).

A colheita florestal caracteriza-se como uma atividade muito especial para as empresas consumidoras de madeira, devido a sua importante representatividade nos custos de produção elevados e uma demanda de mão de obra qualificada, além de um trabalho de natureza desgastante e de elevado nível de risco de acidentes (BRAMUCCI; SEIXAS, 2002).

Existem vários métodos e sistema de colheita e processamento de madeira no campo, segundo a espécie florestal, idade do povoamento, finalidade a que se destina o produto, condições gerais da área de colheita e, portanto, o sistema de colheita e processamento a ser utilizado será uma função de um conjunto de fatores condicionantes. Para cada grupo de condições específicas certamente existe um método e um sistema de colheita mais indicado, a serem selecionados para que se proceda a colheita e o beneficiamento da madeira (SILVA et al., 2003).

De uma maneira geral, consideramos uma atividade de corte de madeira semi-mecanizada quando realizada através de motosserras, no arrançamento das toras utilizam-se machados, e o descascamento é realizado através de facões (Salmeron & Ribeiro, 1997).

No início da década de 90 tivemos a abertura das importações e boa parte das empresas intensificou o processo de mecanização da colheita, resultado ganhos

expressivos na utilização de mão-de-obra e redução da frequência e gravidade dos acidentes de trabalho (Bramucci, 2002).

A mecanização florestal tem como o principal objetivo concentrar-se na obtenção do menor custo de produção no processo de colheita florestal. Considerando que o processo de colheita florestal abrange o corte, a extração e o transporte, segundo Parise e Malinovski (2002).

A mecanização da colheita de madeira, apesar de que não seja a única forma existente para se controlar a evolução dos custos, ela ajuda a reduzir drasticamente prazos relativamente curtos e atinge uma posição elevada na manutenção dos esforços de aumentar a produtividade e humanização no trabalho florestais (WADOUSKI, 1997).

A eficiência de um sistema de colheita de madeira é totalmente dependente do ambiente em que se opera. Alguns fatores principais a serem considerados são: o clima, o terreno, a espécie vegetal, a infra - estrutura, o nível de desenvolvimento, a tradição do sistema utilizado e a estrutura da indústria. Dentre estas, a eficiência da atividade de colheita no que se refere ao maquinário, contempla: o consumo do potencial diário para produzir e transportar um determinado volume de madeira, ou ainda a relação do consumo de combustível para uma determinada potência por demanda. O trabalho em produtividade pode ser expresso em homens/dia/m³ produzido, quando o sistema envolve menores níveis de mecanização; ou ainda a eficiência econômica em termos de custo por unidade produzida (metro cúbico, metro-estere ou toneladas) segundo Andersson e Laestadius (1987).

3.4 SISTEMA “HARVESTER” PARA A MECANIZAÇÃO DA COLHEITA FLORESTAL

Segundo Machado (2002), define-se por um sistema de colheitas o conjunto de atividades integradas entre si que libera um fluxo constante de madeira, evitando-se os pontos de estrangulamento, levando os equipamentos a sua máxima utilização. Mac Donagh (1994) caracteriza os sistemas de colheita como sendo a ligação entre matéria-prima (árvores em pé, na floresta) e as indústrias de transformação da madeira seguido de um conjunto de operações responsáveis pelo abastecimento das mesmas.

Com as evoluções das motosserras, os trabalhadores deixam o corte manual considerado até então uma atividade muito rudimentar e desgastante. Contudo os sistemas mecanizados estão sendo adotados pelas empresas de corte florestais principalmente com as utilizações das máquinas do tipo *Harvester*, *Feller-Buncher* e *Processador Florestal*. (Simões, 2008).

O “*harvester*” é a máquina principal, utilizada na derrubada e processamento, que consiste, em alguns casos no descascamento das árvores, no desgalhamento e no corte em toras de comprimento pré-determinado, deixando as toras agrupadas e prontas para serem retiradas da área de plantio. Trata-se de um equipamento autopropelido, constituído de alta mobilidade dentro da floresta e boa estabilidade, um braço hidráulico e um cabeçote processador (Amabilini, 1991).

Alguns modelos desenvolvidos e utilizados são oriundos da adaptação de uma retroescavadora, que possui um braço de acionamento hidráulico (lança), acoplado ao cabeçote de múltiplas funções. A altura máxima e o comprimento do braço articulado são, em alguns modelos com movimento telescópico, pontos importantes na seleção, e o cabeçote em associação com a estrutura da retroescavadora, é comumente chamado de trator *harvester* (LIMA; LEITE 2002).

O cabeçote é constituído de braços acumuladores (preensores), cuja finalidade é segurar e levantar a árvore após o corte. Neste tipo de trator, a movimentação e o acionamento dos dispositivos que compõem o cabeçote são realizados pelo operador, que empunha um *joystick*. Em alguns modelos, o corte é realizado por uma serra, um sabre ou um disco, com a árvore posicionada horizontalmente e movimentada por rolos dentados ora para a esquerda, ora para a direita, de forma que o descasque e o desgalhamento seja realizado por uma estrutura metálica de corte (LIMA; LEITE, 2002). No caso de *one grip* Harvester, o cabeçote, derruba, desgalha e traça, e se tratando de um cabeçote *two grip* Harvester, somente, derruba, sendo o desgalhamento e o traçamento feitos em implementos localizados sobre o eixo traseiro da máquina- base (SANT’ANNA, 2002).

Por trabalhar em regime de campo, sua capacidade produtiva é fortemente influenciada por um grande número de fatores ambientais e técnicos. Os principais fatores que influenciam a colheita de madeira são: o clima (chuva e ventos), a capacidade de suporte do terreno, topografia, características das árvores quanto ao diâmetro e tamanho dos galhos e da copa, peso e qualidade da madeira (SEIXAS, 1998). Em trabalhos desenvolvidos pelo FERIC (Forest Research Institute of Canada)

sobre o desempenho de Harvester e processadores, conclui-se que o fator mais significativo que afetou a produtividade de ambas as máquinas foi o volume médio por árvore. O desempenho dos Harvester foi também influenciado pela razão entre o número de árvores não comerciais por hectare, número de árvores comerciais por hectare e pela experiência do operador (BRAMUCCI; SEIXAS, 2002).

Salmeron e Ribeiro (1997, apud Simões 2010), comparando a capacidade produtiva de Harvester em declividades de até 65%, trabalhando com comprimentos de toras de 2,2 e 5,7 metros, obtiveram 13,39 e 19,17 m³.h⁻¹, respectivamente. Tiburcio et al. (1995), avaliando diferentes sistemas de corte, processamento e baldeio de *Eucalyptus grandis* de 5,7 anos, obtiveram para o Harvester uma produtividade de 23,6 m³.h⁻¹, trabalhando com três linhas de plantio simultaneamente, e 25 m³.h⁻¹, com cinco linhas de plantio. Os autores consideraram o sistema de três linhas como o mais viável, por razões de segurança operacional.

Eliasson (1999) observou que o tempo gasto pelo Harvester para mover-se para a derrubada da árvore praticamente não se altera em relação ao aumento da distância entre as árvores. Porém com tempos gastos com o corte, a derrubada e o processamento crescem proporcionalmente ao Diâmetro da Altura do Peito Médio (DAP) das arvores. Por outro lado, a capacidade produtiva em volume de madeira por hora cresce proporcionalmente ao aumento do volume individual das árvores derrubadas, observação realizada através de um modelo matemático para simulação de colheita florestal através das Harvesters.

No que diz respeito à interferência da experiência do operador na capacidade dos Harvesters os mesmos relataram que de 212 trabalhos publicados na Nova Zelândia, apenas 3% caracterizavam a influência dos aspectos humanos sobre a colheita florestal mecanizada (Mcconchie e Evanson 1996). A operação de um Harvester é um trabalho complexo, que envolve continuas tomadas de decisão e rápidos movimentos manuais nos controles, e por isso a habilidade do operador tem grande influência sobre a produtividade do equipamento (RICHARDSON; MAKKONEN, 1994).

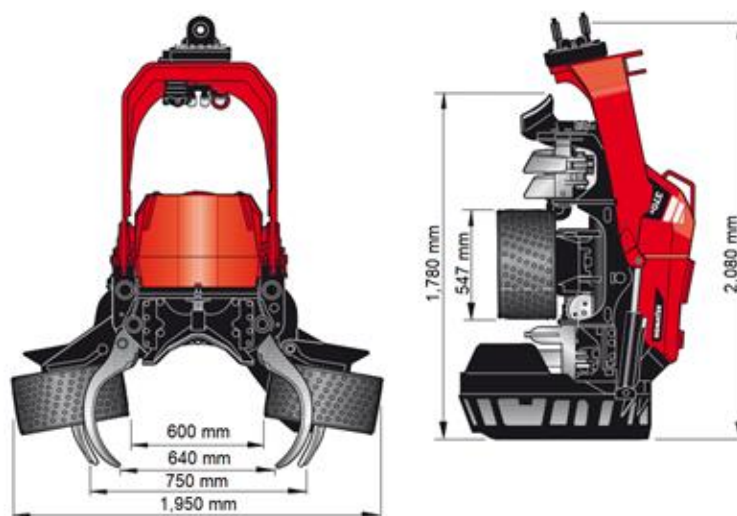
3.5 SISTEMA DE CORTE EM UM CABEÇOTE “HARVESTER”

A atividade de corte semi - mecanizado utiliza-se a motosserra para derrubar, desgalhar e traçar, podendo ou não ter auxílio de ferramentas manuais no desgalhamento (SANT’ANNA, 2002). Com o surgimento e a evolução da motosserras em geral, resultaram no livramento do trabalhador florestal do corte manual, considerado uma atividade bastante rudimentar. Mas, apesar de o sistema semi-mecanizado ser muito utilizado no Brasil, o sistema mecanizado vem sendo adotado pelas empresas florestais, que fazem uso de máquinas do tipo Harvester, Feller-Buncher e Processador Florestal.

A máquina tipo *harvester* além de realizar toda a etapa de corte caracterizada pelos processos de derrubada, desgalhamento e traçamento, a mesma possui uma influência de condições da floresta como formato dos troncos, espaçamento do plantio, quantidade de galhos, tipo de casca, volumetria e declividade do terreno (MIRANDA, 2016).

Geralmente as empresas adquirem o sistema *harvester* de esteiras devido seu menor impacto em solo quando comparados aos pneus, sendo que essa escolha varia de acordo com a mobilidade em terrenos mais inclinados. Na Figura 4, tem-se um desenho que ilustra o modelo de um cabeçote *harvester*.

Figura 4. Modelo de um cabeçote Harvester



Fonte: Komtasu, 2020.

O corte mecanizado tem algumas vantagens: alto rendimento individual, maior conforto, segurança do operador e possibilidade do trabalho em turnos. Suas principais desvantagens são: limitação do diâmetro de corte (máximo), elevado investimento inicial, exigência de boa estrutura de manutenção e limitação de atuação em terrenos planos e levemente ondulados (SANT'ANNA, 2002). Na Figura 5, apresenta um modelo de cabeçote *harvester* com detalhe da unidade de serra.

Figura 5. Um cabeçote Harvester com detalhe da unidade de serra.



Fonte: Próprio autor

3.6 CONJUNTO DE CORTE PARA O CABEÇOTE “HARVESTER”

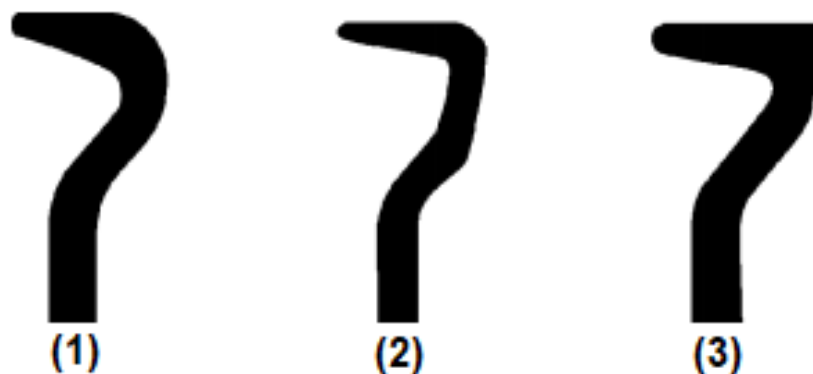
O sistema de corte para um cabeçote *harvester* é semelhante ao sistema do corte para motosserra. As diferenças entre eles estão caracterizadas nas especificações e calibre da corrente, para um cabeçote *harvester* define-se a corrente pelo calibre através da espessura da base dos elos de tração que encaixam na canaleta do sabre que são maiores quando comparada com as utilizadas por uma motosserra conforme apresentada na (Figura 7). (Oregon, 2020).

De acordo com Ottonelli, (2017) esse sistema de corte é composto pela corrente, sabre e coroa (pinhão / disco). A coroa é fixada no eixo do motor de serra, com a responsabilidade da tração da corrente. Sendo que a corrente é encaixada na coroa, dependendo do modelo da coroa e o sabre. A mesma se desliza sobre o sabre, cujo a lubrificação reduz o atrito entre ambos, impedindo o superaquecimento e proporcionando o aumento da vida útil, tanto do sabre quanto da corrente e da coroa.

3.6.1 Corrente

Segundo Brandelero et al. (2019), a formação da corrente é constituída pela união do elo de tração, cortador com dente direito e esquerdo, limitador de profundidade e rebite. A Figura 6 apresenta a forma que os dentes “placas” das correntes podem ser encontrados, como redondas, semi - quadrados e quadrado. Os dentes redondos são os mais versáteis para fixação e mais fáceis para acumular sujeira e poeira, adequado para muitas operações de motosserra tendo um corte suave. Os dentes semi-quadrados são empregados para trabalho de menor intensidade, em razão da sua facilidade de afiação e a menor tendência ao rebote. Por último temos os dentes quadrados que são encontrados nas maiorias das motosserras profissionais, devido seu alto rendimento e por ter um corte mais agressivo (FS, 2006; Oregon, 2020).

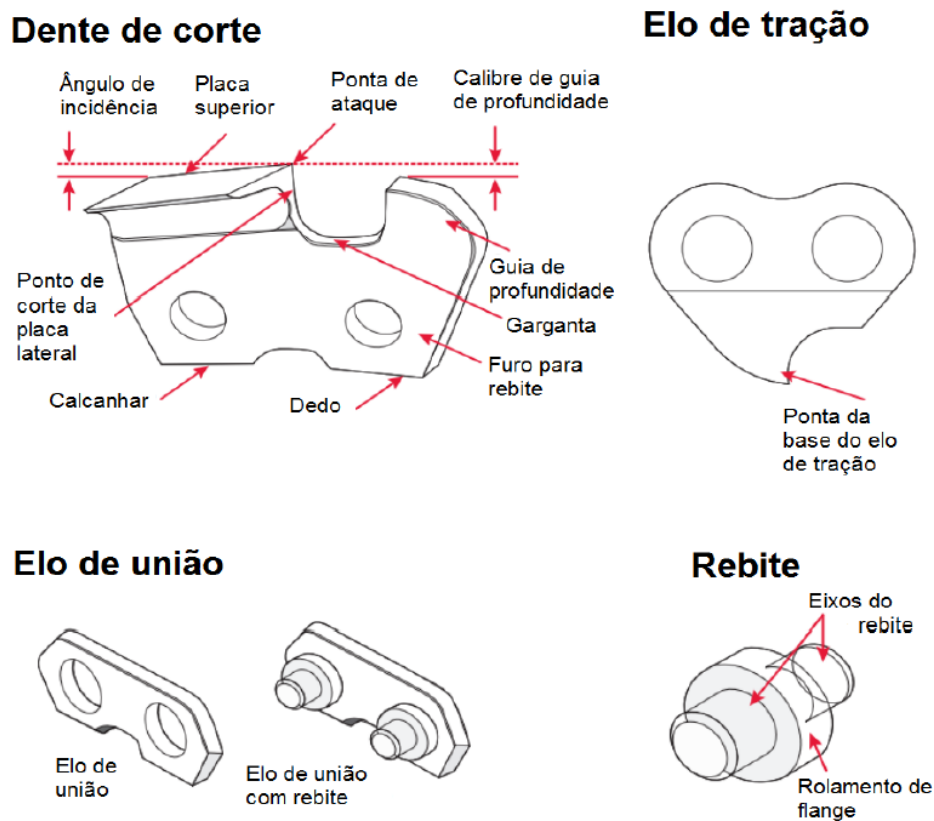
Figura 6. Tipos de dentes: (1) redondo; (2) semiquadrado e (3) quadrado.



Fonte: Forest Service,2006.

Segundo Lopes et al. (2001), a afiação dos dentes deve ter o mesmo ângulo para todos. Em caso de ângulo diferentes em uma mesma corrente, o funcionamento corretamente será afetado, aumentando o desgaste e provocando a ruptura da corrente. A Figura 7 apresenta a composição da corrente, tendo a ponta do elo da tração, a qual é responsável por guiar a corrente sobre a canaleta do sabre, cuja a largura deve corresponder com a espessura do elo de tração. O elo de união é quem realiza a conexão entre os elos de tração e os eixos do rebite. Os rebites são utilizados para unir as peças da corrente, caso contrário ocorrerá o desgaste excessivo da corrente e do sabre (Oregon, 2020).

Figura 7. Composição da corrente: dente de corte, elo de tração, elo de união e rebite.



Fonte: Oregon, 2020.

3.6.2 Sabre

O sabre é um componente importante do sistema de corte, suportando todas as cargas externas que afetam os mecanismos de corte da corrente ao serrar, de acordo com Kuvic et al. (2017). Para um melhor rendimento, o sabre deve ser

compatível com a corrente. Conforme apresenta a Figura 8, os sabres são comuns em partes genéricas tendo as ranhuras continuas para manter a corrente da serra funcionando em linha reta enquanto a parte inferior das tiras de amarração e cortadores montam nos trilhos em cada lado da ranhura. Outra função da ranhura do sabre é para fornecimento de lubrificante (FESA,2015).

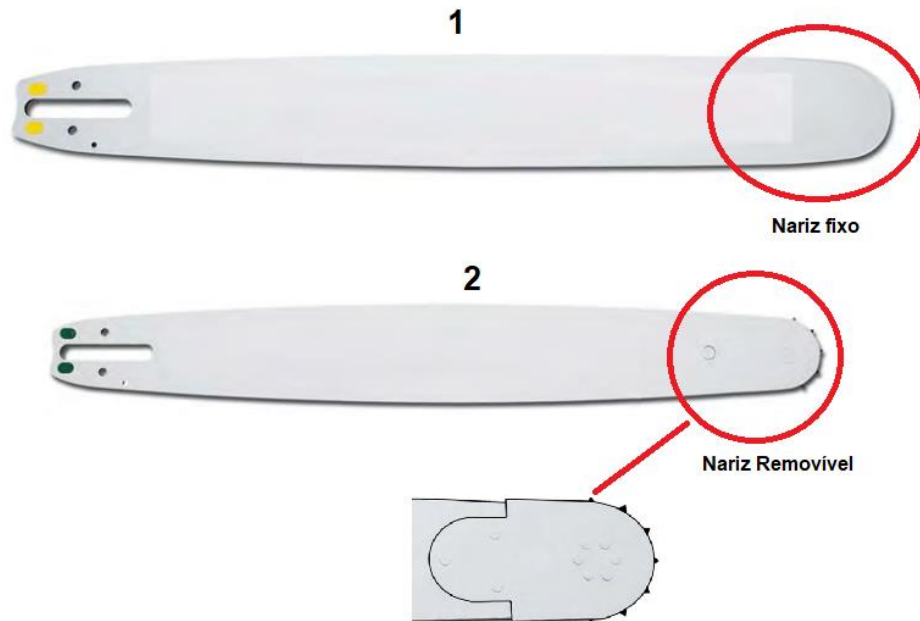
Figura 8. Parte genérica do sabre



Fonte: FESA,2015

Além das partes genéricas do sabre, eles podem ser divididos em duas categorias: *sabres laminados*, quando são fabricadas em 3 partes sendo unificadas através de processo de solda e *sabres sólidos* quando são fabricados por metal de uma forma inteiriça. Nessa segunda opção da categoria dos sabres, podemos encontrar o modelo do *sabre sólido* em mais duas opções: *com o nariz fixo (1)* no sabre ou *com nariz removível (2)*, conforme apresentado na Figura 9. Sabres com nariz removível produz menos fricção do que o sabre com nariz fixo, para alta eficiência são recomendados os sabres com nariz removível (FESA,2015).

Figura 9. Tipos sabres: (1) sabres sólidos com nariz fixo e (2) sabre sólido com nariz removível



Fonte: FESA,2015.

3.6.3 Coroa (Pinhão / Disco)

A coroa do conjunto de corte, requer as mesmas atenções quanto a corrente e o sabre. A coroa foi projetada para encaixar exatamente nas pontas dos elos de transmissão. A função mecânica da coroa é transmitir o torque do motor para corrente da serra, tendo os dentes da corrente conduzida pela coroa e transferindo a força para as pontas do elo de transmissão da corrente que é impulsionada em torno do sabre. A velocidade da serra de corte é influenciada diretamente pelo número de dentes da corrente com o encaixe na coroa, sendo que quão maior o número de dentes mais veloz será a serra de corte. Conforme apresentado na Figura 10 a construção do conjunto de corte tendo a corrente, o sabre e a coroa, pode-se verificar que o passo da coroa e da serra devem se coincidir. O diâmetro da coroa não deve ser menor do que a parte traseira do sabre, pois isso governa o ângulo da passagem do elo de tração para a ranhura do sabre (FESA,2015).

Figura 10. Montagem da coroa no conjunto de corte do *Harvester*.



Fonte: FESA,2015.

Os principais tipos de coroas (pinhão / disco) de acordo com a Figura 11 são: *coroa "Spur"*, que consiste em uma secção em estrela altamente resistente ao desgaste que é soldada em um tambor de embreagem e *coroa "Rim"*, também feita de aço resistente ao desgaste em um formato de anel cercado em ambos os lados por uma parede. Podendo se mover de maneira axial no cubo da embreagem e posicionado por meio de estrias.

Figura 11. Coroa “Spur” e Coroa “Rim”.

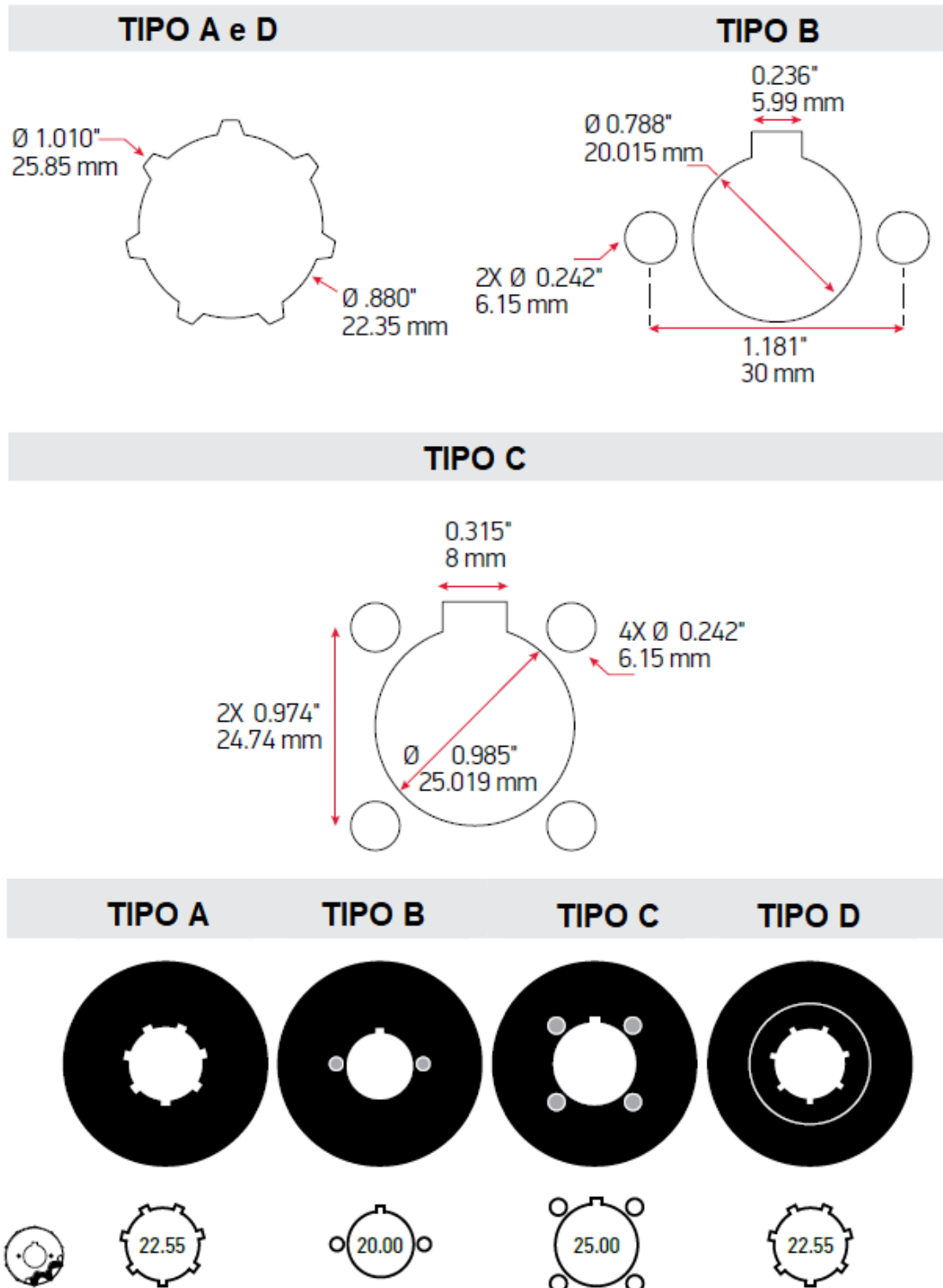


Fonte: FESA, 2015

Essas *coroas "Spur"* e *coroas "Rim"* possuem formatos diferentes, mas funcionam e se desgastam essencialmente da mesma forma. As *coroas "Spur"* geralmente são introduzidas em conjuntos de cortes novos direto de fábrica, por possuírem um menor custo durante sua fabricação e utilizada em serras de baixo custo por não ter muito uso. As *coroas "Rim"* são mais populares e indicadas devido ao profundo desgaste e facilita percebível quando a mesma deve ser substituída, a vantagem deste estilo de coroa são de que as faces inferiores dos elos da corrente ficam na circunferência do aro de modo que a coroa desempenha apenas a função condução real e estão sujeitos a menos tensão. As paredes laterais do aro mantem a corrente da serra alinhada automaticamente com a ranhura do sabre resultando um funcionamento suave da corrente proporcionando menos desgaste a área de entrada da ranhura do sabre e da corrente. A desvantagem para este estilo de coroa, é de que sempre que for utilizado, faz necessário primeiramente conferir o alinhamento com o eixo de transmissão para evitar ter problemas futuros (FESA, 2015). Conforme apresentado na Figura 12, é possível de encontrar *coroas "Rim"* em variedades de

tamanhos e para vários passos de dentes tanto para uso em corte serra profissionais como para comerciais (Oregon,2020).

Figura 12. Tipos de coroas “Rim” em variedade de tamanho e passos para correntes.



Fonte: Oregon, 2020

3.7 Degaste

O desgaste pode ser referenciado como dano ao material (superfície sólida), geralmente envolvendo perda de material, devido ao movimento relativo entre a superfície e as substâncias em contato (Cozza, 2006). Segundo Williams (2005), desgaste envolve a perda de matérias através de danos progressivos, que ocorre na superfície sendo gerado pelo movimento das suas partes adjacentes. Por se envolver em uma complexa dependência entre fatores, o desgaste não pode ser analisado de forma individual. Portanto, uma correlação entre os parâmetros obtidos pelos ensaios de dureza, microscopias, análise de microestrutura, entre outros, forma uma técnica importante para avaliar os comportamentos em lubrificação, atrito e desgaste, ou seja, avaliar o comportamento tribomecânico de um sistema (Ramalho e Miranda, 2006).

De maneira geral, todo sistema perde a durabilidade e confiabilidade devido ao desgaste, através disso, conhecer os diversos tipos de desgaste é de grande importância para que se possa identificar suas origens e procurar a melhor forma de evita-los. A complexidade do desgaste pode ser melhor entendida conhecendo as variáveis envolvidas no processo, como: dureza, tenacidade, ductilidade, módulo de elasticidade, tensão de escoamento, propriedades relativas à fadiga, estrutura e composição das superfícies em contato, geometria, pressão do contato, temperatura, estado de tensões, distribuição de tensões, coeficiente de atrito, distância de escorregamento, atmosfera ambiente na interface de desgaste, velocidade relativa, acabamento superficial, lubrificante e contaminantes (STOETERAU, 2004).

Segundo Belém et al. (2020), o desgaste pode ocorrer em diversas formas, como por fricção, deslizamento, impacto, abrasão, erosão e outras condições de serviço. É um dano progressivo, envolvendo, muitas vezes, grande perda de material.

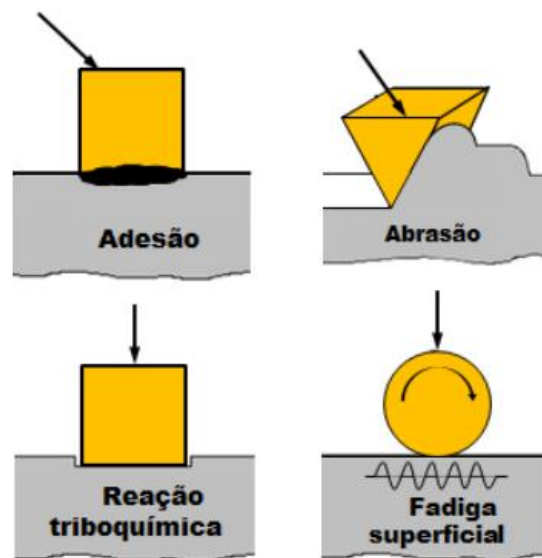
3.7.1 Mecanismos de Degaste

O desgaste pode ser definido como uma perda progressiva de substância, resultando a interação mecânica em duas superfícies em contato. A ocorrência do desgaste devido a uma falha mecânica local de zonas interfaciais altamente estressadas e o modo de falha muitas vezes são influenciados por fatores ambientais. A deterioração de uma superfície pode ser caracterizada por uma série de eventos, mecanismos de transferência ou por um processo de partícula direta semelhante à

usinagem ou, em certos casos, uma fadiga superficial em forma de falha. Esses eventos caracterizados são referidos como uns dos três desgastes mais importantes caracterizados como desgaste adesivo, abrasivo e de fadiga (NEALE, 2001). Outro modo de desgaste que devemos mencionar é o de desgaste corrosivo, o qual ocorre quando o material deslizante se localiza em meios corrosivos, sendo líquidos ou gasosos. Na ausência de deslizamento, os produtos da corrosão formam uma película sobre a superfície, que tende a retardar ou mesmo impedir a corrosão (RABINOWICZ, 1995).

De acordo com Zum Gahr (1987) e conforme ilustrado na Figura 13, os mecanismos dos desgastes podem ser classificados em quatro modos principais, abrasivo, adesivo, corrosivo e por fadiga, além de que muitas ocasiões um desses modos de desgastes afeta uns aos outros.

Figura 13. Modos de Mecanismo de Desgaste

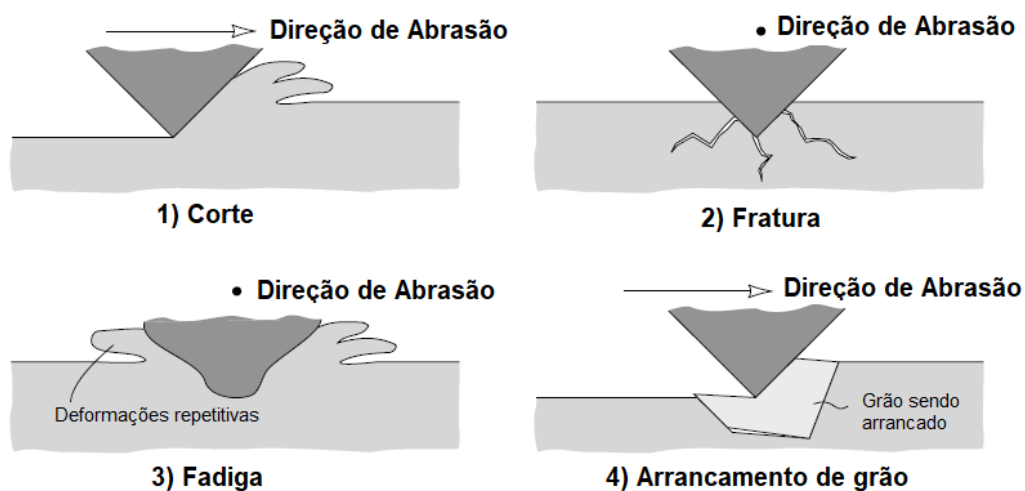


Fonte: Zum Gahr, (ADAPTADO APUD LOPES, 2018)

3.7.1.1 Desgaste Abrasivo

Desgaste abrasivo são formas de desgaste causados pelo contato entre uma partícula e material sólido. Ocorre quando há perda de material pela passagem de uma partícula dura sobre uma superfície sólida. As partículas o podem promover o desgaste abrasivo através dos mecanismos ilustrados na Figura 14, por corte (1), fratura (2), fadiga (3) e arrancamento de grão (4). Esse mecanismo é um modelo clássico de desgaste que apresenta: *Corte*, a forma da aspereza ou grão duro que corta a superfície macia e o material cortado é removido como resíduo de desgaste. *Fratura*, determina-se uma superfície que se desgaste por fratura frágil e os resíduos do desgaste são devido à convergência de trincas. *Fadiga*, causada por uma deformação repetida resultando grãos que deforma a área na superfície de um material. (STACHOWIAK, 2014).

Figura 14. Mecanismos de desgaste abrasivo

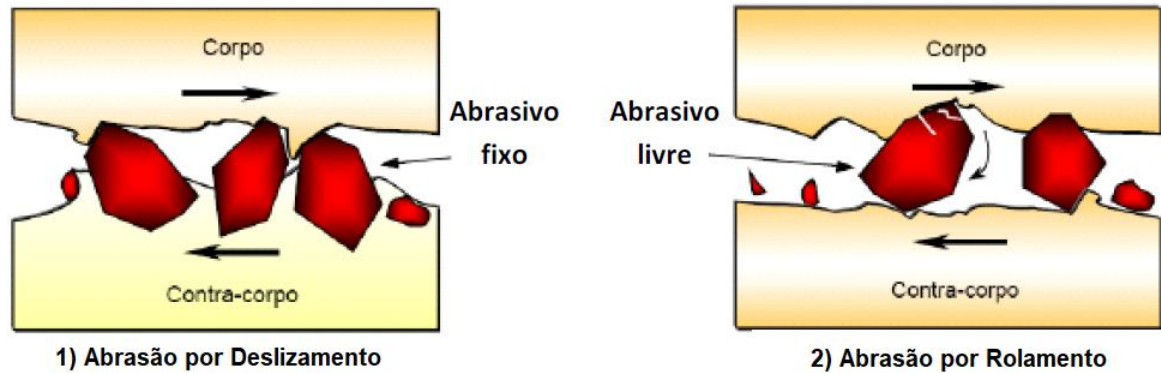


Fonte: Stachowiack (Adaptada)

Segundo Silva (2017), além dos modelos clássicos dos mecanismos de desgaste abrasivo, temos também a movimentação das partículas sobre as superfícies que classificamos com desgaste abrasivo de deslizamento e rolamento. A Figura 15 ilustra o desgaste abrasivo por deslizamento (1) e por rolamento (2). Desgaste abrasivo por *deslizamento*, ocorre devido à movimentação de partículas rígidas em um contracorpo ou entre as superfícies duras em contato. E por *rolamento*, ocorre quando as

partículas que rolam sobre a superfície dos corpos que estão em movimento relativos, este tipo de desgaste pode evoluir para o deslizamento quando as partículas de altamente duras se espalham na superfície dos corpos.

Figura 15. Desgaste abrasivo por deslizamento (1) e por rolamento (2).

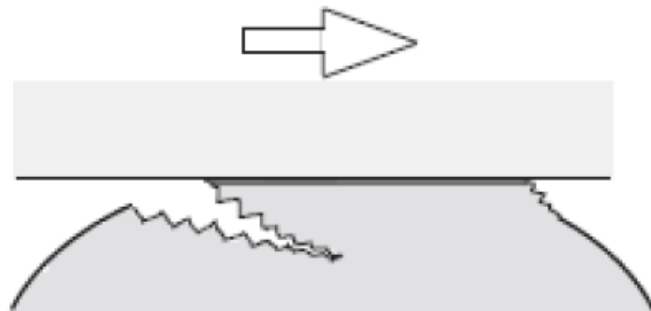


Fonte: Silva, 2017 (Adaptada)

3.7.1.2 Desgaste Adesivo

O desgaste adesivo ocorre quando a interface de contato entre duas superfícies em contato plástico contém uma força de ligação adesiva suficiente para resistir ao deslizamento. Assim, uma grande deformação plástica, causada pelo deslocamento relativo é introduzida na região do contato. Com o resultado dessa deformação, inicia-se uma trinca que posteriormente se propaga, conforme ilustrado na Figura 16. Então, estes fragmentos podem-se soltar da superfície e se transferir para a outra ou se transformar em partículas de desgaste (Bhushan, 2001).

Figura 16. Mecanismos de desgaste - Desgaste Adesivo

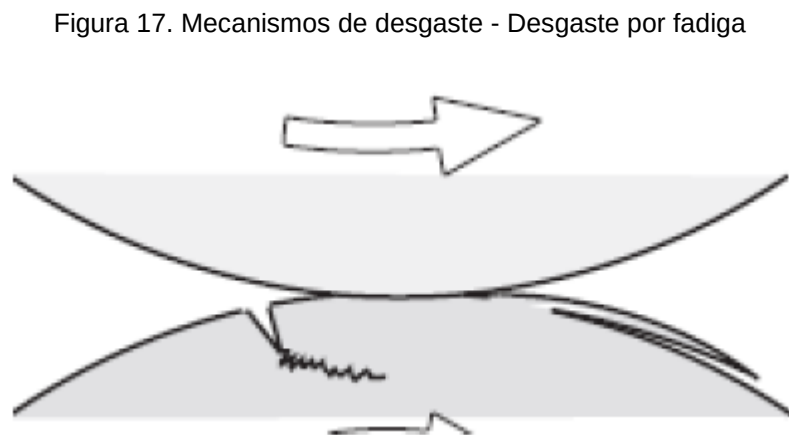


Fonte: Bhushan 2001 (Adaptada)

Para Stachowiak (2014), o desgaste adesivo é uma complexa forma de desgaste, caracterizado principalmente por altas taxas de desgaste e um grande coeficiente de atrito instável. Contatos deslizantes podem ser rapidamente destruído pelo desgaste adesivo e, em alguns casos, considerados extremos, o movimento deslizante pode ser impedido pela existência de grandes coeficientes de atrito. Os metais são particularmente propensos ao desgaste adesivo, daí seu significado prático. A maioria das falhas de lubrificante em contatos com metal deslizantes resultam em desgaste adesivo, uma vez que se refere a uma quebra na função básica do lubrificante de fornecer algum grau de separação entre as superfícies deslizante.

3.7.1.3 Desgaste por Fadiga

Em casos de desgaste onde contatos repetidos são essenciais para a geração de partículas de desgaste, tais ciclos de contato podem ocasionar desgaste por fadiga, termo comumente utilizado na literatura para danos em superfícies causados por contatos cíclicos (BHUSHAN, 2001), a Figura 17 seguir ilustra esse mecanismo de desgaste.



Fonte: Bhushan (Adaptada)

Segundo Stoeterau (2004), com o movimento cíclico de rolamento, a zona de contato desloca-se, de modo que a tensão de cisalhamento varia de zero a um valor máximo e retorna a zero, produzindo tensões cíclicas que podem levar a uma falha por fadiga do material. Os ciclos repetidos de carga e descarga para o qual os materiais são expostos podem induzir a formação de fissuras superficiais ou

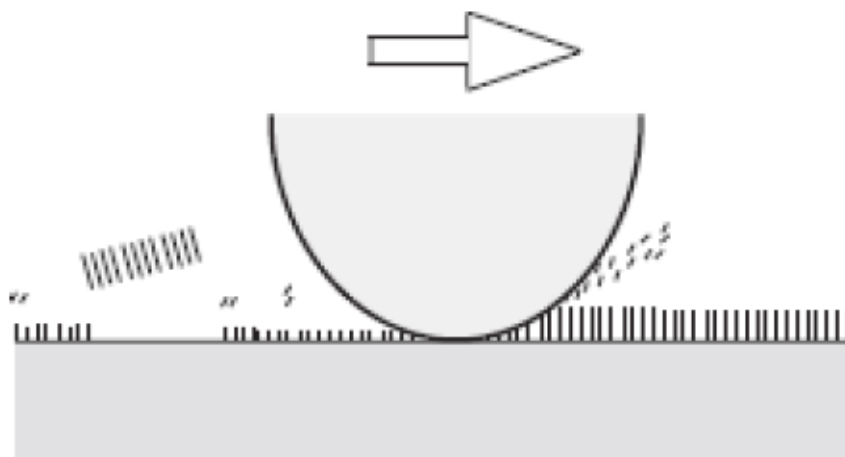
subsuperfícies, o que eventualmente conduzirá ao colapso da superfície, com a formação de fragmentos deixando grandes cavidades na superfície.

3.7.1.4 Desgaste Corrosivo e Oxidativo

O processo de desgaste corrosivo e oxidativo ocorre em uma ampla variedade de situações tanto lubrificadas quanto não lubrificadas. A característica fundamental deste processo é um desgaste através de um produto químico simultâneo, tendo a reação entre o material desgastado que pode ser por meio de um reagente químico, lubrificante reativo e até mesmo o ar. *Desgaste corrosivo*, é um termo geral relativo a qualquer forma de desgaste dependente de um processo químico ou corrosivo, enquanto que o desgaste oxidativo refere-se ao desgaste causado pelo oxigênio atmosférico. *Desgaste oxidativo*, refere-se ao desgaste afetado pela reação da superfície do material com o oxigênio. Ambos desgastes *corrosivo* e *oxidativo* compartilham a característica surpreendente de que, embora o desgaste possa ser grave geralmente é acompanhado por um coeficiente de fricção diminuído (STACHOWIAK, 2014).

No desgaste corrosivo, a reação triboquímica produz uma camada de reação na superfície. Ao mesmo tempo, essa camada é removida por fricção, conforme ilustrado na Figura 18. Portanto, a taxa de crescimento relativa e a taxa de remoção determinam o desgaste das taxas das camadas de reação e, como resultado, do material a granel. Contudo os modelos da camada de reação em crescimento e aqueles de remoção da camada, tornam-se muito importante (BHUSHAN, 2001).

Figura 18. Mecanismos de desgaste - Desgaste corrosivo



Fonte: Bhushan, 2001(Adaptada)

3.8 Microfusão (Fundição de Precisão)

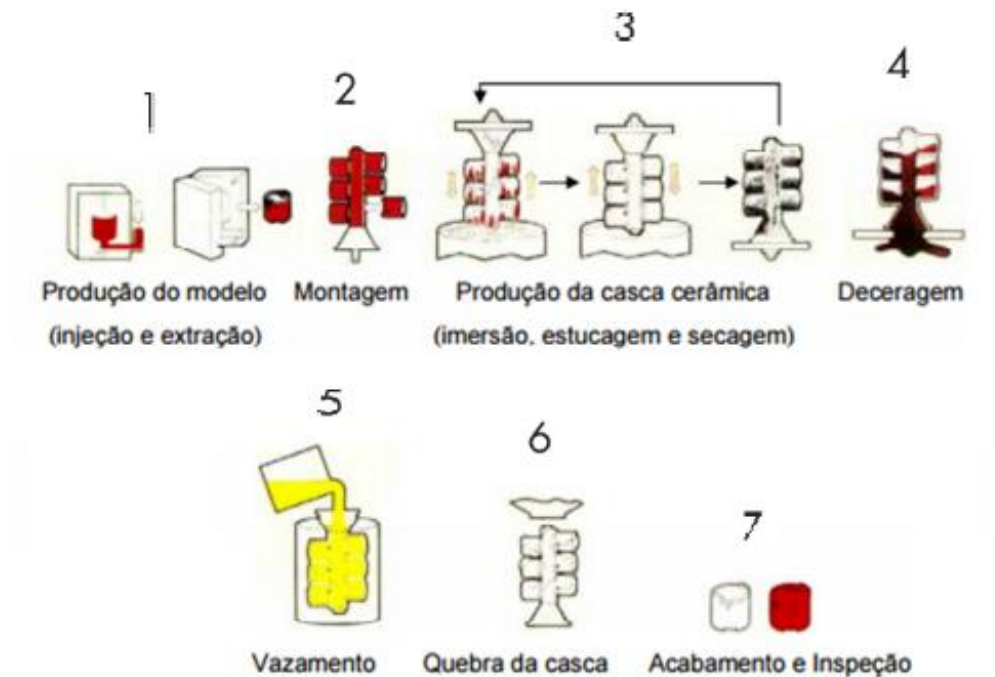
A capacidade de produção de peças através processo de microfusão é das mais variadas formas possíveis, tendo origem milenar, este processo tem se desenvolvido através dos séculos, idade do bronze utilizado para produção de utensílios domésticos e armas de caça, durante o império romano uma vasta importância em confecções de obras de artes e esculturas (LEITE, 2019).

O setor de fundição caracteriza-se como um importante setor da indústria que tem como característica principal fornecer material primário como componentes para diversos segmentos, dentre eles: automotivos, bens de capital e siderúrgicas. No Brasil, o setor produziu no ano de 2017 cerca de 2,215 milhões de toneladas de peças fundidas (ABIFA, 2018).

Entre os processos de fundição para a fabricação de peças, destaca-se o de microfusão ou fundição de precisão pelo processo de cera perdida, cuja a principal característica consiste no emprego de modelos e moldes consumíveis e a produção de peças com excelente precisão, liberdade máxima de desenhos e detalhes, tendo variedade de metais e ligas que a fundição convencional não possibilita (BRUM, 2017).

O processo de microfusão de acordo com a Figura 19, se inicia com o desenvolvimento do modelo para construção do molde da peça em material de cera (1), após o modelo do molde finalizado injeta-se a cera e constrói o molde da peça em cera. Após a injeção do molde da peça em cera é formado a montagem dos cachos (2). As peças de cera são mergulhadas em uma solução (3), resultando o molde da peça em cera em revestimento cerâmico, ou seja, a produção da casca cerâmica. Em seguida no processo de deceragem, aonde a cera é retirada do interior do molde em material cerâmico, tornando-se vazio (4). Na estrutura vazia é então preenchida (5), com o metal desejado, ou seja, ocorre a fusão do aço até o vazamento do metal pelo cacho revestido. Na próxima etapa o cacho passa para quebra do revestimento cerâmico (6) e as peças são extraídas do cacho, que por final são cortadas através de um disco de corte e recebem o acabamento final (7) por lixadeira e jatos de granalhas (BIDWEL, 1997).

Figura 19. Etapas do processo de microfusão



Fonte: Bidwel, 1997 (Adaptada).

Nota:

- 1- Injeção e extração de cera nos moldes metálicos
- 2- Montagem dos cachos
- 3- Revestimento do cacho com lama refratária e revestimento do cacho com material refratário granulado (Imersão, estucagem e secagem)
- 4- Deceragem (eliminação da cera através de pressão e calor) e calcinação do modelo cerâmico
- 5- Vazamento (preenchimento do molde cerâmico com metal)
- 6- Quebra da casca ou Desmolagem (remoção do material refratário), separação das peças do cacho através de processo de corte, jateamento e lixamento do canal de ataque
- 7- Inspeção visual, dimensional, metalografia das peças e produto pronto para ser enviado ao cliente

3.8.1 Injeção e Extração da cera

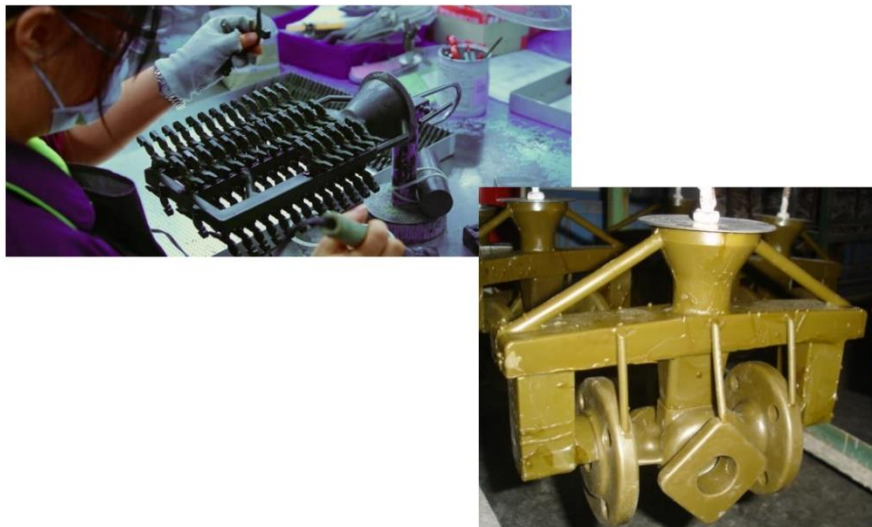
Todo o processo de microfusão se inicia através da injeção das peças em matriz metálica em um modelo consumível de cera. As mesmas são introduzidas correções dimensionais que ajustam as contrações e expansões da cera, do molde cerâmico e do próprio metal. Caso seja necessário um sobremetal para posteriormente realizar o processo de usinagem, também será ajustado dentro do projeto das peças. As cavidades desta matriz, recebera a cera independentemente do

tipo da cera que resultara uma cópia fielmente da matriz em estado pastoso que dará origem ao modelo em cera da peça que se quer produzir (BALDAN, 2009).

3.8.2 Montagem dos Cachos

Nesta etapa do processo, os modelos injetados em cera são colocados um a um e fixados por uma haste em um canal de cera, e são unidos utilizando um ferro quente ou uma espátula, formando assim o que chamamos de cachos. A Figura 20 ilustra o processo da montagem de cachos. Esses cachos são submetidos a um revestimento cerâmico por imersão em uma pasta ou lama refratária. Os modelos em cachos devem ser mergulhados nesse material para que se forme uma camada uniforme e resistente, na próxima etapa o mesmo é recoberto por pulverização de um material cerâmico e granulado mais grosso, chamado de estuco, formando uma casca refratária mais espessa. O número de vezes que os processos de imersão e pulverização são realizados varia de acordo com o tamanho das peças. Após o processo de imersão ser realizado, as peças devem ficar em repouso até ocorrer a estabilização térmica para que todas as tensões originárias da colagem das peças no canal de cera sejam minimizadas. O tempo para que esta estabilização seja eficaz não deve ser inferior a uma hora em uma sala especial. Esta sala especial deve haver o mínimo de variação possível em temperatura e umidade (BALDAN, 2009).

Figura 20. Montagem da Coroa de cera no canal (montagem dos cachos)

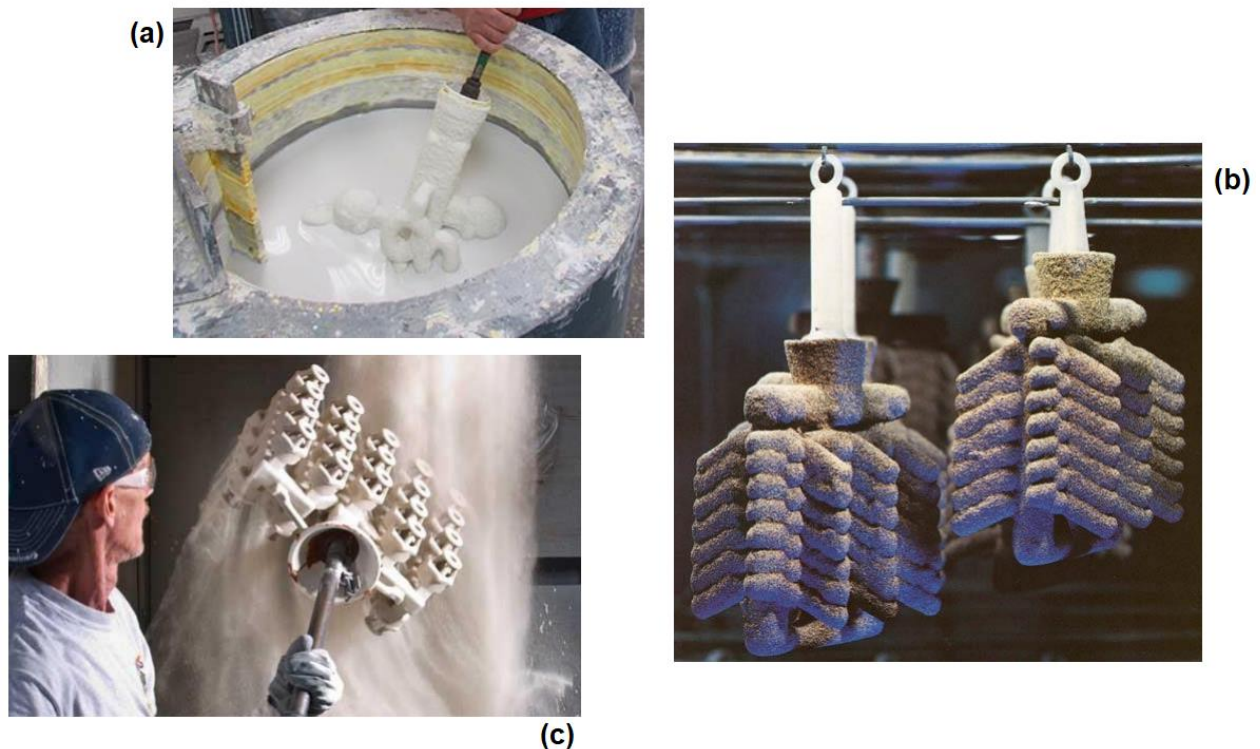


Fonte: Investment Casting, 2020 (adptada)

3.8.3 Revestimento dos Cachos com lama refratária, aplicação do material granulado.

Com a árvore em cera estabilizada, os cachos devem seguir os processos conforme a Figura 21, a árvore em cera são lavados (a) em álcool para eliminar as graxas, gorduras e outras impurezas do modelo em cera e enviados para secagem, então a próxima etapa consiste no procedimento de revestimento em um banho cerâmico (fino e agitado) no cacho (b), este procedimento se repete várias vezes de acordo com a complexidade da peça, respeitando intervalos de aproximadamente 1 hora até o cacho obter uma casca com espessura e resistência desejada. Em sequência, após a secagem, inicia-se um banho com outra lama tendo uma viscosidade diferente, seguida de uma chuva de areia refratária mais grosseira até a formação de uma casca com a espessura e resistência mecânica suficientes para suportar a pressão do metal que será vazado do seu interior (BALDAN, 2009).

Figura 21. Lavagem (a), revestimento cerâmico (b) e revestimento dos cachos com material refratário granulado (c)



Fonte: Investment Casting, 2020 (adptada)

3.8.4 Deceragem e Calcinação

A deceragem, ocorre após os moldes em cachos serem revestidos com material refratário que são enviados à um forno autoclave com temperaturas de 100 a 120 °C, com pressão controlada para que não deforme devido a dilatação da cera. Extrai-se a cera do interior dos cachos e a montagem dos cachos é realizada dentro do forno de ponta cabeça, para que a cera derreta e saia de dentro do cacho cerâmico por completo, de acordo com a Figura 22. Os cachos cerâmicos saem úmidos da autoclave e deverão novamente ser secados, o tempo para secagem varia de acordo com o modelo de peça e com o processo adotado. Com o intuito de adquirir uma maior resistência mecânica ao choque térmico os moldes em cachos vazios (decerados), são então conduzidos ao forno por uma temperatura de 1.100°C para calcinação, com isso a casca cria uma resistência para suportar o metal do líquido e perder qualquer traço de cera e umidade (BALDAN, 2009).

Figura 22 - Cachos entrando na autoclave para deceragem



Fonte: Investment Casting, 2020 (adptada)

3.8.5 Vazamento através do preenchimento do metal no molde cerâmico

Após a árvore com os cachos saírem do forno da calcinação, mesmo quente, é colocada dentro de uma câmara a vácuo para aguardar o vazamento do metal líquido, conforme ilustrado na Figura 23. A fusão é o processo onde os moldes em cachos revestidos são envasados com um determinado metal, que por gravidade ao ar livre ou a vácuo o mesmo vaza para o molde todo. No caso de vazamento a vácuo,

o cacho permanece até a completa solidificação do metal e depois é retirado e resfriado em temperatura ambiente (BALDAN, 2009).

Figura 23 - Cachos a forno a vácuo (a) e resfriamento ao ar livre (b)



(a)



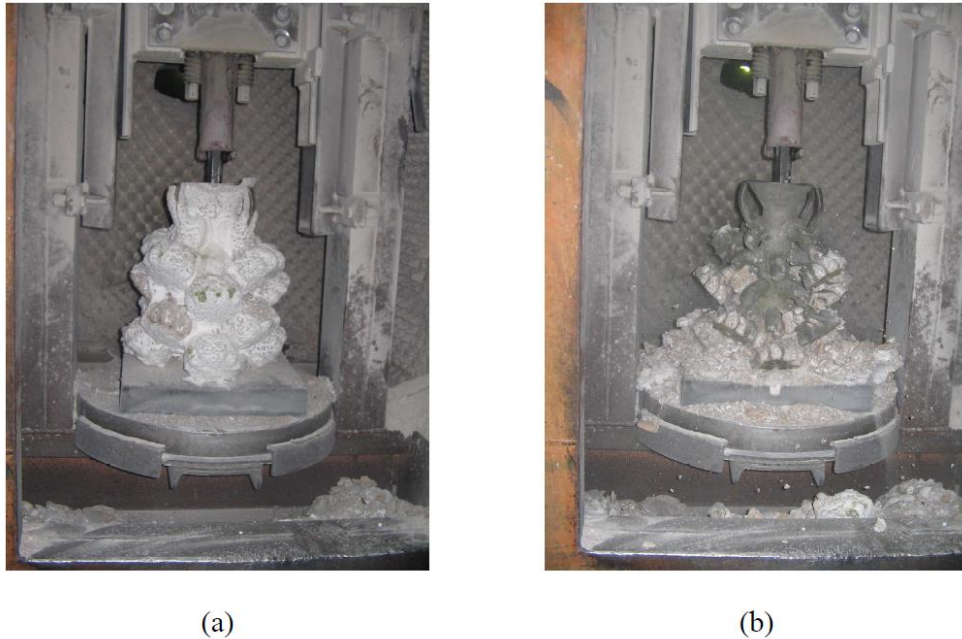
(b)

Fonte: Investment Casting, 2020 (adptada)

3.8.6 Quebra da casca (Desmolagem) e separação das peças

A remoção do molde em cachos revestidos ocorre através do processo de desmolagem. O cacho cerâmico preenchido com o metal desejado, é resfriado ao ar até estar próximo da temperatura ambiente e posteriormente os moldes são quebrados com um martelo pneumático ou por um equipamento vibratório, para a remoção da casca cerâmica conforme ilustrado na Figura 24. Após a remoção de toda a casca, o item em metal ficará disponível para ser trabalhado (BALDAN,2009).

Figura 24 - Cachos antes da desmolagem (a) e cachos após a desmolagem (b)



Fonte: Investment Casting, 2020 (adptada)

Por fim é feita uma limpeza com jato de areia ou limpeza química, eliminando os restos dos resíduos cerâmicos, corta-se o canal de ataque pra que as peças sejam liberadas, este corte é realizado através de disco de corte ou serra automática. O restante do canal de ataque que ficou na peça ou qualquer saliência deixada na peça, é removido por processo de lixamento (BALDAN, 2009).

3.8.7 Inspeção visual, dimensional e metalográfica

A inspeção visual é uma pratica que tem se tornado corrente nas principais industrias das cadeias de produção. Tornando o produtor a garantir critérios de qualidade mínimos acordados com o cliente. Controle que muitas vezes efetuado manualmente por pessoas treinadas e com auxílio de ferramentas medidoras ou de iluminação (TORRES, 2019).

Todas as partes das peças devem ser inspecionadas, desde a parte visual, preenchimento, acabamento superficial, dimensional e características mecânicas (dureza e resistência), e na liga metálica. O controle de qualidade é realizado normalmente por metrologia, verificando se as peças estão com as especificações de

dimensionais acordadas com o cliente e pelo laboratório são feitas as análises químicas e metalográficas (BALDAN, 2009).

3.8.8 Falhas no processo de microfundição

Uma das principais falhas no processo da microfundição, pode ocorrer devido a solidificação inadequada do metal, causando o problema de contração da liga ou “defeito de porosidade por reação retrógrada” ocorrendo em dois estágios; quando a liga passa do estado líquido para o sólido e quando ocorre a expansão do coeficiente da liga sólida. Outros problemas na fundição são as superfícies das peças com cor negra, causando o problema de revestimento aglutinados por sulfato de cálcio; devido a cera não estar totalmente eliminada, grande permanência do molde no forno e revestimento sem antioxidante (DA COSTA VALENTE, 2020).

3.9 TRATAMENTO ISOTÉRMICO E TÉRMICO

O objetivo do tratamento térmico é manter as propriedades particulares de materiais adequadas à sua transformação ou emprego futuro. Permitindo uma variedade ampla de propriedades dependendo da sua composição química, das fases microestruturais presentes, dependentes de um tratamento térmico (NUCCI, 2017).

Tipos de tratamentos térmicos e isotérmicos são (ASTM Handbook, 1991):
Tratamento Isotérmico: austêmpera, martêmpera e recozimento isotérmico e
Tratamento térmico: Têmpera, revenido, normalização e recozimento.

3.9.1 Tratamento Isotérmico

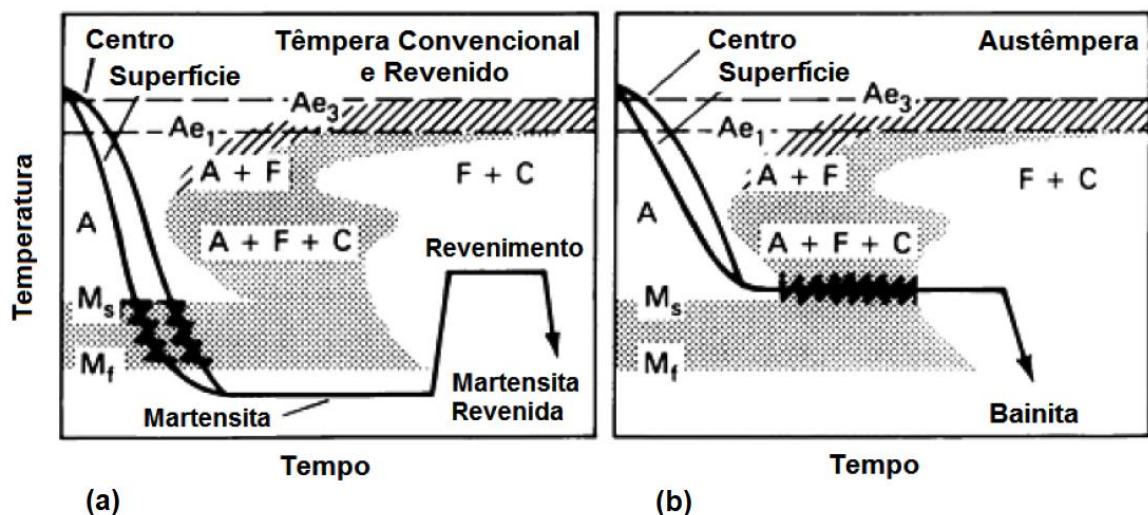
Tratamentos térmicos ou termomecânicos, utiliza-se de reagentes químicos, são utilizados para controlar as diversas fases que podem se formar na microestrutura do aço, bem como controlar a morfologia e o tamanho de grão. Os tratamentos térmicos possibilitam a formação de microconstituintes conhecidas como ferrita, bainita, martensita e austenita ou, através de tratamentos isotérmicos e intercríticos, possibilitam a formação de aços com diferentes fases e morfologias onde a composição entre os diferentes microconstituintes torna-se fator decisivo para as

propriedades mecânicas finais do material e pode ser programada em conformidade com as exigências de projeto (ANAZAWA, 2014).

3.9.2 Austêmpera

Este tratamento térmico é caracterizado a partir da transformação de uma liga ferrosa, com a temperatura inferior à formação da perlita e, acima da formação da martensita, assim obtendo-se a microestrutura bainítica. A austêmpera consiste no aquecimento do aço até uma temperatura e acima da zona crítica, o resfriamento deve ser rápido a uma temperatura constante dentro da faixa da formação da bainita (aproximadamente 250 a 400°C). As estruturas bainíticas obtidas na austêmpera, contudo na parte mais baixa do diagrama TTT, caracterizam-se por elevada ductilidade, com durezas elevadas em ordem de 50 HRc. Ductilidade essa superior à da martensita revenida e normal que possua a mesma dureza. Na Figura 25 a austêmpera é representada esquematicamente em diagrama de transformação isotérmica. (NUCCI, 2017).

Figura 25. Diagrama esquemático de transformação para Austêmpera: Têmpera Convencional e Revenido (a) e Austêmpera (b)

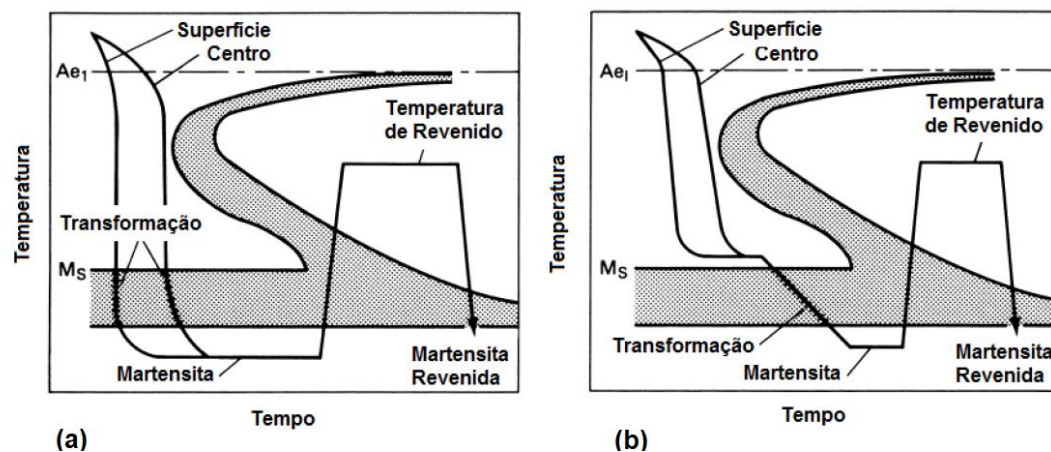


Fonte: ASM Handbook, 1991 (adaptada)

3.9.3 Martêmpera

Este tratamento térmico é caracterizado pela interrupção do resfriamento por alguns instantes numa temperatura pouco superior à da temperatura martensita inicial, com objetivo de eliminar os gradientes térmicos e se seguindo para a formação da martensita. A martensita consiste em um aquecimento a uma determinada temperatura acima da crítica seguida de um esfriamento rápido a uma temperatura M_i . Assim que a taxa de transformação da austenita em martensita ocorre de maneira simultânea uniformemente em todas as seções da peça. O processo de revenido ocorre logo a seguir para ter a dureza desejada. O meio de esfriamento usado neste processo, geralmente é um banho de sal, o esfriamento relativamente rápido em temperatura ambiente, transformando o aço de uma temperatura logo acima de M_i , que não produz grande diferença de temperatura entre a superfície e o centro da peça. Contudo tendo a transformação em uma velocidade constante elimina-se praticamente as tensões residuais, empenamento e as fissuras de têmpera (NUCCI, 2017).

Figura 26. Diagrama esquemático de transformação para martêmpera: têmpera convencional (a) e Martêmpera (b)



Fonte: ASM Handbook, 1991 (adaptada)

3.9.4 Revenimento

O revenimento trata-se do processo, o qual o aço necessita ser inicialmente endurecido ou normalizado. Mantendo abaixo de uma temperatura crítica por um

tempo determinado e resfriado numa taxa adequada. Com o intuito de aumentar a ductilidade e tenacidade do material, esse processo caracteriza-se por alívio de tensões após têmpera e possibilita a estabilidade dimensional (ASM Handbook, 1991).

Após a transformação martensita ser finalizada, deve-se realizar o revenimento, dessa maneira as transformações para martensita pode-se dividir em três estágios:

- Formação de carbonetos de transição e redução do teor de carbono na matriz martensítica (100 °C - 250 °C).
- Transformação da austenita retida em ferrita e cementita (200 °C - 300 °C).
- Substituição dos carbonetos de transição e da martensita de baixo carbono por cementita e ferrita (250 °C - 350 °C).

Numa faixa de temperatura entre 500 e 650 °C pode ocorrer a precipitação de carbonetos causando aumento de resistência e da dureza em aços contendo elementos de liga (NUCCI, 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados o material da coroa e os equipamentos principais utilizados nesta pesquisa, bem como a metodologia empregada na fabricação da coroa, aferição da coroa em campo durante um ciclo de trabalho e os ensaios mecânicos (tração, tratamento térmico e dureza) dos corpos de provas retirados desta coroa, descritos de forma clara e objetiva.

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS:

A coroa é a principal peça utilizada neste estudo, esta foi fabricada por uma empresa tradicional no mercado brasileiro e pertenceu a um lote controlado.

A microfusão da coroa foi fabricada pela empresa MGFC / Biagio Turbos na cidade de São João da Boa Vista - SP, e posteriormente usinada pela empresa Magnova Equipamentos localizada na cidade de Lençóis Paulista - SP.

O processo de microfusão foi escolhido devido seu baixo custo em fabricar componentes, mantendo uma certa flexibilidade no projeto, oferecendo também uma diminuição ou eliminação em processos de fabricação. A microfusão permite compilar uma combinação de múltiplos processos de manufatura resultando no produto final, o qual apresenta uma excelente estabilidade dimensional, acabamento superficial impecável, reproduzindo praticamente o modelo de cera, contendo tolerâncias dimensionais da ordem de poucos décimos de milímetro. Ao associar os valores adicionais ao produto, há uma redução no prazo de fabricação, além de diminuir os custos totais.

A composição química SAE 8630 foi elaborada de modo que a coroa possui-se uma qualidade de aço-liga de médio teor de carbono, representando um material resistente, porém com teor médio de elementos como: carbono, cromo e molibdênio, tornando-se uma liga viável, no que se refere a uma composição química mais resistente. Para futuros estudos relacionados ao desgaste abrasivo deste material, seria interessante verificar a influência de uma possível adição (em %) de elementos como: carbono, cromo e molibdênio, tendo como método base este trabalho.

4.1.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS:

- Moldes e Matrizes de alumínio, coroa em material de cera para fabricação da coroa microfundida em aço SAE 8630;
- Torno CNC Index, modelo 400MC, fabricante INDEX com rotação máxima 5.000 rpm;
- Cabeçote Harvester, modelo Valmet 370E, fabricante Komatsu peso 1,600 Kg, com taxa de alimentação de 0 a 5m/s, potência bruta 21/30.8 kN, pressão hidráulica máxima 28 MPa e com diâmetro de derrubada/ corte máximo 700 mm;
- Máquina Escavadeira, modelo PC200F, fabricante Komatsu, peso operacional 21.000 Kg, Potência Bruta 155 HP;
- Inserto Taegutec, modelo WMG060408MTTT8125;
- Forno elétrico de poço marca JUNG, modelo VK60/80;
- Forno elétrico de poço marca Basimet, modelo TO 50/80;
- Forno elétrico de poço marca Basimet, modelo FCA 50/80;

- Aparelho de ultrassom digital portátil, modelo RDG-2000 do fabricante Gilardoni;
- Espectrômetro, marca Spectro e modelo SPECTROMAX
- Durômetro de bancada da marca Mitutoyou, modelo HR-400
- Microdurômetro de bancada da marca Digimess, modelo: V-1000, e um penetrador com ponta de diamante com formato piramidal de base quadrada.
- Balança de alta precisão da marca Kasvi, modelo BL320H.
- Equipamento (sob medida) para ensaio de desgaste abrasivo, marca Eqtex

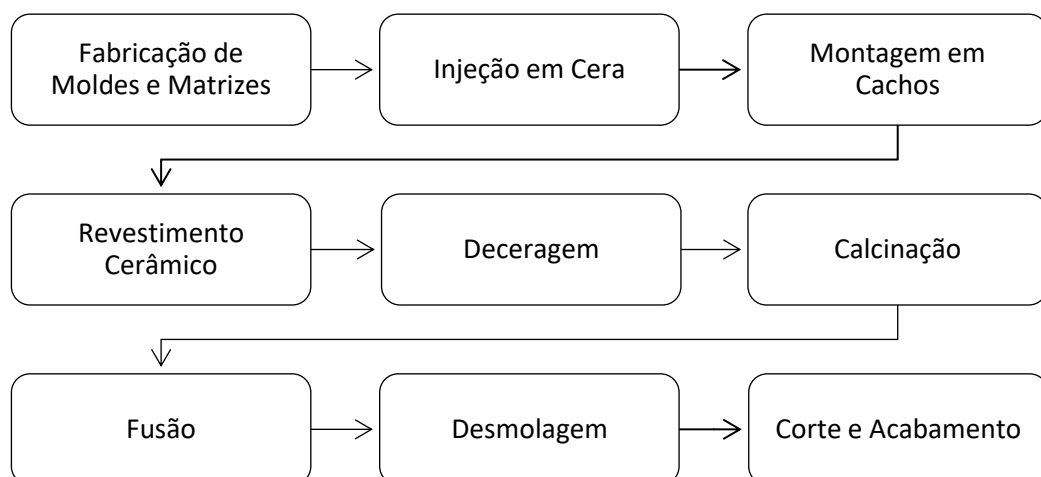
4.2 METODOLOGIA

Em metodologia estão descritos os procedimentos e etapas utilizados no desenvolvimento desta pesquisa.

4.2.1 PROCESSO DE MICROFUSÃO DA COROA

Os moldes e matrizes para a microfusão da coroa no material SAE 8630 foram desenvolvidas pela Empresa Fundimazza. O processo da microfusão abrange um processo industrial com rigorosos e refinados sistemas de controle em cada etapa de fabricação. Na Figura 27 é apresentado o fluxograma de fabricação da coroa microfundida.

Figura 27. Fluxograma para construção da coroa microfundida

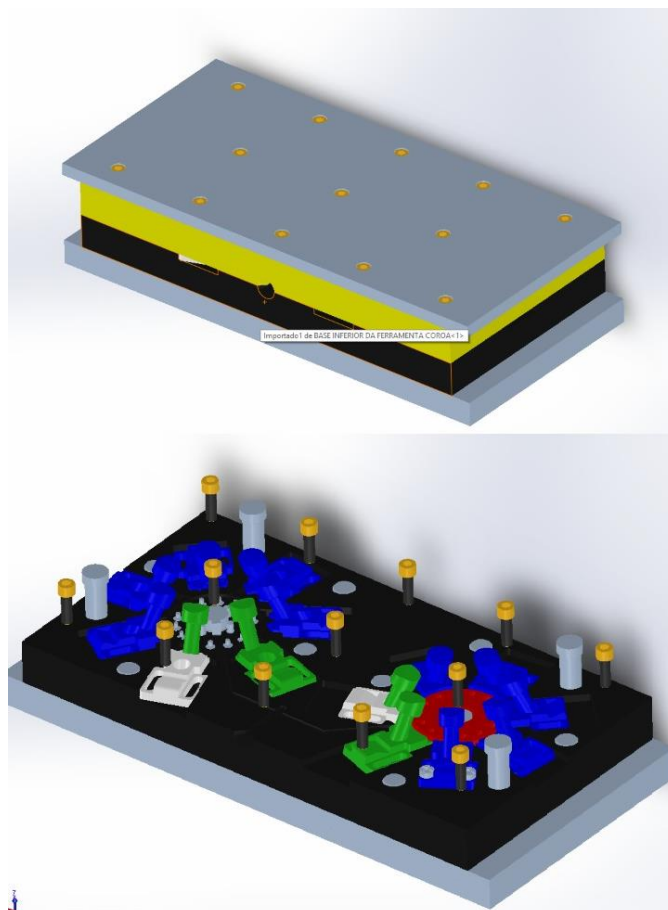


Fonte: Próprio Autor

4.2.1.1 Fabricação de moldes e matrizes para o processo de injeção em cera

Foram desenvolvidos moldes e matrizes em alumínio para realizar o processo em injeção de cera conforme ilustrado na Figura 28. O molde em cera é o modelo exato do produto final microfundido. Abre-se a matriz macho em alumínio e então prepara a matriz fêmea com todas as cavidades desta matriz bem fixadas, em seguida fecha-se a matriz macho sobre a matriz fêmea e realiza-se a injeção da cera em estado pastoso através de um orifício na parte externa da matriz macho. Após injetar a cera preenchendo todas as cavidades internas da matriz fêmea, é necessário realizar o resfriamento desta matriz em alumínio através de água gelada ou qualquer outro tipo de fluido de refrigeração, de modo a proporcionar uma solidificação superficial da peça em cera. Ao final, abre-se a matriz macho sobre a matriz fêmea e retira-se os moldes da coroa em cera conforme apresentado na Figura 29. Este procedimento deve se repetir de acordo com a quantidade de molde em cera solicitado.

Figura 28. Matriz para injeção em cera para o molde da coroa.



Fonte: Próprio autor

Figura 29. Coroa em material de cera.



Fonte: Próprio autor

Após a fabricação de quatro moldes da coroa em cera, a empresa MGFC / Biagio Turbos iniciou o processo de microfusão, seguindo os processos citados anteriormente (Figura 27). Finalizado esta etapa, obtém-se a coroa microfundida no material SAE 8630 conforme apresentada na Figura 30.

Figura 30. Coroa Microfundida SAE 8630 após processo de microfusão.



Fonte: Próprio autor

O produto final da coroa microfundida, com ausência do processo de tratamento térmico, corresponde a uma composição química de acordo com a Tabela 2 e as propriedades mecânicas de acordo com a Tabela 3, similares ao material AISI 8630.

Tabela 2. Composição química AISI 8630.

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Al	Cu	V	Ti	Outros
0,28 - 0,33	0,70- 0,90	0,025	0,025	0,15- 0,35	0,40 -0,70	0,40- 0,60	0,15- 0,25	0,0035	0,025	0,06	0,06	

Fonte: ASM Handbook Metals, 1994 (adaptado)

Tabela 3. Propriedades mecânicas AISI 8630.

Tensão de ruptura, MPa	650 - 880
Tensão limite de escoamento, MPa	350-5507
Alongamento, %	8-25
Redução de área, %	35
Dureza [HB]	179 - 229

Fonte: ASM Handbook Metals, 1994 (adaptado)

4.2.2 PROCESSO DE USINAGEM DA COROA

Com a coroa microfundida no material SAE 8630, realiza-se o processo de usinagem para fixação no cabeçote *Harvester*. O processo de usinagem foi executado em duas etapas no Torno CNC INDEX, modelo MC 400, ilustrado na Figura 31.

- Na primeira etapa do processo: Fixa-se a peça pelo diâmetro externo, realizando-se o faceamento frontal com uma ferramenta de desbaste externo e inserto (marca: Taegutec e modelo: WMG060408MTTT8125). Para abertura do furo central e para ajustar o diâmetro do furo central utilizou-se a broca intercambiável Taegutec.
- Na segunda etapa do processo: Realizou-se a fixação da peça pelo diâmetro do furo central, faceamento frontal, usinagem do diâmetro

externo e ajuste de medidas de comprimento, utilizando-se inserto (marca: Taegutec e modelo: WMG060408MTTT8125).

Figura 31. Máquina utilizada para realizar o processo de usinagem.



Fonte: Próprio autor

4.2.3 TRATAMENTO TÉRMICO DA COROA MICROFUNDIDA

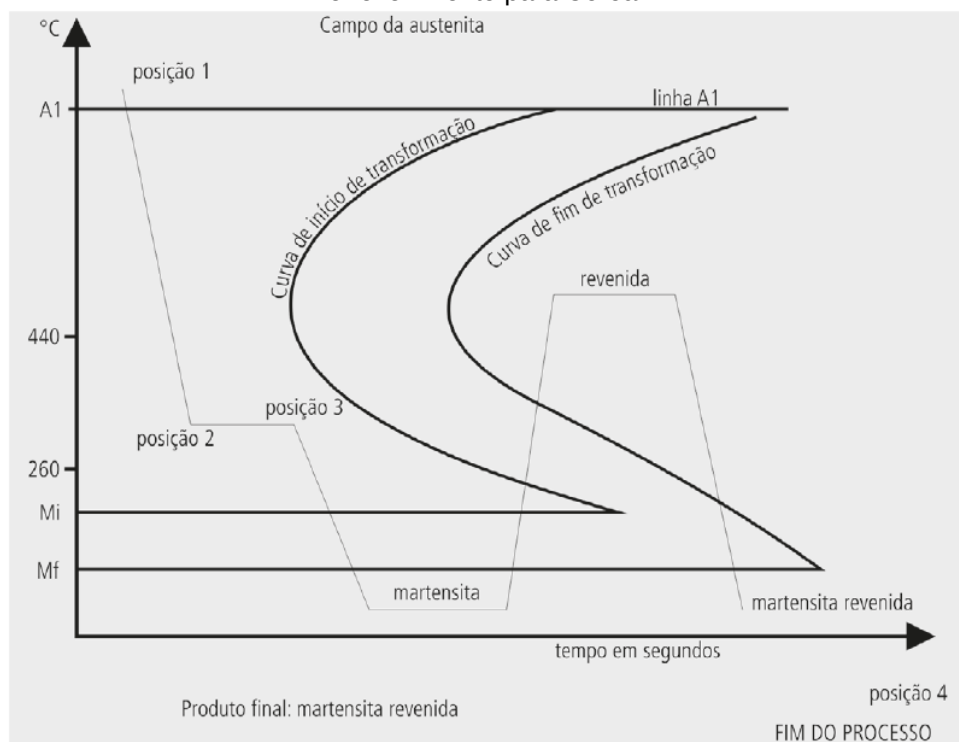
Com objetivo de melhorar a resistência mecânica, dureza e a resistência ao desgaste da coroa foi realizado um tratamento térmico do tipo isotérmico martêmpera também conhecida como têmpera interrompida. Os parâmetros utilizados durante este tratamento térmico estão descritos a seguir:

- Fase inicial, preaquecimento a 400°C durante 60 min em um forno elétrico de poço (marca JUNG e modelo VK60/80).
- Austenização em banho de sal fundido GS 540 de Cloreto de Bário (BaCl_2). A temperatura de austenização deve ser mantida entre 840-860°C durante 150 min em um forno elétrico de poço (marca: Basimet e modelo TO 50/80). Considerando taxa de aquecimento de 30 °C/min.

- Têmpera: resfriada em martêmpera (agitado) em sal tipo AS-140 em temperatura de 180 à 220°C.
- Revenimento: temperatura variando entre 240 à 260 °C durante 180 min, em um forno elétrico de poço (marca: brasimet e modelo: FCA 50/80) com resfriamento ao ar livre até alcançar a temperatura ambiente.

A martêmpera reduz o risco de empenamento, trincas e tensões residuais das peças. De acordo com o diagrama de tempo, temperatura e transformação (TTT) ilustrado na Figura 32, a coroa foi aquecida acima da zona crítica para se obter a austenita (posição 1). Em seguida foi realizado o resfriamento em duas etapas. Na primeira etapa, a peça é mergulhada num banho de sal fundido ou óleo quente, com temperatura um pouco acima da M_i (posição 2), mantém - se a peça nesta temperatura por um determinado tempo, tendo-se o cuidado de não cortar a primeira curva (posição 3) e a na segunda etapa ocorre o resfriamento final, ao ar livre, até atingir a temperatura ambiente (posição 4). Após a martêmpera se faz necessário submeter a peça ao tratamento de revenimento, para normalizar as tensões residuais (VALE, 2011).

Figura 32. Esquema do procedimento do tratamento térmico em banho de sal e resfriamento em óleo e revenimento para Coroa.

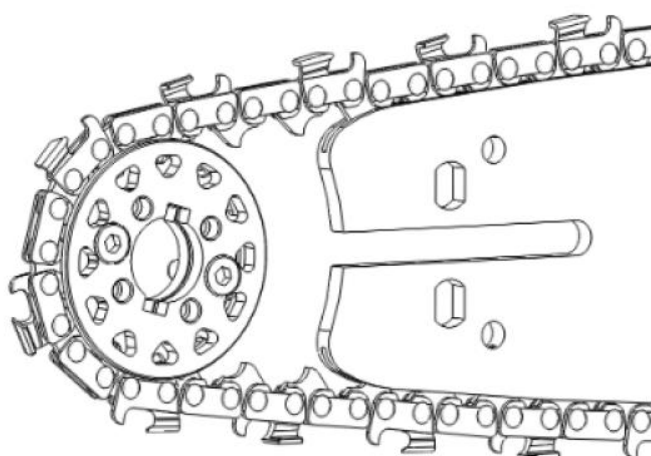


Fonte: IFPA, 2011.

4.2.4 MONTAGEM DA COROA NO CONJUNTO DE CORTE.

Após adquirir a coroa original (A), comprada diretamente de uma revenda Komatsu, para reposição de peças em colheitadeiras florestal, e ao final de todos os processos de fabricação da coroa microfundida (B), ambas foram enviadas para campo para realização de testes, em um período de colheita com ciclo de durabilidade máxima das coroas., A montagem das coroas no conjunto de corte foi realizada conforme mostrado na Figura 33.

Figura 33. Montagem do alinhamento da coroa com a corrente.



Fonte: Oregon, 2020 (adaptada).

A maioria das modernas máquinas florestais apresentam valores abaixo dos limites para lesões provocadas por ruído. Entretanto, os operadores são submetidos diariamente a variados sons, os quais são mais ou menos fatigantes. Como exemplo podemos citar o ruído de baixa frequência do motor e o de alta frequência do sistema hidráulico. As implicações desta exposição contemplam desde a fadiga física e mental até a diminuição do desempenho do operador. Em adição, as vibrações podem ser consideradas um tipo de som de baixa frequência, as quais produzem efeitos semelhantes ao citado anteriormente.

4.2.4.1 OPERAÇÃO DO HAVERSTER EM CAMPO

O estudo de campo foi realizado no núcleo de produção (SP3) com área pertencente aos municípios de Angatuba - SP / Avaré - SP e Itatinga - SP, em uma área de aproximadamente 175.000 hectare (há), pertencente à Suzano Papel e Celulose. O processo de corte foi realizado através de povoamentos híbridos de

eucalipto de alta produtividade com idades de 6 a 8 anos. Os solos florestais são desenvolvidos em quase toda região a partir do arenito da formação pirambóia, Grupo São Bento, da Bacia do Paraná (SYSFLOR, 2019).

A máquina com o cabeçote harvester (Figura 34), processa as árvores individualmente, estas são derrubada, desganhada, destopada e traçada separadamente. O motor utilizado foi o Komatsu SAAD6D107E-1, potência de 155 HP (116 kW).

Figura 34. Máquina Komatsu em campo com o cabeçote Harvester



Fonte: Próprio autor.

Um cabeçote de modelo Valmet 370E, peso 1,600 Kg, com taxa de alimentação de 0 a 5 m/s, potência bruta 21/30.8 kN, pressão hidráulica máxima 28 MPa, com o motor da serra 19 cm³/rev, com capacidade de corte (derrubada em diâmetro) de 400 mm até 700 mm. A máquina com o cabeçote harvester (Figura 35), operou em campo em dois turnos, das 8 às 16h e das 16 às 24h no período de 10 de Fevereiro à 15 de Maio de 2020.

Inicialmente o operador realiza uma simulação do corte da madeira, com o objetivo de verificar se o conjunto de corte está em perfeito estado para iniciar o processo, para prevenir danos futuros no conjunto de corte, a coroa deve estar sempre alinhada com a entrada da canaleta do sabre.

Figura 35. Cabeçote Harvester - Valmet 370E



Fonte: Próprio autor.

A máquina com o cabeçote harvester, operou em campo em dois turnos, das 8 às 16h e das 16 às 24h no período de 10 de Fevereiro à 15 de Maio de 2020.

Inicialmente o operador realiza uma simulação do corte da madeira, com o objetivo de verificar se o conjunto de corte está em perfeito estado para iniciar o processo, para prevenir danos futuros no conjunto de corte, a coroa deve estar sempre alinhada com a entrada da canaleta do sabre. Após a verificação, iniciou-se a operação de corte, no momento em que o operador posicionava o cabeçote *Harvester* na parte inferior da árvore, tocando o solo, em seguida acionava o fechamento das facas e dos rolos do cabeçote, permitindo o corte com o sabre. Ao final, a árvore era tombada para a direita, e deu-se sequência ao ciclo operacional da máquina através do processamento, degaslhamento, descascamento e traçamento da árvore em toras (MORAES, 2012).

Avaliou-se a produtividade do *harvester* no sistema *Cut-to-length*, como proposto pela *Food and Agriculture Organization of the United Nation* (FAO), sendo o comprimento de tora de 3 m a 4 m. A Figura 36 apresenta a máquina realizando uma operação de corte, operando em uma faixa de corte de quatro linhas, sempre se deslocando sobre a segunda linha, onde se deposita a galhada, método mais eficiente segundo Valverde et al. (1996). A derrubada da faixa de corte seguiu a seguinte ordem das linhas: segunda, primeira, terceira e quarta.

Figura 36. Máquina realizando corte da madeira



Fonte: Próprio autor.

O traçamento foi realizado à margem da primeira linha da faixa de corte e os toretes de acordo com a Figura 37. O posicionamento foi realizado em feixes direcionados perpendicularmente à máquina. Após o corte o primeiro empilhamento ocorreu na própria linha, sendo que os toretes permaneceram para a etapa de secagem em um período de até 30 dias.

Figura 37. Primeiro Empilhamento dos toretes após o corte



Fonte: Próprio autor.

Após esses 30 dias, os toretes seguem para o segundo empilhamento, onde juntam-se os toretes das três linhas de faixas de corte para uma segunda etapa de secagem (Figura 38), por um período de 30 dias, após este período, os toretes estarão prontos para o transporte, sendo levados do campo às fábricas para serem utilizados como matéria prima.

Figura 38. Segundo Empilhamento dos toretes após o corte



Fonte: Próprio autor.

4.2.5 ENSAIO NÃO DESTRUTIVO

Após realizado o ciclo de colheita com a durabilidade máxima da coroa original (A) e da coroa microfundida (B), foi realizado a desmontagem do cabeçote *Harvester* e retiradas as coroas dos conjuntos de corte. A coroa microfundida (B) foi disposta em uma bancada em posição cômoda e ergométrica para realização do ensaio não destrutivo. Em um ambiente iluminado artificialmente, o qual assegurava uma luminosidade mínima, foi realizada a inspeção visual para execução do ensaio por ultrassom e realizou-se a averiguação das coroas, para identificar se após o ciclo de colheita a mesma não sofreu algum dano externo, além das marcas de desgaste em contato com a corrente.

4.2.5.1 Ensaio por Ultrassom

O ensaio não destrutivo por ultrassom é amplamente utilizado na indústria e tem um poder de penetração e alta sensibilidade, o objetivo deste ensaio é a detecção

de pequenas discontinuidades internas, superfícies e sub superficiais como trincas ou inclusões e outras indicações de difícil detecção (ANDREUCCI, 2014).

A técnica não destrutiva de ultrassom convencional foi realizada no laboratório de uma empresa privada (Figura 39), com o objetivo de detectar discontinuidades e micro trincas nas coroas após o termino do ciclo de colheita.

Utilizando a técnica do pulso eco através do contato direto na peça, geralmente utiliza-se a vista *A-Scan*, a qual mostra o eco da peça, além da indicação encontrada na tela do referido equipamento (TROMBINI, 2015). Durante o ensaio foi aplicado o pulso-eco através de um cabeçote de duplo cristal de frequência de 4 MHz em contato direto. A velocidade sônica foi medida na face da coroa original (A) e da coroa microfundida (B) através do equipamento aparelho de ultrassom digital portátil.

Figura 39. Aparelho de Ultrassom digital portátil.



Fonte: Próprio autor.

4.2.6 ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS COROAS

No presente trabalho foram utilizados ensaios para caracterização microestrutural mecânica. Abaixo os ensaios realizados:

4.2.6.1 Análise química via espectrometria óptica

Para se obter as características quantitativas dos materiais na coroa original (A) e na coroa microfundida (B), foi realizada análise química utilizando a técnica de espectrometria óptica, conforme ilustrado na Figura 40. O espectrômetro utilizado de marca Spectro modelo SPECTROMAX.

A análise química através da técnica de espectrometria é muito utilizada para a determinação de metais em diferente matrizes e pela possibilidade de realizar análises multielementares, devido apresentar alta sensibilidade e possibilitar uma análise de uma ampla faixa de concentrações, em função da sua característica de linearidade (MARQUES, 2015).

Há diversas técnicas para se determinar a composição química de um aço, respeitando suas particularidades, entretanto, a técnica de espectrometria de emissão por plasma e por centelha possui a capacidade de analisar amostras no estado líquido. Amostras sólidas, como o aço (peça maciça, chapa, limalha, cavaco, pequenos pedaços, particulado ou pó) precisam ser convertidas em líquidos por um processo de dissolução (OLIVEIRA, 2010).

Figura 40. Espectrômetro utilizado para análise química das coroas, modelo SPECTROMAX.



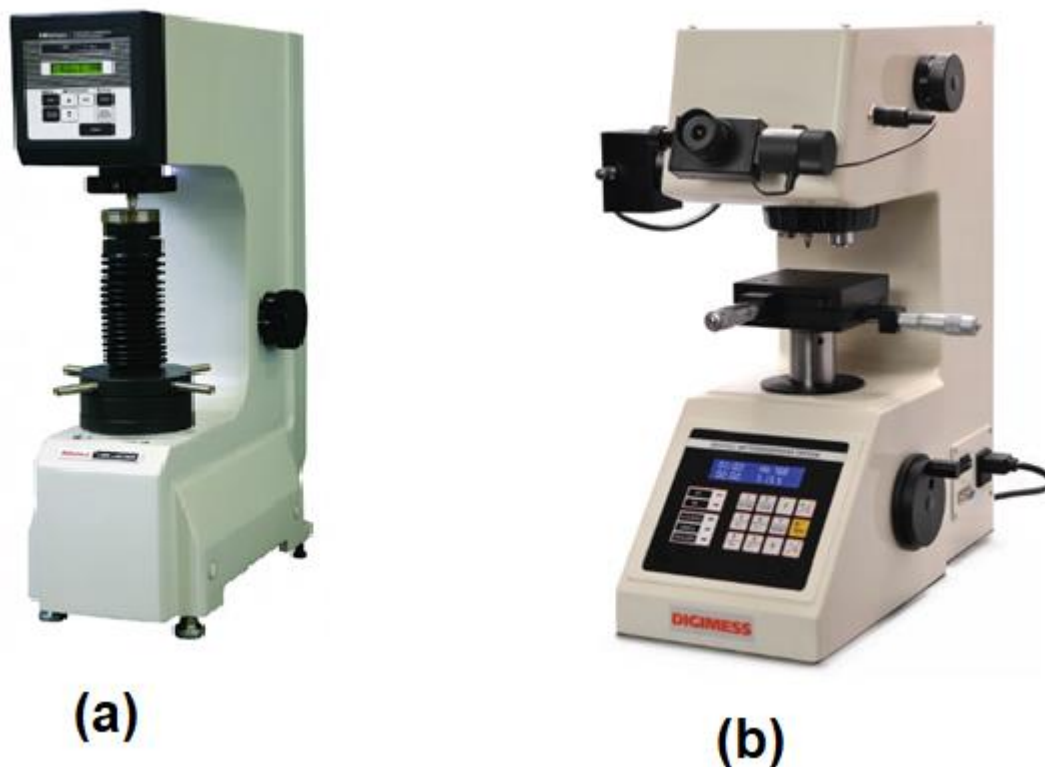
Fonte: TM-Service (adaptada).

4.2.6.2 Ensaio de dureza Rockwell e ensaio de microdureza Vickers

A coroa original (A) e a coroa microfundida (B) foram submetidas a ensaios de dureza Rockwell e de microdureza Vickers nas regiões de desgastes e no núcleo, visando avaliar as diferenças microestruturais entre elas.

Para estes ensaios de dureza e microdureza, foram utilizados os equipamentos de acordo com a Figura 41. As medidas na escala em Rockwell “C” foram determinadas com carga de 150 kg por 15 segundos em escala “C”. E as medidas de microdureza foram determinadas através de um penetrador com ponta de diamante com formato piramidal de base quadrada, com um ângulo de 136 ° entre as faces opostas e a escala aplicada foi HV 0,1, com carga de 0,5 Kg.

Figura 41. (a) durômetro de bancada Mitutoyou e (b) durômetro de bancada Digimess.



Fonte: TM-Service (adaptada)

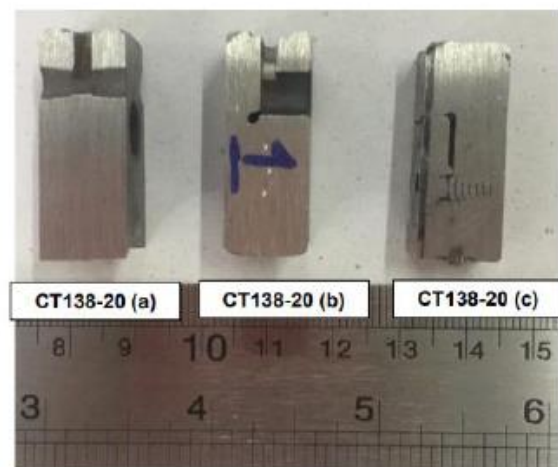
4.2.6.3 Ensaio de desgaste abrasivo

O objetivo deste ensaio é de traçar uma análise comparativa entre a coroa original (A) e coroa microfundida (B). Este ensaio comparativo foi realizado seguindo recomendações da norma ASTM G65 - 16e1.

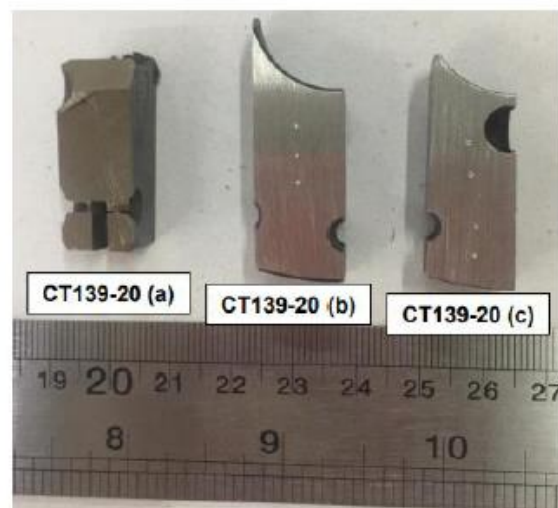
Os corpos de provas passaram por adaptações para realização dos ensaios, os mesmos não apresentavam as dimensões de 25 x 76 x 3,2-12,7 mm propostos pela norma ASTM G65-16e1, porém sem irregularidades que prejudicariam os

resultados obtidos. Entretanto as geometrias e dimensões de cada corpo de prova apresentaram diferentes entre si, conforme ilustrado na Figura 42 e identificado na Tabela 4, entretanto ressalta-se que esta diferença não ocasionou impactos negativos diretos no resultado.

Figura 42. Corpos de prova para ensaio de desgaste abrasivo, sendo (a) corpos de prova da coroa original e (b) corpos de prova da coroa microfundida.



(a)



(b)

Fonte: Materiais Jr. (adaptada)

Tabela 4. Identificação dos corpos de prova para ensaio de desgaste abrasivo

Identificação do laboratório	Identificação coroa original / coroa microfundida
CT138-20 (a)	CPA – 01
CT138-20 (b)	CPA – 02
CT138-20 (c)	CPA – 03
CT139-20 (a)	CPM – 01
CT139-20 (b)	CPM – 02
CT139-20 (c)	CPM – 03

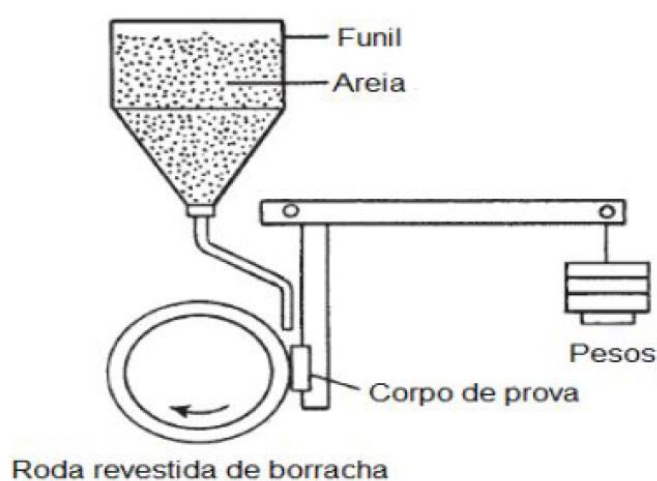
Fonte: Materiais Jr. (adaptada)

Todos os corpos de prova tiveram suas superfícies de contato com a roda de borracha lixadas em lixas d'água de carboneto de silício com granulometrias 120 ,220 ,440 e 660 mesh, de acordo com a norma ASTM G65-16e1.

O teste de ensaio abrasivo foi realizado em um aparelho semelhante à imagem demonstrada na Figura 43, este ensaio consistiu em simular a abrasão em baixa tensão, através do processo de esmerilhar o corpo de prova padronizado com areia, possuindo tamanho de grão e composições controladas.

Para a realização deste ensaio, foi aplicada nos corpos de prova uma carga de 130 N, uma areia seca de granulometria de 100 mesh a uma velocidade de rotação de 200 rpm por um tempo de 30 min e uma distância linear da abrasão (distância percorrida) igual a 4309 m, em adição utilizou-se também uma vazão de areia abrasiva de 350 g/min.

Figura 43. Equipamento utilizado para o ensaio de desgaste nos corpos de provas.



Fonte: Materiais Jr. (adaptada)

Os corpos de provas tiveram suas massas medidas antes e depois do ensaio. A análise da perda de massa foi gerada através de uma balança da marca Kasvi, de alta precisão com sensibilidade igual a 0,001 g, os resultados foram apresentados em função do volume removido (mm^3) por distância percorrida (m), de modo que não haja confusão causada por variações da densidade. Os volumes puderam ser calculados para cada corpo de prova ensaiado através da equação (1) e foi possível calcular para cada material o coeficiente de desgaste (K) através da equação 2.

Equação 1. Volume Removido

Equação 2. Coeficiente de desgaste (K)

$$\text{Volume removido } [\text{mm}^3] = \frac{\text{massa perdida } [g]}{\text{densidade } [\frac{g}{\text{cm}^3}]} \times 1000 \quad (\text{Equação 1})$$

$$\frac{V_R}{S_0} = K \times L \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

V_R - é o volume de material desgastado (volume removido), em mm^3

S_0 - é a distância percorrida, em metros;

L - é a carga, em N;

K - é o coeficiente de desgaste, em $\text{mm}^3 / \text{N.m}$

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para uma melhor compreensão dos resultados experimentais foram realizadas análises, ensaios de dureza e desgaste abrasivo, todos os dados são disponibilizados nos Apêndice A ao J e nas tabelas montadas em excel (software Microsoft versão Office 2010) para geração de gráficos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

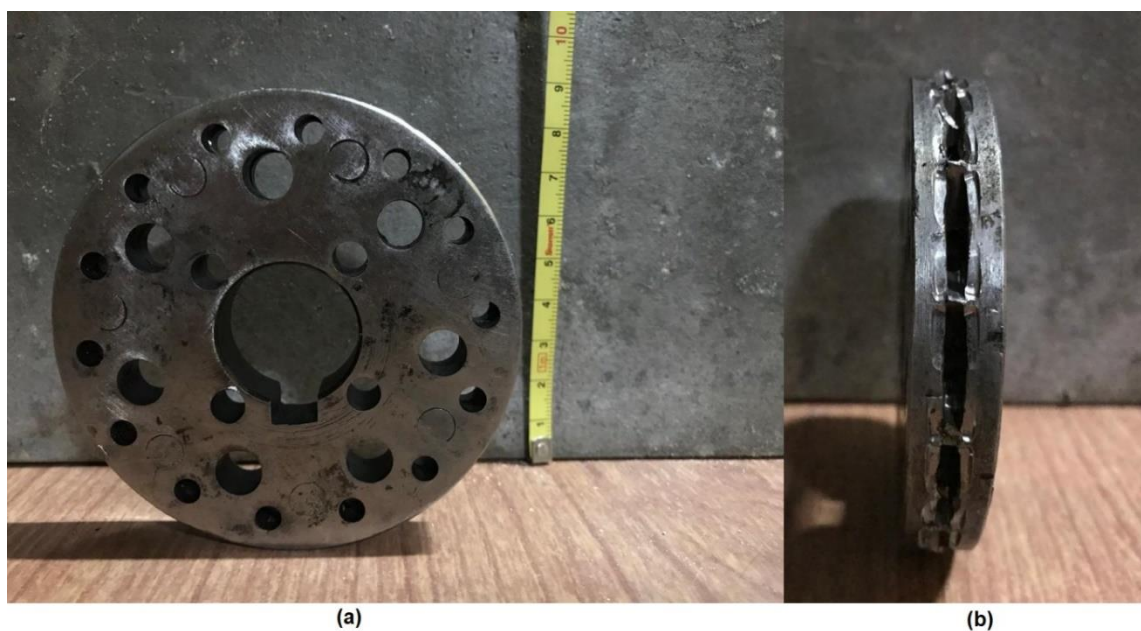
Neste capítulo é discutido e apresentado todas as análises e resultados desenvolvidos nesta pesquisa. Análise da inspeção visual, resultados dos ensaios mecânicos e o teste em campo comparando a coroa original (A) com a coroa microfundida (B).

5.1 Resultado dos ensaios não destrutíveis

5.1.1 Inspeção visual das coroas:

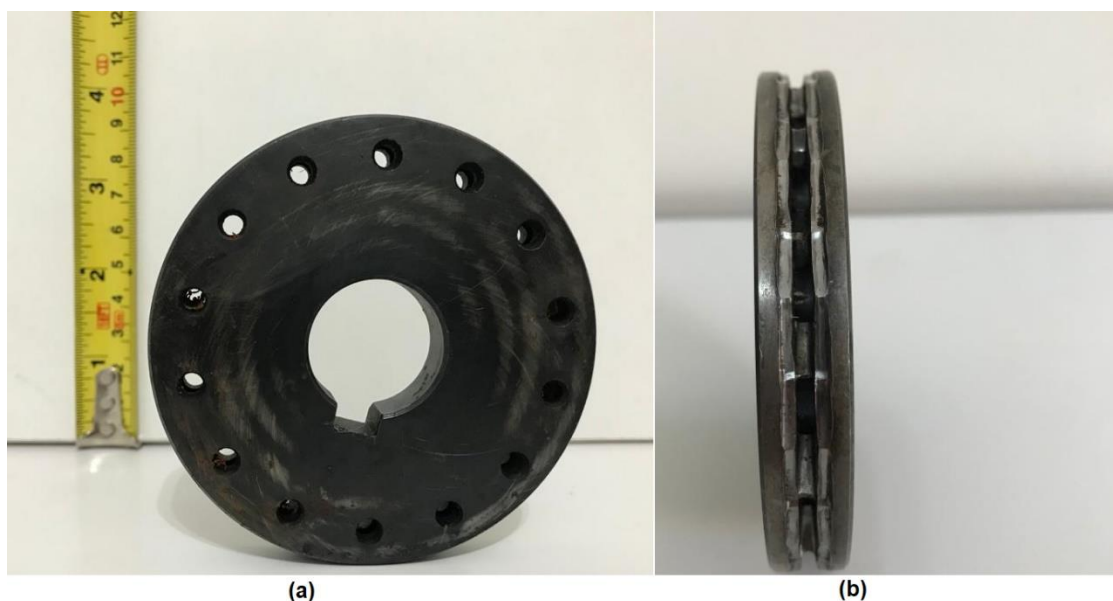
Após o término do ciclo de trabalho desmontou-se o conjunto de corte e verificou-se que tanto a coroa original (A), quanto a coroa microfundida (B) (Figuras 44 e 45, respectivamente) apresentaram desgaste natural devido o contato com a corrente. As coroas continham marcas, devido as forças de tração em contato com a corrente, porém não tiveram quebras acidentais, trincas e danos nas superfícies.

Figura 44. Inspeção visual Coroa Original (A), sendo (a) parte frontal e (b) parte lateral com marcas de contato com a corrente.



Fonte: Próprio autor.

Figura 45. Inspeção visual Coroa fabricada (B), sendo (a) parte frontal e (b) parte lateral com marcas de contato com a corrente.



Fonte: Próprio autor.

O desgaste apresentado nas coroas certifica que o momento de troca foi justamente no ato em que as coroas não haviam mais possibilidades de uso. Acredita-se que a inspeção visual de toda a máquina antes de iniciar o processo de corte, realizada pelo operador, seja fundamental, pois há a checagem do nível de óleo, das tensões das correntes e fluxo de corte, o qual verifica-se se o sistema está funcionando corretamente, caso haja uma rotação em falso desse sistema ou ruído excessivo, deve-se checar detalhadamente para investigar se não há desgaste da corrente, sabre ou da coroa. Na Tabela 5 pode-se verificar a durabilidade, ou seja, o desempenho da coroa em cada ciclo de trabalho.

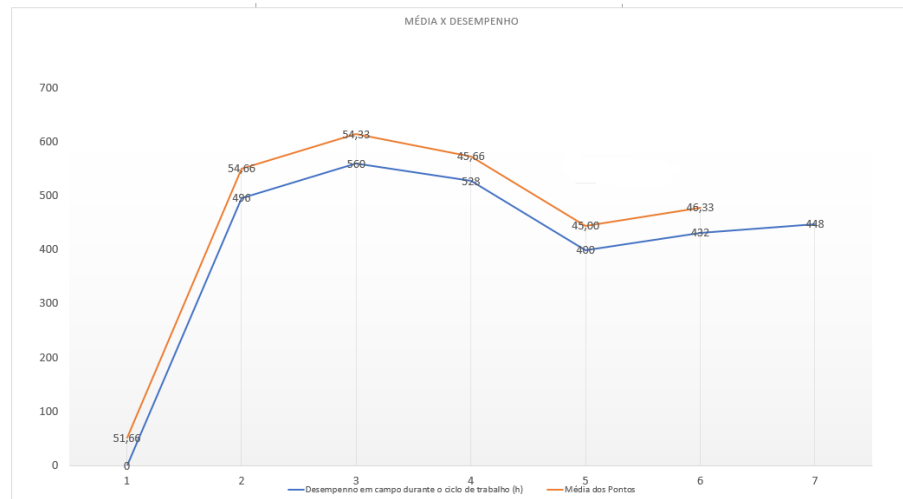
Tabela 5. Desempenho das coroas em campo

Identificação coroa original / coroa microfundida	Desempenho das coroas em campo durante o ciclo de trabalho (h)
Coroa Original (A) - 01	496
Coroa Original (A) - 02	560
Coroa Original (A) - 03	528
Coroa Microfundida (B) - 01	400
Coroa Microfundida (B) - 02	432
Coroa Microfundida (B) - 03	448

Fonte: Próprio autor

A Figura 46 apresenta as médias de dureza em HRC em função do desempenho de cada coroa de acordo com a vida útil, para elaboração deste gráfico. Foram utilizados dados coletados da Tabela 5 e alguns dados da Tabela 7. Esses resultados demonstram que quanto maior a dureza maior o desempenho em campo.

Figura 46. Média de pontos HRC em função do desempenho das coroas em campo



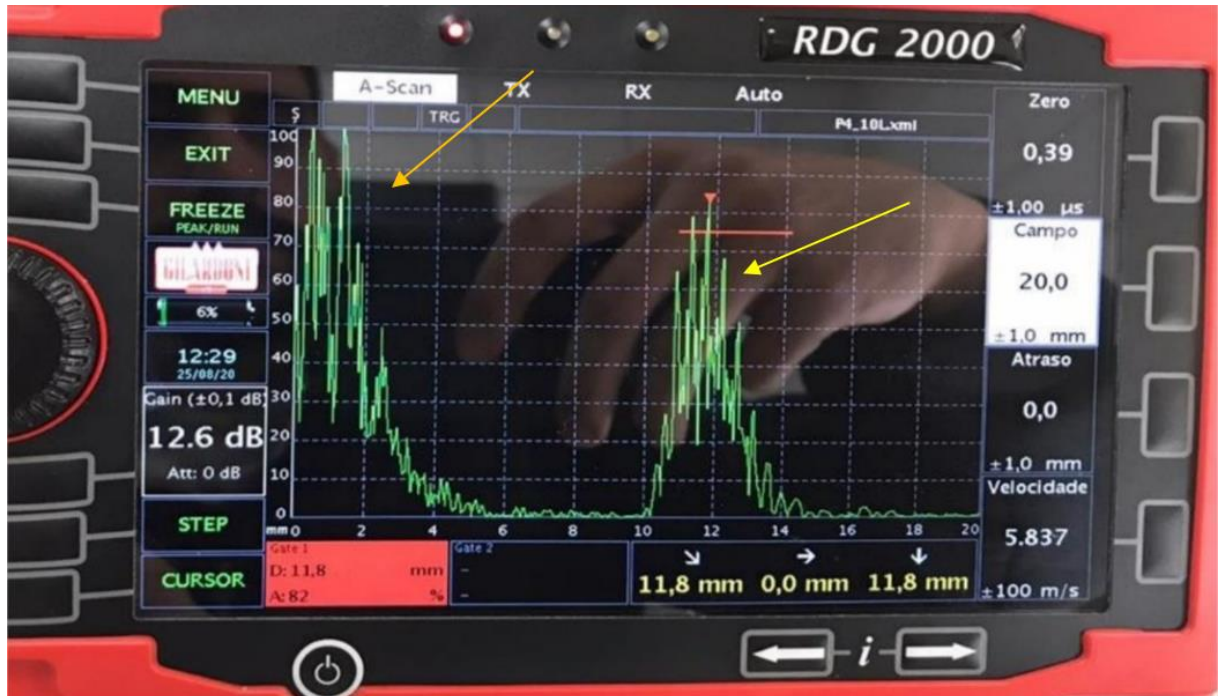
Fonte: Próprio autor

5.1.2 Ensaio por ultrassom:

O resultado do ensaio de ultrassom foi aprovado sem apresentar qualquer indicação de defeito nas superfícies da coroa original (A) e da coroa microfundida (B) (Figuras 47 e 48 respectivamente). Na tela do aparelho de ultrassom, pode ser verificado que os picos das primeiras ondas (setas na cor laranja) são as interferências do cabeçote ao atingir as superfícies das coroas e os segundos picos de ondas (setas na cor amarelo) são as sondas do ultrassom percorrendo toda a peça e são também as ondas sônicas que indicam as espessuras das coroas. Na Figura 47 pode ser verificado a espessura de 11,8 mm correspondente a coroa original e na Figura 48 pode ser verificado a espessura de 11,9mm que corresponde a coroa microfundida. O ensaio através da técnica A - Scan (DA COSTA, 2011) não apresentou nenhuma descontinuidade nas coroas, pois caso houvesse teríamos um pico de onda entre os primeiros picos das ondas em contato com a superfície das coroas e os segundos picos de ondas de ultrassom que percorreu toda a geometria das coroas. Marcações de descontinuidade no campo como a profundidade, percurso e tamanho dessa

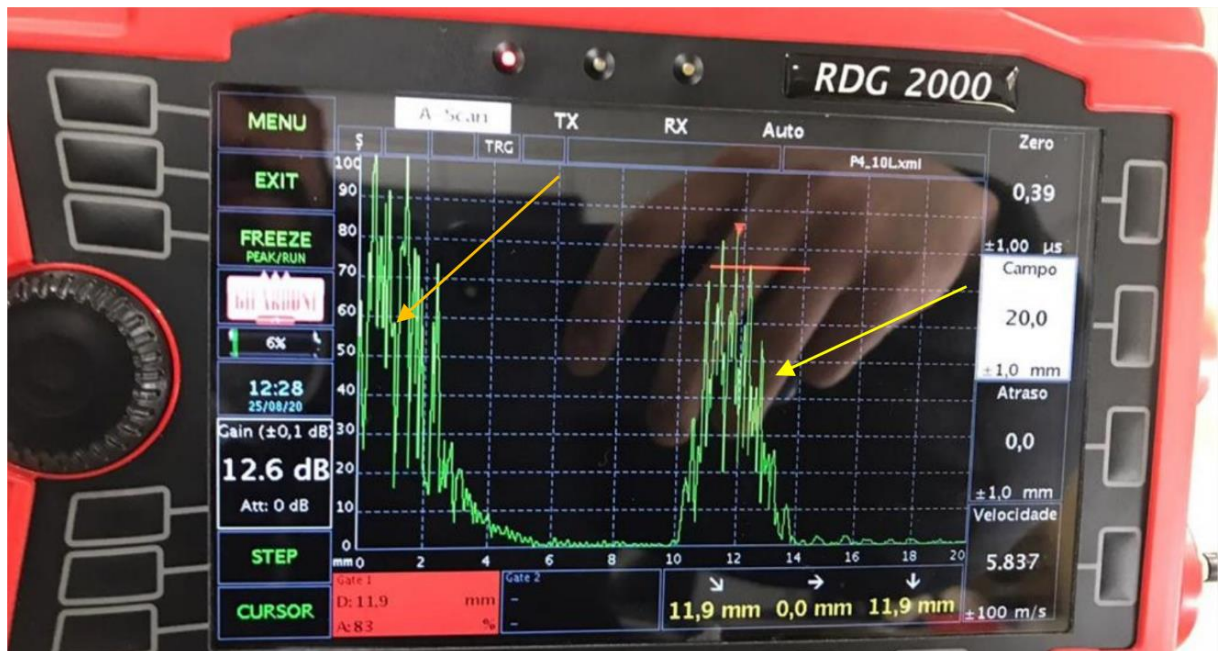
descontinuidade podem ser encontrados no relatório do ensaio de ultrassom (Apêndices A e B).

Figura 47. Resultado na tela do aparelho de ultrassom a coroa original (A).



Fonte: Próprio autor

Figura 48. Resultado na tela do aparelho de ultrassom a coroa microfundida (B).



Fonte: Próprio autor.

5.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS COROAS

Para a certificação do material da coroa original (A), comprada diretamente de uma revenda de reposição de peças e equipamentos florestais, foi realizada a análise química por espectrometria de emissão óptica em temperatura ambiente, a Tabela 3 apresenta dados que demonstram que a composição atende ao especificado na norma SAE J404 com material SAE 4140.

Para confirmação do material da coroa microfundida (B), com a realização do tratamento térmico, também foi realizada a análise química de espectrometria de emissão óptica em temperatura ambiente. A Tabela 6 apresenta a composição química desta coroa, a qual atende ao especificado a norma ASTM A915/A915M - Gr. SC 8630, em adição está de acordo com o relatório da microfusão realizada pela empresa MGFC / Biagio Turbos (Apêndice C).

Tabela 6. Composição Química das Coroas

Composição Química Coroa Original (A)											
<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Si</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>	<i>Al</i>	<i>Cu</i>	<i>V</i>	<i>Fe</i>
0,41	0,93	0,019	0,034	0,240	0,115	1,00	0,18	0,021	0,139	0,0057	Base

Composição Química Coroa Microfundida (B)											
<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Si</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>	<i>Al</i>	<i>Cu</i>	<i>V</i>	<i>Fe</i>
0,31	0,822	0,017	0,010	0,550	0,496	0,461	0,219	0,040	0,032	Nd	Base

Fonte: Próprio autor.

Após as análises das composições químicas das coroas nota-se que o material da coroa original (A) o SAE 4140 e o da coroa microfundida (B) o SAE 8630, são aços classificados como aços ligas, esses elementos como: manganês, silício, níquel, cromo, molibdênio, vanádio, nióbio, boro, alumínio, titânio, tungstênio, cobalto, cobre, zircônio e chumbo são incorporados ao carbono, atuando de forma diferenciada, sendo seus principais efeitos as alterações de propriedades mecânicas, tais como: aumento de resistência, aumento da dureza, melhoria da temperabilidade,

tenacidade e usinabilidade, e aumento da resistência à oxidação, corrosão e abrasão (SOUZA, 2006). Na tabela 6 a coroa original (A) apresenta uma quantidade de C, Mn, P e S, maior do que a coroa microfundida (B).

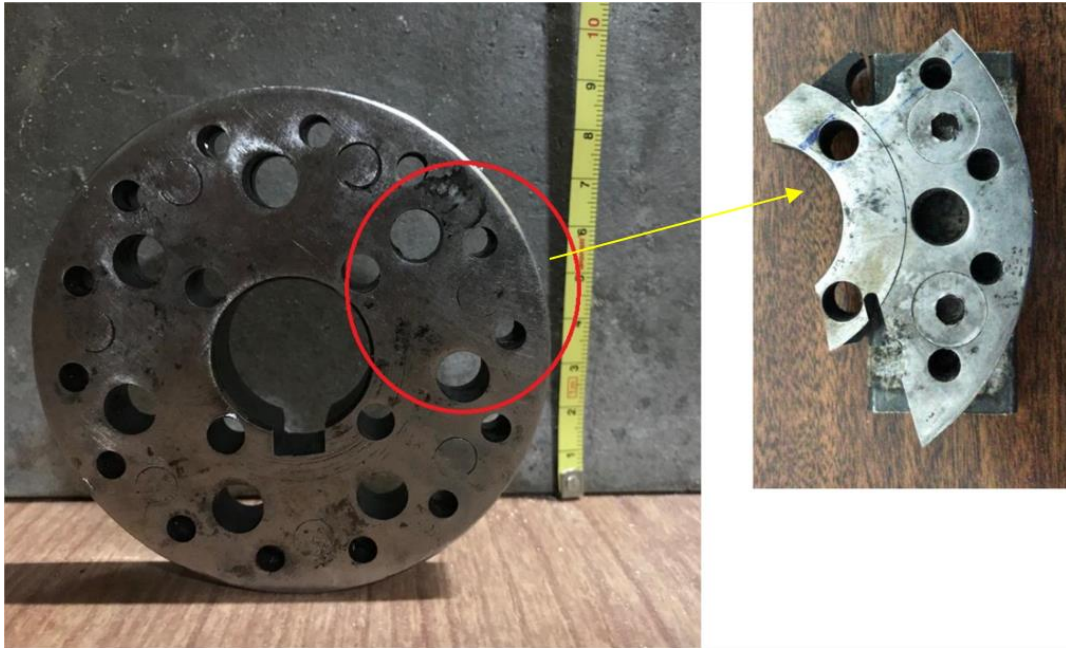
Contudo nota-se a presença de elementos químicos gamagêneos que alargam o domínio da austenítico como o C, Mn, Cr e Ni, os quais favorecem a resistência à tração e os elementos como Cr, Mo e Mn que favorecem ao aumento da resistência ao desgaste. Em adição, existem também os elementos químicos alfa gêneos, como o Cr, Mo, Si, Al, P e S, que tornam a austenite instável. O carbono é o elemento mais importante da liga nos aços, aumenta a dureza e a resistência dos aços, em conjunto com ferro forma carbonetos duros e resistente ao desgaste. O manganês é um elemento desoxidante e combinando-se com o enxofre formam os sulfetos de manganês diminuindo a possibilidade de fissuras a quente. O cromo torna o aço apto para ser temperado ao ar livre ou no óleo. Nos aços austeníticos Cr e Mn, Cr e Ni, o cromo estabiliza a austenite. O elemento níquel aumenta a penetração de têmpera e a tenacidade dos aços, e quando associado ao cromo, favorece o aumento da resistência aos ataques dos agentes químicos. O vanádio tem grande tendência a formar carbonetos, os quais são muito finos. Por esse motivo aumenta a resistência ao desgaste, favorece a estabilidade no processo de revenimento e a insensibilidade sobre o aquecimento. O fósforo associado ao enxofre nos aços austeníticos pode melhorar o limite elástico e produzir alguns efeitos de precipitação (ASM Metals, 1994).

5.3 ANÁLISE MICROSCÓPICA GRAFICA DAS COROAS

5.3.1 Análise microscópica da coroa original (A):

A análise de microscópica foi realizada na superfície onde há contato direto com a corrente, ou seja, onde há maior desgaste e na região do núcleo onde há o contato com o eixo do motor (Figura 49). Em ambas regiões verificou-se uma microestrutura composta por uma matriz martensítica revenida, típica de um aço temperado e revenido.

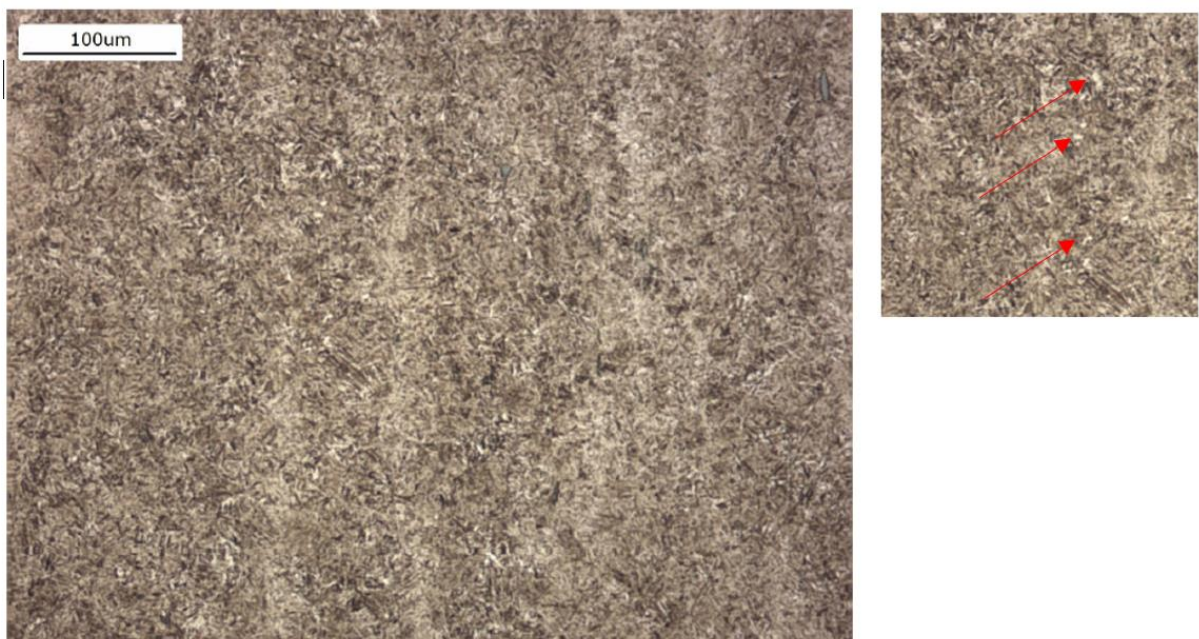
Figura 49. Coroa Original (A) com a identificação do corpo de prova CPA-01



Fonte: Próprio autor

A martensita ilustrada na Figura 50, é caracterizada pelas regiões em tonalidade marrom clara, que tendem a diminuir à medida que aumenta o tempo de permanência no patamar isotérmico à temperatura de 286 °C. Essas regiões mais brancas, podem corresponder às fases ferrita e austenita retida (SOUZA, 2006).

Figura 50. Analise Microscópica Coroa Original (A) Corpo de Prova CPA-01.

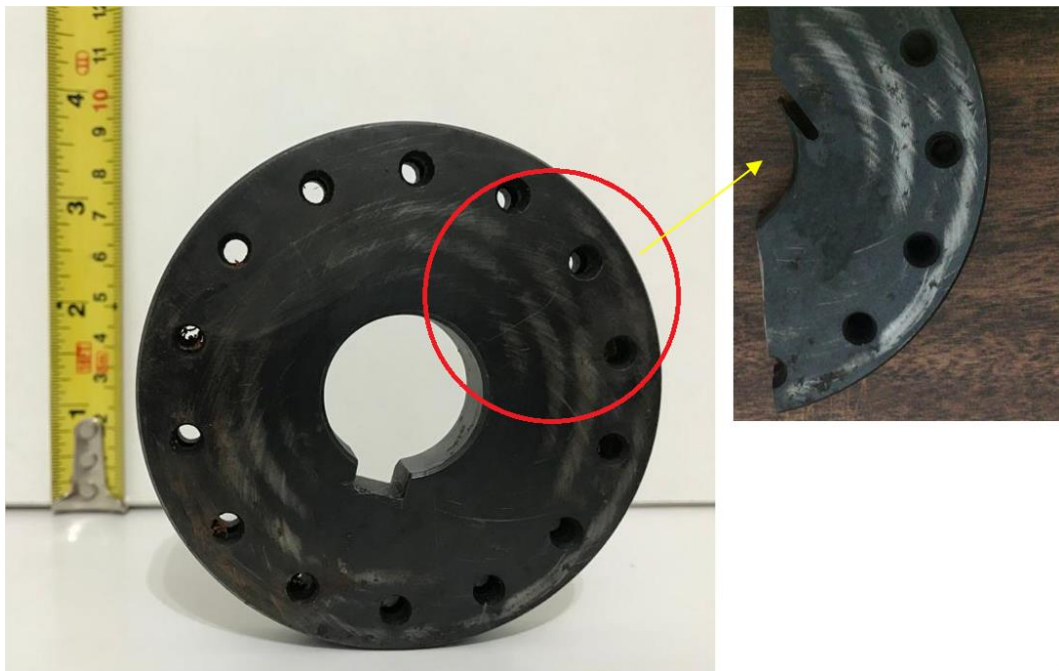


Fonte: TM-Service (adaptada)

5.3.2 Análise microscópica da coroa microfundida (B):

A microscopia foi realizada através de um Corpo de Prova CPM-01 da coroa microfundida (B) na região da superfície e na região do núcleo (Figura 51). Em ambas as regiões pôde-se verificar uma microestrutura composta por uma matriz martensítica revenida com presença da bainita, típica de um aço temperado e revenido.

Figura 51. Coroa Original (A) com a identificação do corpo de prova CPM-01



Fonte: Próprio autor

A estrutura bainítica de acordo com a (Figura 52), aparece em forma de finas ripas ou feixes de ripas paralelas, em diferentes orientações cristalográficas, com tonalidade preta para amostras que apresentam pequena porcentagem de fração de área da fase bainítica e tendendo à tonalidade marrom escura conforme cresce a porcentagem de fração de área da fase bainita na constituição da microestrutura da amostra analisada (SOUZA, 2006).

Figura 52. Análise Microscópica Coroa Microfundida (B), Corpo de Prova CPM-01.



Fonte: TM-Service

Em ambas Figuras 50 e 52 são imagens analisadas por microscópio óptico em uma resolução de 200x. A Figura 50 corresponde ao material SAE 4140 que sofreu um resfriamento brusco da austenita durante o tratamento térmico de têmpera ocasionando a martensita revenida. Enquanto a Figura 52 é a imagem da análise microestrutural do material SAE 8630 a qual também sofreu tratamento térmico de tempera que mesmo tendo todo o ciclo de transformação por completo ocasionou-se uma martensita revenida com traços de bainita. Verifica-se que ambas as figuras não há grande diferença entre elas, no ponto de vista morfológico, o que é típico de uma estrutura martensítica.

5.4 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL DAS COROAS

A Tabela 7 apresenta os resultados do teste de dureza Rockwell realizado nas coroas. Para coroa original (A) foi realizado ensaio com três amostras, retirando corpos de provas de cada uma dessas coroas. Portanto da coroa original (A)- 01, foi retirado o corpo de prova 01 (CPA-01), onde foi realizada medição em HRC com 3 pontos diferentes na região da superfície e repetindo-se na região do núcleo. O

mesmo procedimento foi realizado para as demais coroas originais, tendo como corpos de prova finais CPA-02 e CPA-03. Para coroa microfundida foi realizado o ensaio em três coroas microfundidas (B), retirando um corpo de prova para cada coroa. Na coroa 01 microfundida, retirou-se o corpo de prova (CPM-01) e repetiu-se a mesma medição em HRC com 3 pontos diferentes, na região da superfície e na região do núcleo. O mesmo procedimento foi realizado para as demais coroas microfundidas, tendo como corpos de prova finais CPM-02 e CPM-03. Ambos os ensaios foram realizados em condições ambientais de temperatura de 23°C.

Verifica-se na Tabela 7, que estão destacadas as durezas da coroa original (A) com material SAE 4140 esta coroa teve média dos pontos em 52/54 HRC, enquanto a dureza da coroa microfundida (B) com material SAE 8630 apresentou a média dos pontos em 45/46 HRC, os dados estão de acordo relatório do ensaio de dureza no Apêndices.

Tabela 7. Ensaio de Dureza Rockwell C das Coroas

Corpo de Prova	Região	Resultados, HRC Coroa Original (A)			
		Nº DE PONTOS			Média de Pontos
		1	2	3	
CPA-01	Superfície	52	51	52	51,66
CPA-02	Superfície	55	54	55	54,66
CPA-03	Superfície	54	54	55	54,33
Corpo de Prova	Região	Resultados, HRC Coroa Microfundida (B)			
		Nº DE PONTOS			Média de Pontos
		1	2	3	
CPM-01	Superfície	46	46	45	45,66
CPM-02	Superfície	45	45	45	45,00
CPM-03	Superfície	46	46	47	46,33

Fonte: Próprio autor.

Pela literatura, o material SAE 4140 quando beneficiado varia de uma dureza entre 52 a 57 HRC e o material SAE 8630 quando beneficiado varia de uma dureza entre 45 a 53 HRC (ASM Metals, 1994). A diferença de dureza entre os materiais SAE 4140 e SAE 8630, destaca-se pela maior quantidade de carbono apresentada no material SAE 4140, além do tratamento térmico ter ocorrido por completo, ocasionando uma estrutura homogênea de martensita revenida ao contrário do material SAE 8630, que obteve uma estrutura de martensita revenida com traços de bainita comprovado nos ensaios de análise químicas.

5.5 ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS DAS COROAS

Os resultados do ensaio e microdureza vickers, pode ser verificado na Tabela 8. Para a coroa original (A) foram realizados os ensaios nos corpos de prova CPA-01, CPA-02 e CPA-03 nas regiões da superfície e no núcleo. Para a coroa microfundida (B) foram realizados os mesmos ensaios, nos corpos de prova CPM-01, CPM-02 e CPM-03 nas regiões da superfície e do núcleo. Os resultados da profundidade de camada medida em 550 HV1, não evidenciam presença de camada endurecida devido não ter sido realizado nenhum tratamento térmico por indução.

Tabela 8. Ensaio de microdureza Vickers das Coroas

PROFUNDIDADE DA CAMADA EM 550HV1 COROA ORIGINAL (A)	
REGIÃO CAMADA DE INDUÇÃO	PROFUNDIDADE, mm Não foi evidenciada a presença de camada endurecida
PROFUNDIDADE DA CAMADA EM 550HV1 COROA MICROFUNDIDA (B)	
REGIÃO CAMADA DE INDUÇÃO	PROFUNDIDADE, mm Não foi evidenciada a presença de camada endurecida

Fonte: Próprio autor.

5.6 ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO

Através do ensaio de desgaste abrasivo, utilizando areia seca e roda de borracha, é possível verificar na Tabela 9, a massa inicial antes da realização do ensaio, a massa final após a realização do ensaio e. A perda / variação de massa, determinada através da diferença entre a massa inicial e final. Os valores das massas iniciais estão diferentes, devido a geometrias dos corpos de provas, terem dimensões diferentes.

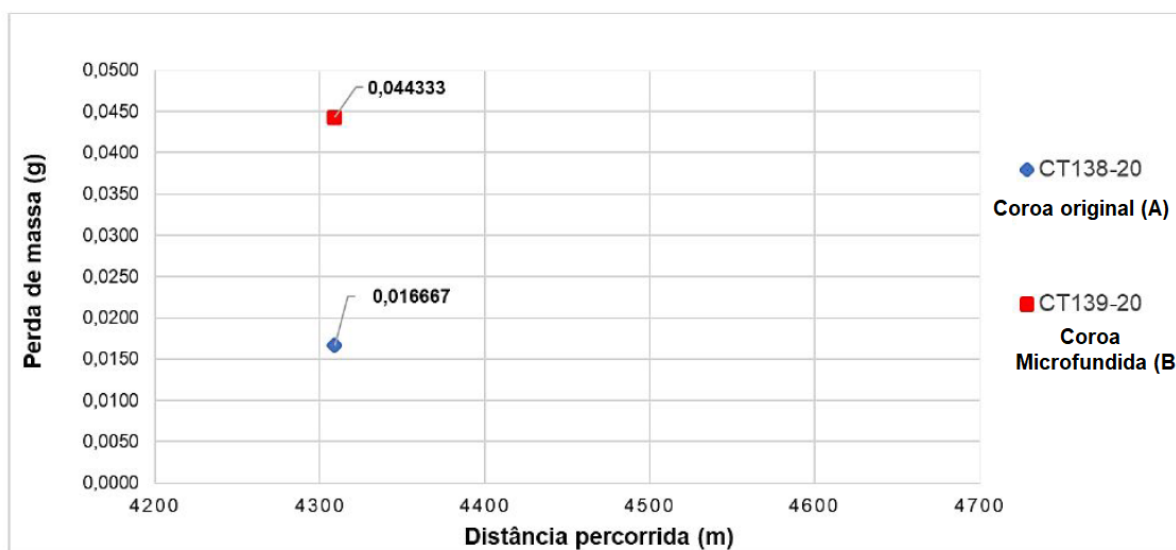
Tabela 9. Resultado do ensaio de desgaste abrasivo perda/ variação de massa

Identificação do laboratório	Identificação coroa original / coroa microfundida	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
CT138-20 (a)	CPA - 01	24,9791	24,9647	0,01440
CT138-20 (b)	CPA - 02	34,1383	34,1130	0,02530
CT138-20 (c)	CPA - 03	32,6406	32,6303	0,01030
	Média			0,01667
	Desvio Padrão			0,00633
CT139-20 (a)	CPM - 01	28,8057	28,7767	0,02900
CT139-20 (b)	CPM - 02	30,8260	30,7750	0,07100
CT139-20 (c)	CPM - 03	35,4810	35,4480	0,0330
	Média			0,04433
	Desvio Padrão			0,02318

Fonte: Próprio autor.

O ensaio de desgaste abrasivo foi realizado durante um tempo de 30 min, pela Figura 53 é possível verificar a média da perda da massa em função da distância linear abrasiva, ou seja, a distância percorrida para os materiais da coroa original (A) e da microfundida (B).

Figura 53. Média da perda de massa em função da distância percorrida (m) para as coroas



Fonte: Materiais Jr. (adaptada)

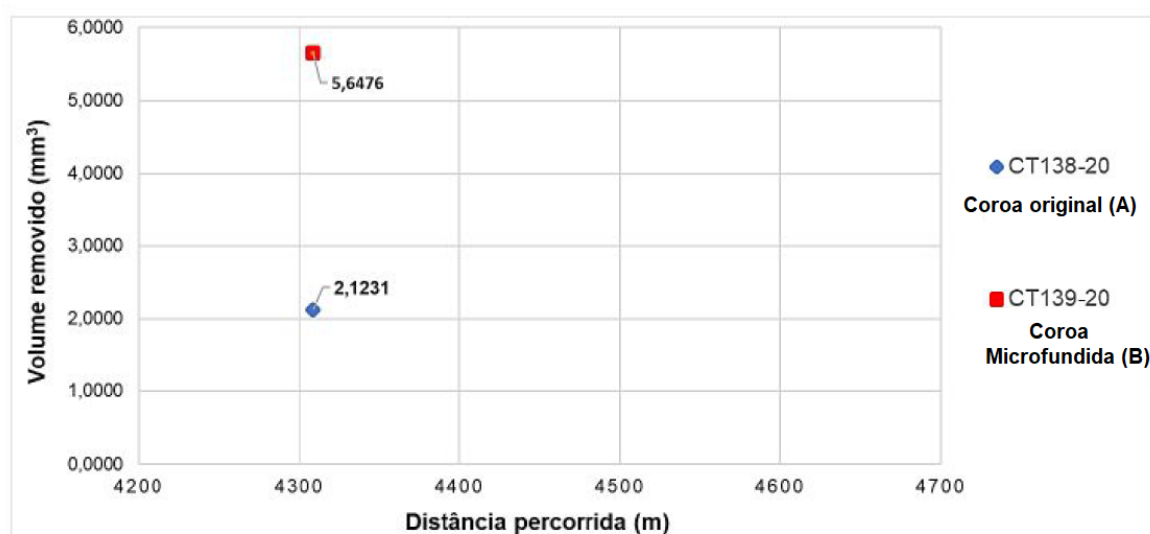
A média da perda de massa, foi calculada através do cálculo do volume removido (equação 1), com as densidades de cada um dos materiais. Na Tabela 10 pode-se verificar os valores das densidades (g/cm^3) para cada material analisado, perda de massa (g) e o volume removido. Podemos verificar também na Figura 54 o volume removido em função da distância linear abrasiva.

Tabela 10. Densidade, média da perda de massa e volume removido para as coroas

Identificação do laboratório	Identificação da coroa original / coroa microfundida	Densidade (g/cm^3)	Média da perda de massa (g)	Volume Removido (g)
CT138-20	Coroa Original (A)	7,85	0,01667	2,1231
CT139-20	Coroa Microfundida (B)	7,85	0,04433	5,6476

Fonte: Próprio autor

Figura 54. Média da perda de massa em função da distância percorrida (m) para as coroas



Fonte: Materiais Jr. (adaptada)

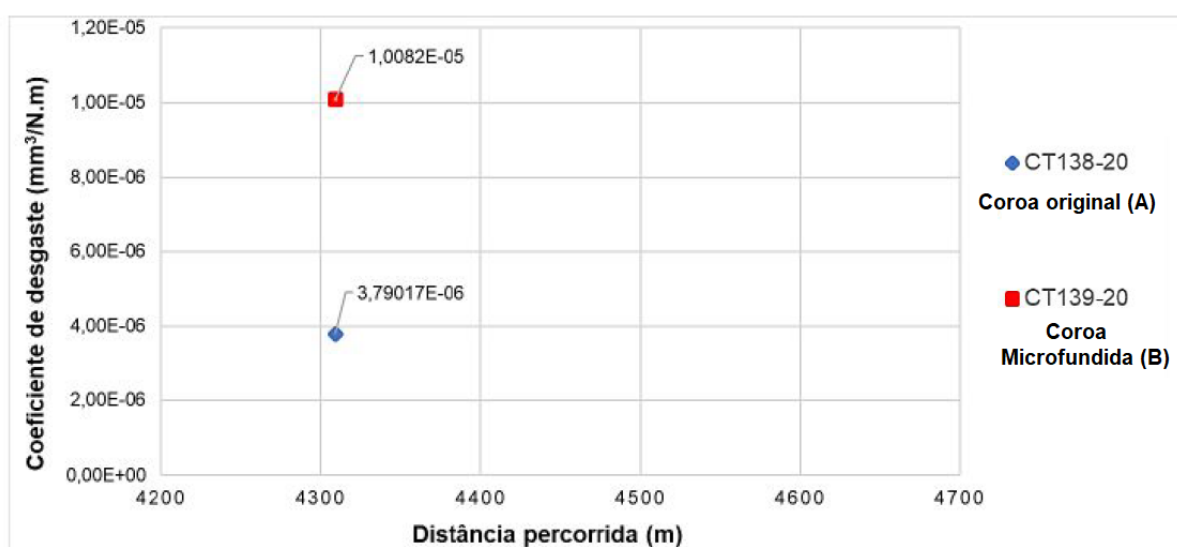
Através da norma ASTM G65-16e1, os valores típicos de volume removido para ensaios de roda de borracha e areia seca, devem estar $0,25 \text{ mm}^3$ a 250 mm^3 para que o procedimento seja considerado assertivo. E conforme podemos verificar na Figura 54, os valores encontrados estão dentro do previsto pela norma. Além disso, na Tabela 11 pode-se verificar o coeficiente de desgaste para ambas as coroas, seguidas pela Figura 55 com a apresentação dos resultados do coeficiente de desgaste em função da distância percorrida.

Tabela 11. Coeficiente de desgaste para as coroas.

Identificação do laboratório	Identificação da coroa original / coroa microfundida	Volume Removido (g)	Distância percorrida (m)	Carga (N)	Coeficiente de desgaste, K Densidade ($\text{mm}^3/\text{N.m}$)
CT138-20	Coroa Original (A)	2,1231	4309	2,1231	3,7901E-06
CT139-20	Coroa Microfundida (B)	5,6476	4390	5,6476	1,0082E-05

Fonte: Próprio autor

Figura 55. Coeficiente de desgaste em função da distância percorrida para coroas



Fonte: Materiais Jr. (adaptada)

Analisando os resultados obtidos pela Tabela 9 e com a representação gráfica da Figura 46, pode-se dizer que o material da coroa original SAE 4140 possui um comportamento melhor em relação ao desgaste abrasivo em comparação ao material da coroa microfundida SAE 8630. Conforme a Tabela 7 a coroa original possui durezas maiores que a coroa microfundida, podendo-se dizer que o volume de massa removido foi maior na coroa microfundida, resultando então em uma resistência menor ao desgaste abrasivo. As coroas possuem estrutura por martensita revenida e através do ensaio de desgaste abrasivo pode-se verificar o coeficiente de desgaste em função da distância percorrida e o volume removido, de acordo com o esperado os maiores valores de coeficiente de desgaste e de volume removido, e consequentemente a menor resistência ao desgaste foi encontrada na análise da coroa que tem uma estrutura martensítica revenida, com traços de bainita, a qual resultou em menor dureza.

6 CONCLUSÃO

Observando os resultados obtidos nos ensaios realizados nas coroas, foi possível concluir que:

- No teste em campo a coroa original (A) obteve um desempenho maior de acordo com o esperado, devido a sua maior dureza, entretanto a coroa microfundida (B) se apresenta tecnicamente como um material alternativo muito satisfatório.
- Através da análise da composição química do material SAE 4140 da coroa original (A), nota-se uma melhor resistência ao desgaste do que o material SAE 8630 da coroa microfundida (B), essa superioridade se evidenciou claramente no ensaio de desgaste abrasivo;
- Nos ensaios de análise estrutural dos materiais da coroa original (A) em relação a coroa microfundida (B), nota-se que a estrutura homogênea martensita revenida influencia em uma melhora na dureza do material, consequentemente resultando em uma maior resistência ao desgaste no produto final. Isso de fato comprova-se com a análise de dureza HRC da coroa original (A) sendo superior à da dureza da coroa microfundida (B);

7 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- Tornar o processo de têmpera e revenimento mais efetivo, fazendo com que o material SAE 8630 atinja uma dureza 50 a 57 HRc;
- Realizar novos estudos utilizando o material SAE 5260 ao invés do material SAE 8630.;
- Fabricar peças no SAE 8630 modificando o tratamento térmico de Têmpera e Revenimento para Carburização e Boronização e analisar seus desgastes;

REFERÊNCIAS

ABAF. 2019. **Associação Baiana das Empresas de Base Florestal**. Disponível: <http://www.abaf.org.br/wp-content/uploads/2019/06/Informativo-ABAF_maio-2019.pdf>. Acesso em 15 de Julho 2020.

ABIFA – **Associação Brasileira de Fundição**. Disponível em: <<http://www.abifa.org.br/wp-content/uploads/2020/01/12-DEZEMBRO-2017.pdf>>. Acesso em 08 de Janeiro de 2020.

AMABILINI, V.D Utilização do Harvester na exploração florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1., Belo Horizonte, 1991. **Anais**. Belo Horizonte, s., 1991. p. 349-364.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **ASM Handbook**, Vol. 4: Heat Treating. 10th ed., 1991.

ANAZAWA, Roberto Masato et al. Estudo comparativo das propriedades mecânicas em aços 4340 e 300M submetidos a tratamentos térmicos isotérmicos e intercríticos. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, v. 31, n. 1-2, p. 32-37, 2014.

ANDERSSON, S.; LAESTADIUS, L. Efficiency in highly mechanized wood harvesting systems. In: SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 1., 1987, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1987. p. 133-143.

ANDREUCCI, R. **Ensaio por ultrassom**, aplicação industrial, p. 4-11, 27-34, 2014.

Arce, J. E.; Macdonagh, P.; Friedl, R. A. **Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fiastes individuais**. Revista Árvore, v.28, n.2, p.383-391, 2004.

ASM Metals Handbook: **Properties and Selection: Iron, Steels, and High Performance Alloys**., vol. 1, 10th Edition (1994).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – **BRACELPA**. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121607/1/Apostila-Serie-TT-Eucalipto.pdf>>. Acesso em 06 de Janeiro de 2020.

ASTM A915/A915M - Gr. SC 8630. HANDBOOK, Steel Castings. Supplement 2, and 1999 Summary of Standard Specification for Steel Castings. **Steel Founder's Society of America, Prepared by the Specifications Committee Steel Founders' Society of America, Revised by David Poweleit**, 1999.pag. 20.

ASTM G65-16e1, Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.

BALDAN, Renato. **Processamento e caracterização de rotores automotivos da superliga MAR-M247**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BAYER, R.G., **Mechanical wear prediction and prevention**, Marcel Dekker, 657p., 1994.

BELÉM, Maria Júlia Xavier et al. Avaliação da resistência ao desgaste erosivo e abrasivo de revestimentos WC 12Co aplicados por aspersão térmica HVOF. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 1, 2020.

BERTOLA, A. **Eucalipto - 100 Anos de Brasil. "FALEM MAL, MAS CONTINUEM FALANDO DE MIM!"**. 2004. 89p.

Bhushan, B. (2001). **Modern Tribology Handbook, Two Volume Set**. Boca Raton: CRC Press, <https://doi.org/10.1201/9780849377877>.

BIDWELL, H. T. (Ed.). **Investment Casting Handbook**. Dallas, Texas: Investment Casting Institute, 1997. 123 p.

BISBALLE, Chad. **Harvester head assembly**. U.S. Patent n. 9,591,810, 14 mar. 2017.

BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de *Harvesters* na colheita florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 62-74, 2002.

BRANDELERO, Catize et al. Caracterização dos critérios técnicos para seleção de motosserras e eletrosserras. **Tecno-Lógica**, v. 23, n. 1, p. 1-7, 2019.

BROWN, Rafael Oliveira; DINIZ, Carlos César Cavassin. Colheita florestal e manutenção de equipamentos móveis. **Semana de Aperfeiçoamento em Engenharia Florestal UFPR**, v. 1, p. 01-41, 2017.

BRUM, Fábio José Bento. **Deceragem por microondas no processo de fundição de precisão** (microfusão). 2007.

COSTA, Oliveira - **Florestas Plantadas De Eucalipto No Brasil Uma Cultura Nociva Aos Recursos Hídricos?**. Verdades do Direito, Belo Horizonte, v.16, n.36, p.123-141, 2019.

COZZA, Ronaldo Câmara. **Estudo do comportamento do coeficiente de desgaste e dos modos de desgaste abrasivo em ensaios de desgaste micro-adesivo**. São Paulo, 2006. 192p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

DA COSTA, Antônio Claret. **Ensaio por ultrassom com as técnicas convencional A Scan e Phased Array em juntas soldadas dissimilares de aços carbono e aço inoxidável austenítico**. 2011.

DA COSTA VALENTE, Mariana Lima; DOS REIS, Andréa Cândido. PROCESSO DE FUNDIÇÃO. **MANUAL DE MATERIAIS DENTÁRIOS_2020**, p. 220. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5671955/mod_resource/content/1/Manual_2020.pdf#page=220>

DE LIMA, Diego Rodolfo Simões; YURGEL, Charles Chemale; SCHAEFFER, Lirio. **CARACTERIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA MICRODUREZA VICKERS NO PROCESSO DE FORJAMENTO DE ALUMÍNIO**. Disponível em: <<https://hospedagemphp.ufrgs.br/ldtm/wp-content/uploads/2018/07/2010-27-Lima-Yurgel-Schaeffer..pdf>>

DEGENHARDT-GOLDBACH, J.; QUISEN, R. C.; ALCÂNTARA, G. B. de. **Micropropagação de Pinus caribaea Morelet var. hondurensis Barr. & Golf**. Colombo: Embrapa Florestas, 2020. 9 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 447).

DO NASCIMENTO SANTOS, Diego Weslly Ferreira et al. Análise técnica e econômica de dois subsistemas de colheita de madeira de toras curtas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 13, n. 2, p. 5516, 2018.

ELIASSON, L. Simulation of thinning with a single-gripe harvester. **Forest Science**, v.45, n.1, p. 26-34, 1999.

Ferraz, Camila Porfirio Albuquerque. **Análise de impactos e danos ambientais para colheita florestal mecanizada em sistema de toras curtas** / Camila Porfirio. Albuquerque Ferraz. - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, 2020 76p.

FERREIRA, André Dominghetti et al. Manejo das árvores e propriedades da madeira em sistema de ILPF com eucalipto. **Embrapa Café-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2019.

Forest Engineering Southern Africa - **FESA - Chain Saw Handbook**. Disponível em: <
<https://www.icfr.ukzn.ac.za/sites/default/files/pubs/FESA%20Handbook%202015%20SA%20Chainsaw.pdf>>. Acesso em Agosto/2020.

Forest Service - **FS -Chain Saw and Crosscut Saw Training Course, 2006 Ed.** Disponível em:
 :<<https://www.fs.fed.us/td/pubs/pdfpubs/pdf06672805/pdf06672805dpi300.pdf>>.

GOMES, Marlos Henrique Alves. **Análise das propriedades mecânicas e tribológicas de um aço baixa-liga (C-Mn-Si-Cr) com 0,26% de carbono e microestrutura multiconstituída**. Dissertação (mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2016.

HASELGRUBER, F.; GRIEFFENHAGEN, K. F. G. **Motosserras**, mecânica e uso. Porto Alegre: Metrópole, 1986. 136 p.

IBÁ. 2019. **Indústria Brasileira de Árvores**. Disponível em: <<https://iba.org/arvores-plantadas>>. Acesso em 22 de Janeiro de 2020.

INVESTMENT CASTING. **The Investment Casting Institute**. Disponível em: <
https://www.investmentcasting.org/uploads/8/1/9/8/81988734/the_investment_casting_process_-_website.pdf>.

KOMATSU – **PRODUTOS**. Disponível em:
 <<https://www.komatsuforest.com.br/produtos/escavadeiras-florestais/pc200f-harvester>>. Acessado em 23 de Abril de 2020.

KUVIK, Tomáš et al. Impact of the selected factors on the cutting force when using a chainsaw. *Wood Res*, v. 62, p. 807-814, 2017.

LEITE, Douglas dos Santos. **Avaliação da utilização de casca cerâmica produzida com lama cerâmica primária e secundária de pó de telha reciclado no processo de microfusão**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LIMA, A. S.; SANT'ANNA, C. M. Estimativa de custo operacional da colheita de *Eucalyptus* em sistema de árvore inteira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE

EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 5., 2001, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: SIF, 2001. p. 309-321.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M P. Mecanização. In: MACHADO, C.C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Univesitária, 2002. p. 33-54.

LINHARES, M.; JÚNIOR, C. R. S.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F. M. **Eficiência e desempenho operacional de máquinas harvester e forwarder na colheita florestal**. *Pesquisa Agropecuária*, Goiânia, GO, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.

LOPES, E. S., et al. **Operações e manutenção de motosserras**: manual técnico Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2001.

LOPES, Miguel. **Estudo do comportamento ao desgaste de compósitos de Al-12Si/NbC desenvolvidos por deposição assistida por laser**. 2018. Tese de Doutorado.

MACDONAGH, P. M. **Avaliação técnico-econômica da extração de *Pinus ssp.* Utilizando tratores com garra no sul do Brasil**. 1994 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

MACHADO, C. C. **Planejamento e controle de custo na exploração florestal**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1984. 138 p.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. 543 p.

MACHADO, C.C **O setor florestal brasileiro**. In: MACHADO, C.C (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 468 p.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R. **Evoluções dos sistemas de colheita de *Pinus* na região sul do Brasil**. Curitiba, PR: FUPEF, 1998. 138 p.

MARQUES, Joyce Rodrigues. Otimização e validação de metodologia analítica para determinação de metais e semimetais em efluentes líquidos por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma de Argônio (ICP-OES) [dissertation]. **São Paulo**, 2015.

MCCONCHIE, M.; EVANSON, T. "LIRO Mechanization Research Review" (LMR) **LIRO Report**, 54 p., 1996.

MECHANICAL HARVESTING 2005 – **HANDBOOK**. Disponível em:<
https://www.tigercat.com/wp-content/uploads/2014/08/MechanicalHarvesting_2005.pdf>. Acesso em 20 de Agosto de 2020.

MENDES, Martha G. Gonçalves. ANÁLISE DE DIFERENTES MÉTODOS E PÂRAMENTROS DE PROCESSOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO DE PEÇAS DE ALUMÍNIO. In: **I Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica-EnICT**. 2016.

MIRANDA, Andre de. **Comparação de máquinas para corte florestal no sistema cut-to-length na região de Sengés-PR**. Trabalho de conclusão de curso de MBA, Universidade Federal do Paraná, 2016.

MORAES, Angelo Casali de. **Analysis of operator training in mechanized harvesting of planted forests**. 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal; Meio Ambiente e Conservação da Natureza; Silvicultura; Tecnologia e Utilização de) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

MOREIRA, José Mauro Magalhães Ávila Paz; SIMIONI, Flávio José; DE OLIVEIRA, Edilson Batista. Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 85-94, 2017.

NEALE, Michael J. (Ed.). **Lubrication and reliability handbook**. Newnes, 2001, B19 - Wear mechanisms, Pages 1-3.

NUCCI, José Eduardo. **Comportamento ao impacto dos aços SAE 4140 e SAE 01 sob diferentes condições de tratamento térmico: temperado e revenido (com e sem banho criogênico) e austemperado**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, Alessandro D.; CLAIN, Almir F. Estudo Comparativo da espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma indutivamente acoplado com a espectrometria de emissão atômica com fonte de centelha para análise quantitativa de aço. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 3, n. 1, p. 44-58, 2010.

OREGON, B. Saw Chain Manufacturing Corporation. Disponível em: <
https://www.oregonproducts.com/pt_br/part-finder>. Acesso em: 16 de Janeiro de 2020.

OTTONELLI, J. **Caracterização do uso e estado de conservação de motosserras de ciclo Otto 2 tempos**. 2017. 72 p. 2017. Tese de Doutorado. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola-Mestrado) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PARISE, D.; MALINOVSKI, J. R. Análise e reflexões sobre o desenvolvimento tecnológico da colheita florestal no Brasil. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 12., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF do Paraná, 2002. P. 78-109.

RABINOWICZ, E. **Friction and wear of materials**. 2. Ed. New York: John Wiley and Sons, 1995.

RAMALHO, A., MIRANDA, J.C., **The relationship between wear and dissipated energy in sliding systems**, *Wear*, p. 260, 361-367, 2006.

RICHARDSON, R.; MAKKONEN, I. **The performance of cut-to-length systems in eastern Canada**. **FERIC, Pointe-Claire**. Tech. Rep. TR-109: 16 [ISSN 03188-7063], 1994.

SAE J404 - 4140. BRINGAS, John E. **Handbook of comparative world steel standards**. ASTM International, 3rd 2004.

SALES, F. **O setor florestal avança para a mecanização**. *Silvicultura*, v.6, n.19, p.20-30, 1981.

SALMERON, A. **Mecanização da exploração florestal**. Piracicaba: IPEF, 1980. 10 p. (Circular técnica, 88).

SALMERON, A.; RIBEIRO, R.S Colheita mecanizada de eucaliptos em regiões acidentadas. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10., 1997, Curitiba. 1997. **Anais**. Curitiba: UFPr, FUPEF, 1997. P. 165-181.

SANT'ANNA, C. de M. Corte florestal. **Colheita florestal**, v. 2, p. 66-9, 2002.

SEIXAS, F. **Mecanização e exploração florestal**: notas de aula. Piracicaba: ESALQ, LCF, 1998. 125 p.

SILVA R. S.; FENNER P. T.; CATANEO A. Desempenho de máquinas florestais de colheita: derrubador-processador Slingshot sobre as esteiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 6., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFV; SIF, 2003. P. 267-279.

SIMÕES, Danilo. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. 2008.

SIMÕES, Danilo; FENNER, Paulo Torres; ESPERANCINI, Maura Seiko Tsutsui. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com harvester. **Scientia Forestalis**, p. 611-618, 2010.

SIQUEIRA, J.D.P. **A atividade florestal como um dos instrumentos de desenvolvimento do Brasil**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão 1990. Anais. Campos do Jordão: SBS, SBEF, 1990. P.15-18.

SNIF. 2018. **Sistema Nacional de Informações Florestais**. Disponível: <<http://snif.florestal.gov.br/pt-br/florestas-plantadas>>. Acesso em 15 de Janeiro de 2020.

SOUZA, Gisélia Alves de. **Caracterização microestrutural de um aço médio carbono e baixa liga (com estrutura bainítica/martensítica) via microscopia óptica**. 2006.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering tribology**. 4. ed. Elsevier, 2014.

STHIL, A. **Manejo Seguro e Rentável com Motosserras**: apostila. São Leopoldo/RS: Centro de Treinamento STHIL, 2004. 56 p.

STOETERAU, R.L. **Tribologia**. Florianópolis: UFSC, 171 p., 2004.

STREIT, M.; OLIVEIRA, M. S. M.; HASELGRUBER, F. Mecanização florestal. In: NAGY, J. L. (Coord). **Manual do técnico florestal**; apostilas do Colégio Florestal de Irati. Campo Largo, Ingra S.A., 1986. v. 2, 479 p.

SysFlor - Sistema de planejamento florestal (Certificações Florestais) - **Relatório da Avaliação de Recertificação florestal e Cadeia e Custódia desde a floresta até a saída do produto da empresa 2019**. Disponível em: <https://www.sysflor.com.br/wp-content/uploads/2019/12/CER-REL_RECERT-SuzanoS.A.-SP_2019_09122019-FIN_PUBLICO.pdf>.

TIBURCIO, VCS; SENE, JM de; CONDI, LGB. Colheita mecanizada: Avaliação do harvester e forwarder. In: **Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal**. 1995. p. 205-221.

TORRES, Carlos Marcelo Silva. **Inspeção Visual Automática de Peças Fundidas**. 2019. Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - FEUP (Faculdade de Engenharia Universidade do Porto).

TROMBINI, Mauricio. **Avaliação da técnica de ultrassom 'phased array' para a otimização do controle de qualidade em aços laminados e forjados**. 2015. 1 recurso online (119 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP.

VALE, Alan Rafael Menezes do. Tratamento térmico / Alan Rafael Menezes do Vale. Belém: IFPA ; Santa Maria : UFSM, 2011. 130p

VALVERDE, S. R. et al. Análise técnicoeconômica do corte de madeira com trator florestal derrubador-amontoador (feller-buncher) no sistema de colheita florestal de árvores inteiras de eucalipto. **Revista Árvore**, v.20, n.2, p.229-240, 1996.

VERLAG EUROPA-LEHRNITTEL. **Fachkunde Land-und Baumaschinentechnik** Haan-Gruiten. 2016. 832p. ISBN: 978-3-885-2007-9.

WADOUSKI, L. H. Fatores determinantes da produtividade e dos custos na colheita de madeira. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEIRA E TRANSPORTES FLORESTAL, 10., 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR; FUPEF, 1997. P. 77-84.

WILLIAMS, J. **Engineering tribology**. 1 ed. New York: Cambridge University Press, 2005.

ZUM GAHR, K.-H. **Microstructure and wear of materials**. Elsevier, 1987.

ANEXO A - Certificado de análise química após a microfundição.



MGFC Ind.Com.Micr.Imp.Exp.de peças Autom. Eireli Av. Oscar Pirajá Martins,1640- São João da Boa Vista
CNPJ: 03.594.475/0001-41 IE: 639070149116 / Tel: (19) 3638-2022



CERTIFICADO DE ANÁLISES

Nº: 0954/20

Data: 27/01/20

Ref. Liga:AÇO 8630

Operador: BRUNO

Cliente : GILSON RODRIGUES DOS
SANTOS PEREIRA
CNPJ:19.195.524/0001-03

PEÇA: COROA SERRA DE CORTE

Isto é para certificar que o material

QT PÇS: 4

Amostra: 0954/20
NF: 64190 (14/02/20)

tem esta análise química:

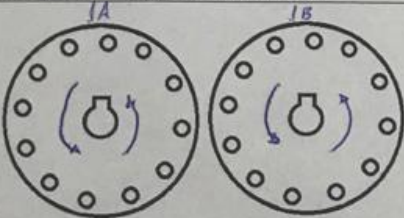
	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%	
	0.330	0.201	0.808	0.016	0.016	0.415	0.158	0.472	
	0.280	0.150	0.700	-----	-----	0.400	0.150	0.400	
	0.330	0.350	0.900	-----	-----	0.600	0.250	0.700	

Notas : *Fe - BAL

Gerenciador C.Q. : _____

APÊNDICE A - Relatório de ensaio por ultrassom da coroa original (A)

RELATÓRIO DE ENSAIO POR ULTRASSOM

CLIENTE: DANIEL TAGLIAPIETRA								RELATÓRIO N° FOLHA 01 DE 01			
MATERIAL: SAE 4140		N° C.P.: 02 ORIGINAL			CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE: ESCOVADA						
APARELHO		FABRICANTE: GILARDONI			MODELO: PDG-2000		N° SERIE: 067026003				
CABECOTE						DADOS DE CALIBRAÇÃO					
TIPO	FABRICANTE	MODELO	N° SERIE	DIMENSÕES (mm)	ANG. REAL	FREQ. (MHz)	ESPESSURA DA PEÇA (mm)	ESPESSURA DO BLOCO (mm)	GP	PT	GV
DUPLO-CRISTAL											
NORMAL	SIUI	P4-10L	1170462	10	0°	4	12	25	34.8	-	34.80%
ANGULAR							(11,9)				
ANGULAR											
ANGULAR											
CROQUI - SUPERFÍCIE DE VARREDURA											
						POSICÃO	SE	N	45°	60°	70°
						A		X			
						B		X			
DESCONTINUIDADE											
N°	CABECOTE	AMP (db)	LOCAL (mm)	COMPRIMENTO (mm)	PROF. (mm)	PERCURSO SON. (mm)	DISTÂNCIA REFERÊNCIA (mm)	SUP. RF DETECÇÃO	IDENTIF. DESCONT.	LAUDO	OBS:
LEGENDA:						OBSERVAÇÕES:					
A: APROVADO											
R: REPROVADO											
NEC: NECESSARIO EXAME COMPLEMENTAR											
GP: GANHO PRIMARIO											
PT: PERDA POR TRANSFERENCIA											
GV: GANHO											
☒ APROVADO ☐ REPROVADO ☐ NEC											
NOME DO INSPECTOR: Pedro Henrique Eustáquio						NUMERO: 10673					
DATA: 07/09/20		ASSINATURA INSP.: Pedro H. Eustáquio				ASSINATURA RESPONSÁVEL: Pedro H. Eustáquio					

APÊNDICE B - Relatório de ensaio por ultrassom da coroa microfundida (B)

RELATÓRIO DE ENSAIO POR ULTRASSOM

CLIENTE: Daniel Tagliabue								RELATÓRIO N°			
MATERIAL: SAE 8630								FOLHA DE			
APARELHO		FABRICANTE: GILARDONI		MODELO: PD6-2000		N° SÉRIE: 067026003		CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE: ESCOVADA			

CABEÇOTE						DADOS DE CALIBRAÇÃO					
TIPO	FABRICANTE	MODELO	N° SÉRIE	DIMENSÕES (mm)	ANG. REAL	FREQ. (MHz)	ESPESSURA DA PEÇA (mm)	ESPESSURA DO BLOCO (mm)	GP	PT	GV
DUPLO-CRISTAL											
NORMAL	SIUI	P4-10L	1120420	10	0°	4MHz	12	25	358	—	34,80
ANGULAR							(11,8)				
ANGULAR											
ANGULAR											

CROQUI – SUPERFÍCIE DE VARREDURA

POSIÇÃO	SE	N	45°	60°	70°
1A		X			
1B		X			

DESCONTINUIDADE											
N°	CABEÇOTE	AMP (db)	LOCAL (mm)	COMPRIMENTO (mm)	FROF. (mm)	PERCURSO SON. (mm)	DISTÂNCIA REFERÊNCIA (mm)	SUP. RF DETECÇÃO	IDENTF. DESCONT.	LAUDO	OBS:

LEGENDA:

A: APROVADO

R: REPROVADO

NEC: NECESSARIO EXAME COMPLEMENTAR

GP: GANHO PRIMARIO

PT: PERDA POR TRANSFERÊNCIA

GV: GANHO

OBSERVAÇÕES:

☒ APROVADO
☐ REPROVADO
☐ NEC

NOME DO INSPECTOR: Pedro Henrique Furtado	NUMERO: 10633
DATA: 07/09/20	ASSINATURA RESPONSÁVEL: Pedro H. Furtado

APÊNDICE C - Relatório de Análises / Ensaios da coroa original (A) - 01 e corpo de prova 01 (CPA-01).



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº00541-20



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - PEDERNEIRAS- SP

1. IDENTIFICAÇÕES DA(S) AMOSTRA(S) (SAMPLE IDENTIFICATION):

- Amostra (Sample): Coroa original
- Material (Material): Não especificado
- Documento(s) (Documents): Proposta Comercial Nº 000005/20A
- Fornecedor Declarado (Declared Supplier): Não aplicável
- Análises/Ensaios (Analysis/Tests): Metalográfico, Mecânico, Químico (Metallographic, Mechanical, Chemical)
- Data da abertura da Ordem de serviço (Date of opening of the service order): 07/02/2020

2. NORMAS / DESENHOS / ESPECIFICAÇÕES DE REFERÊNCIA (STANDARDS / DRAWINGS / REFERENCE SPECIFICATIONS):

- Análise Micrográfica (Micrographic Analysis): ASTM E3-11 (2017) / ASTM E7-17 / ASTM E407-07 (2015)e1
- Análise Macrográfica (Macrographic Analysis): ASTM E3-11 (2017) / ASTM E7-17 / ASTM E340-15
- Ensaio de Dureza Rockwell (Rockwell Hardness Test): ASTM E18-18a
- Ensaio de Microdureza Vickers (Vickers Microhardness Test): ASTM E384-17 / ASTM E92-17 / ASTM E140-12be1
- Análise Química via Espectrometria por Emissão Óptica (Chemical Analysis Through Optical Emission Spectrometry): ASTM A751-14a

3. RESULTADOS (RESULTS):

3.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO (PHOTOGRAPHIC REGISTER):

Fotografia da amostra como recebida.
(Photograph of the sample as received.)



Figura 01 (Figure 01)

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):
TM-32-1 - MÁQUINA FOTOGRÁFICA

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 07/02/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING):

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaios são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE - Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 I.N.S.C. ESTADUAL: 535.560.780.119

AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALEMÃES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Roginei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Maurício Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 1 de 4
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	--	--	---	---------------------



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº00541-20



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - PEDERNEIRAS- SP

3.2 ANÁLISE MICROGRÁFICA (MICROGRAPHIC ANALYSIS):

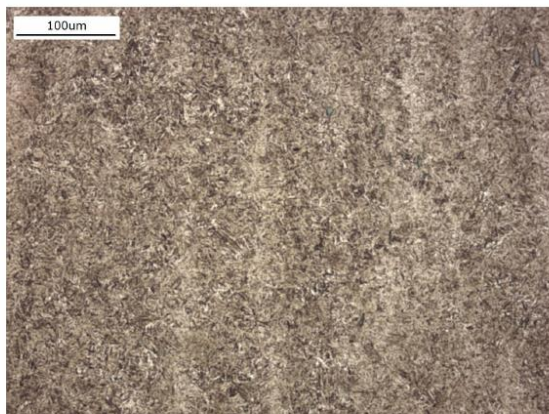


Figura 02 - Aumento utilizado: 200X
(Figure 02 - Magnification: 200X)

REGIÃO 01 - COMPONENTE 01

MICROESTRUTURA (MICROSTRUCTURE)

Micrografia realizada no núcleo mostra uma microestrutura composta por uma matriz martensítica revenida, típica de um aço temperado e revenido. A superfície da amostra apresentou uma microestrutura idêntica a do núcleo.



Figura 03 - Aumento utilizado: 200X
(Figure 03 - Magnification: 200X)

REGIÃO 02 - COMPONENTE 02

MICROESTRUTURA (MICROSTRUCTURE)

Micrografia realizada no núcleo mostra uma microestrutura composta por uma matriz martensítica revenida, típica de um aço temperado e revenido. A superfície da amostra apresentou uma microestrutura idêntica a do núcleo.

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-05 - MICROSCÓPIO ÓPTICO - Certificado de calibração RBC - Nº 10832-109 - Data da calibração 22/02/2019 - Próxima calibração 02/2024

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-05 - ANÁLISE METALOGRAFICA

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S) (DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING): 17/02/2020

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaios são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE- Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 | INSC. ESTADUAL: 535.560.780.119
AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALBEMARES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Roginei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Maurício Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 2 de 4
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	--	--	---	---------------------



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº00541-20



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - PEDERNEIRAS- SP

3.3 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL (ROCKWELL HARDNESS TEST):

AMOSTRA (SAMPLE)	REGIÃO (REGION)	RESULTADOS, HRC (RESULTS, HRC)			
		Nº DE PONTOS (NUMBER OF POINTS)			MÉDIA DOS PONTOS (AVERAGE POINTS)
		1	2	3	
1	SUPERFÍCIE (SURFACE)	52	51	52	52
	NÚCLEO (CENTER)	53	53	52	53
2	SUPERFÍCIE (SURFACE)	51	52	52	52
	NÚCLEO (CENTER)	53	52	51	52

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-02 - DURÔMETRO UNIVERSAL - Certificado de Calibração RBC - Nº 59367-109 / Nº 59368-109 - Data da calibração: 21/10/19 - Próxima calibração: 10/2020
TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 36289-109 - Data da calibração: 07/07/19 - Próxima calibração: 07/2020

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-02 - ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 23°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 17/02/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

3.4 PROFUNDIDADE DA CAMADA (LAYER DEPTH):

PROFUNDIDADE DA CAMADA EM 550HV1 (DEPTH LAYER IN 550HV1)	
REGIÃO (REGION)	PROFUNDIDADE, mm (DEPTH, mm)
CAMADA DE INDUÇÃO (INDUCTION LAYER)	Não foi evidenciada a presença de camada endurecida

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-04 - MICRO-MACRODURÔMETRO VICKERS - Certificado de Calibração RBC - Nº 26.152/19 - Data da calibração: 30/09/19 - Próxima calibração: 09/2020
TM-04-1 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 41905-109 - Data da calibração: 15/07/19 - Próxima calibração: 07/2020
TM-04-2 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 43762-109 - Data da calibração: 25/07/19 - Próxima calibração: 07/2020
TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 36289-109 - Data da calibração: 07/07/19 - Próxima calibração: 07/2020

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-03 - ENSAIO DE DUREZA VICKERS

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 23°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 17/02/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaios são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE - Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 | INSC. ESTADUAL: 535.560.780.119
AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALMEIDAES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Roginei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Maurício Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 3 de 4
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	--	--	---	---------------------



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS
(REPORT ANALYSIS/TESTS)
Nº00541-20



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - PEDERNEIRAS- SP

3.5 ANÁLISE QUÍMICA - % EM MASSA (CHEMICAL ANALYSIS - % BY WEIGHT):

ELEMENTOS (ELEMENTS)	C	Si	Mn	P	S	Cr
OBTIDO (OBTAINED)	0,41	0,240	0,93	0,019	0,034	1,00
ELEMENTOS (ELEMENTS)	Ni	Mo	Al	Cu	V	Fe
OBTIDO (OBTAINED)	0,115	0,18	0,021	0,139	0,0057	BASE

Interpretação: A composição química atende ao especificado da norma SAE J404 – Jan.09 – Material SAE 4140.

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS): ESPECTRÔMETRO DE EMISSÃO ÓPTICA ESPECTROMAXX	ND= NÃO DETECTADO / NA= NÃO ANALISADO (ND= NOT DETECTED / NA= NOT ANALYZED)
PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE): PTO-31-ANÁLISE QUÍMICA	
CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 21°C (AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C.)	DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 18/02/2020 (DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Piracicaba, 18 de Fevereiro de 2020.
(Piracicaba, February 18, 2020.)


ASSINATURA DIGITAL
Engº. Maurício Saito
GERENTE TÉCNICO (TECHNICAL MANAGER)
CREA Nº 5060223291
SIGNATÁRIO AUTORIZADO (AUTHORIZED SIGNATOR)

Fim do Relatório

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaios são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE- Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 | INSC. ESTADUAL: 535.560.780.119
AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALEMÃES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Roginei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Maurício Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 4 de 4
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	--	--	---	---------------------

APÊNDICE D – Ensaio de dureza da coroa original (A) - 02 e corpo de prova 02 (CPA-02).



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº04126-20-1



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - PEDERNEIRAS- SP

1. IDENTIFICAÇÕES DA(S) AMOSTRA(S) (SAMPLE IDENTIFICATION):

- **Amostra** (Sample): Coroa original 1
- **Material** (Material): Não especificado
- **Documento(s)** (Documents): Solicitação de Ensaios – 16/10/2020
- **Fornecedor Declarado** (Declared Supplier): Não aplicável
- **Análises/Ensaio(s)** (Analysis/Tests): Metalográfico, Mecânico, Químico (Metallographic, Mechanical, Chemical)
- **Data da abertura da Ordem de serviço** (Date of opening of the service order): 19/02/2020

2. NORMAS / DESENHOS / ESPECIFICAÇÕES DE REFERÊNCIA (STANDARDS / DRAWINGS / REFERENCE SPECIFICATIONS):

- **Ensaio de Dureza Rockwell** (Rockwell Hardness Test): ASTM E18-18a
- **Ensaio de Microdureza Vickers** (Vickers Microhardness Test): ASTM E384-17 / ASTM E92-17 / ASTM E140-12be1

3. RESULTADOS (RESULTS):

3.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO (PHOTOGRAPHIC REGISTER):

Fotografia das amostras como recebidas.
(Photograph of the samples as received.)



Figura 01 (Figure 01)

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):
TM-32-1 - MÁQUINA FOTOGRÁFICA

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 19/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaio são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE - Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 I.N.S.C. ESTADUAL: 535.560.780.119

AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALEMÃES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Roginei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Maurício Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 1 de 2
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	--	--	---	---------------------



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº04126-20-1



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - Pederneiras- SP

3.2 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL (ROCKWELL HARDNESS TEST):

AMOSTRA (SAMPLE)	REGIÃO (REGION)	RESULTADOS, HRC (RESULTS, HRC)			MÉDIA DOS PONTOS (AVERAGE POINTS)
		Nº DE PONTOS (NUMBER OF POINTS)	1	2	3
1	SUPERFÍCIE (SURFACE)	55	54	55	55
	NÚCLEO (CENTER)	56	55	55	55

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-02 - DURÔMETRO UNIVERSAL - Certificados de Calibração RBC - Nº 59367-109 / Nº 59368-109 - Data das calibrações: 21/10/19 - Próxima calibração: 10/2020
TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39054-200 - Data da calibração: 03/07/20 - Próxima calibração: 07/2021

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-02 - ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 23°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 20/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

3.3 PROFUNDIDADE DA CAMADA (LAYER DEPTH):

PROFUNDIDADE DA CAMADA EM 550HV1 (DEPTH LAYER IN 550HV1)	
REGIÃO (REGION)	PROFUNDIDADE, mm (DEPTH, mm)
CAMADA DE INDUÇÃO (INDUCTION LAYER)	Não foi evidenciada a presença de camada endurecida

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-04 - MICRO-MACRODURÔMETRO VICKERS - Certificado de Calibração RBC - Nº 27.655-20 - VAL. 09-2021 - Data da calibração: 24/09/20 - Próxima calibração: 09/2021
TM-04-1 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39878-200 - Data da calibração: 06/07/20 - Próxima calibração: 07/2021
TM-04-2 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 43027-200 - Data da calibração: 15/07/20 - Próxima calibração: 07/2021
TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39054-200 - Data da calibração: 03/07/20 - Próxima calibração: 07/2021

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-03 - ENSAIO DE DUREZA VICKERS

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 23°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 20/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Piracicaba, 20 de Outubro de 2020.
(Piracicaba, October 20, 2020.)

ASSINATURA DIGITAL

Engº. Maurício Saito

GERENTE TÉCNICO (TECHNICAL MANAGER)

CREA Nº 5060223291

SIGNATÁRIO AUTORIZADO (AUTHORIZED SIGNATOR)

Fim do Relatório

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaios são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE - Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 | INSC. ESTADUAL: 535.560.780.119
AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALBEMES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Rognei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Maurício Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 2 de 2
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	---	--	---	---------------------

APÊNDICE E – Ensaio de dureza da coroa original (A) - 03 e corpo de prova 03 (CPA-03).



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº04126-20-2



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - PEDERNEIRAS- SP

1. IDENTIFICAÇÕES DA(S) AMOSTRA(S) (SAMPLE IDENTIFICATION):

- **Amostra** (Sample): Coroa original 2
- **Material** (Material): Não especificado
- **Documento(s)** (Documents): Solicitação de Ensaios – 16/10/2020
- **Fornecedor Declarado** (Declared Supplier): Não aplicável
- **Análises/Ensaio(s)** (Analysis/Tests): Metalográfico, Mecânico, Químico (Metallographic, Mechanical, Chemical)
- **Data da abertura da Ordem de serviço** (Date of opening of the service order): 19/02/2020

2. NORMAS / DESENHOS / ESPECIFICAÇÕES DE REFERÊNCIA (STANDARDS / DRAWINGS / REFERENCE SPECIFICATIONS):

- **Ensaio de Dureza Rockwell** (Rockwell Hardness Test): ASTM E18-18a
- **Ensaio de Microdureza Vickers** (Vickers Microhardness Test): ASTM E384-17 / ASTM E92-17 / ASTM E140-12be1

3. RESULTADOS (RESULTS):

3.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO (PHOTOGRAPHIC REGISTER):

Fotografia das amostras como recebidas.
(Photograph of the samples as received.)



11 12 13 14 15 16 17 18 19

Figura 01 (Figure 01)

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):
TM-32-1 - MÁQUINA FOTOGRÁFICA

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 19/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaio são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE - Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 I N S C. ESTADUAL: 535.560.780.119

AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALEMÃES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Roginei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Maurício Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 1 de 2
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	--	--	---	---------------------



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº04126-20-2



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - Pederneiras- SP

3.2 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL (ROCKWELL HARDNESS TEST):

AMOSTRA (SAMPLE)	REGIÃO (REGION)	RESULTADOS, HRC (RESULTS, HRC)			MÉDIA DOS PONTOS (AVERAGE POINTS)
		Nº DE PONTOS (NUMBER OF POINTS)	1	2	3
2	SUPERFÍCIE (SURFACE)	54	54	55	54
	NÚCLEO (CENTER)	54	54	55	54

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-02 - DURÔMETRO UNIVERSAL - Certificado de Calibração RBC - Nº 59367-109 / Nº 59368-109 - Data das calibrações: 21/10/19 - Próxima calibração: 10/2020
TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39054-200 - Data da calibração: 03/07/20 - Próxima calibração: 07/2021

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-02 - ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 23°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 20/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

3.3 PROFUNDIDADE DA CAMADA (LAYER DEPTH):

PROFUNDIDADE DA CAMADA EM 550HV1 (DEPTH LAYER IN 550HV1)	
REGIÃO (REGION)	PROFUNDIDADE, mm (DEPTH, mm)
CAMADA DE INDUÇÃO (INDUCTION LAYER)	Não foi evidenciada a presença de camada endurecida

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-04 - MICRO-MACRODURÔMETRO VICKERS - Certificado de Calibração RBC - Nº 27.655-20 - VAL. 09-2021 - Data da calibração: 24/09/20 - Próxima calibração: 09/2021
TM-04-1 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39878-200 - Data da calibração: 06/07/20 - Próxima calibração: 07/2021
TM-04-2 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 43027-200 - Data da calibração: 15/07/20 - Próxima calibração: 07/2021
TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39054-200 - Data da calibração: 03/07/20 - Próxima calibração: 07/2021

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-03 - ENSAIO DE DUREZA VICKERS

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 23°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 20/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Piracicaba, 20 de Outubro de 2020.
(Piracicaba, October 20, 2020.)

ASSINATURA DIGITAL

Eng.º Maurício Saito

GERENTE TÉCNICO (TECHNICAL MANAGER)

CREA Nº 5060223291

SIGNATÁRIO AUTORIZADO (AUTHORIZED SIGNATOR)

Fim do Relatório

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaios são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE - Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 | INSC. ESTADUAL: 535.560.780.119
AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALBEMES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código
RQ-48-1

Revisão
01

Data Revisão
16/05/2018

Referência(s)
PSGQ-17

Elaboração: Roginei L. Santos
Gerente da Qualidade (GQ)

Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa
Supervisor Técnico (ST)

Aprovação: Maurício Saito
Gerente Técnico (GT)

Página(s)
2 de 2

APÊNDICE F - Relatório de Análises / Ensaios da coroa microfundida (B) - 01 e corpo de prova 01 (CPM-01).



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº00542-20



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - PEDERNEIRAS- SP

1. IDENTIFICAÇÕES DA(S) AMOSTRA(S) (SAMPLE IDENTIFICATION):

- **Amostra** (Sample): Coroa com tratamento
- **Material** (Material): Não especificado
- **Documento(s)** (Documents): Proposta Comercial Nº 000005/20A
- **Fornecedor Declarado** (Declared Supplier): Não aplicável
- **Análises/Ensaios** (Analysis/Tests): Metalográfico, Mecânico, Químico (Metallographic, Mechanical, Chemical)
- **Data da abertura da Ordem de serviço** (Date of opening of the service order): 07/02/2020

2. NORMAS / DESENHOS / ESPECIFICAÇÕES DE REFERÊNCIA (STANDARDS / DRAWINGS / REFERENCE SPECIFICATIONS):

- **Análise Micrográfica** (Micrographic Analysis): ASTM E3-11 (2017) / ASTM E7-17 / ASTM E407-07 (2015)e1
- **Análise Macrográfica** (Macrographic Analysis): ASTM E3-11 (2017) / ASTM E7-17 / ASTM E340-15
- **Ensaio de Dureza Rockwell** (Rockwell Hardness Test): ASTM E18-18a
- **Ensaio de Microdureza Vickers** (Vickers Microhardness Test): ASTM E384-17 / ASTM E92-17 / ASTM E140-12be1
- **Análise Química via Espectrometria por Emissão Óptica** (Chemical Analysis Through Optical Emission Spectrometry): ASTM A751-14a

3. RESULTADOS (RESULTS):

3.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO (PHOTOGRAPHIC REGISTER):

Fotografia da amostra como recebida.
(Photograph of the sample as received.)



Figura 01 (Figure 01)

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):
TM-32-1 - MÁQUINA FOTOGRÁFICA

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 07/02/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaios são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE - Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 I.N.S.C. ESTADUAL: 535.560.780.119

AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALEMÃES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Rognei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Maurício Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 1 de 3
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	---	--	---	---------------------



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº00542-20



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - Pederneiras- SP

3.2 ANÁLISE MICROGRÁFICA (MICROGRAPHIC ANALYSIS):



Figura 02 - Aumento utilizado: 200X
(Figure 02 - Magnification: 200X)

MICROESTRUTURA (MICROSTRUCTURE)

Micrografia realizada no núcleo mostra uma microestrutura composta por uma matriz martensítica revenida com presença característica de traços de bainita, típica de um aço temperado e revenido. A superfície da amostra apresentou uma microestrutura idêntica a do núcleo.

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-05 - MICROSCÓPIO ÓPTICO - Certificado de calibração RBC - Nº 10832-109 - Data da calibração 22/02/2019 - Próxima calibração 02/2024

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-05 - ANÁLISE METALOGRAFICA

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S) (DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING): 17/02/2020

3.3 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL (ROCKWELL HARDNESS TEST):

REGIÃO (REGION)	RESULTADOS, HRC (RESULTS, HRC)			
	Nº DE PONTOS (NUMBER OF POINTS)			MÉDIA DOS PONTOS (AVERAGE POINTS)
	1	2	3	
SUPERFÍCIE (SURFACE)	46	46	45	46
NÚCLEO (CENTER)	46	47	46	46

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-02 - DURÔMETRO UNIVERSAL - Certificados de Calibração RBC - Nº 59367-109 / Nº 59368-109 - Data das calibrações: 21/10/19 - Próxima calibração: 10/2020

TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 36289-109 - Data da calibração: 07/07/19 - Próxima calibração: 07/2020

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-02 - ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 23°C

(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 17/02/2020

(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaios são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE - Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 | INSC. ESTADUAL: 535.560.780.119
AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALMEIRES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código
RQ-48-1

Revisão
01

Data Revisão
16/05/2018

Referência(s)
PSGQ-17

Elaboração: Roginei L. Santos
Gerente da Qualidade (GQ)

Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa
Supervisor Técnico (ST)

Aprovação: Maurício Saito
Gerente Técnico (GT)

Página(s)
2 de 3



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº00542-20



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.

Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - PEDERNEIRAS- SP

3.4 PROFUNDIDADE DA CAMADA (LAYER DEPTH):

PROFUNDIDADE DA CAMADA EM 550HV1 (DEPTH LAYER IN 550HV1)	
REGIÃO (REGION)	PROFUNDIDADE, mm (DEPTH, mm)
CAMADA DE INDUÇÃO (INDUCTION LAYER)	Não foi evidenciada a presença de camada endurecida

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-04 - MICRO-MACRODURÔMETRO VICKERS - Certificado de Calibração RBC - Nº 26.152/19 - Data da calibração: 30/09/19 - Próxima calibração: 09/2020
 TM-04-1 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 41905-109 - Data da calibração: 15/07/19 - Próxima calibração: 07/2020
 TM-04-2 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 43762-109 - Data da calibração: 25/07/19 - Próxima calibração: 07/2020
 TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 36289-109 - Data da calibração: 07/07/19 - Próxima calibração: 07/2020

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-03 - ENSAIO DE DUREZA VICKERS

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 23°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 17/02/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

3.5 ANÁLISE QUÍMICA - % EM MASSA (CHEMICAL ANALYSIS - % BY WEIGHT):

ELEMENTOS (ELEMENTS)	C	Si	Mn	P	S	Cr
OBTIDO (OBTAINED)	0,31	0,550	0,822	0,017	0,010	0,461
ELEMENTOS (ELEMENTS)	Ni	Mo	Al	Cu	V	Fe
OBTIDO (OBTAINED)	0,496	0,219	0,040	0,032	ND	BASE

Interpretação: A composição química atende ao especificado da norma ASTM A915/A915M - Gr. SC 8630.

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

ESPECTRÔMETRO DE EMISSÃO ÓPTICA ESPECTROMAXX

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-31-ANÁLISE QUÍMICA

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 21°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

ND = NÃO DETECTADO / NA = NÃO ANALISADO
(ND = NOT DETECTED / NA = NOT ANALYZED)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 12/02/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Piracicaba, 17 de Fevereiro de 2020.
(Piracicaba, February 17 2020.)

ASSINATURA DIGITAL

Engº, Maurício Saito

GERENTE TÉCNICO (TECHNICAL MANAGER)

CREA Nº 5060223291

SIGNATÁRIO AUTORIZADO (AUTHORIZED SIGNATOR)

Fim do Relatório

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaios são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE - Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 | INSC. ESTADUAL: 535.560.780.119

AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALEMÃES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Roginei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Maurício Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 3 de 3
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	--	--	---	---------------------

APÊNDICE G – Ensaio de dureza da coroa microfundida (B) - 02 e corpo de prova 02 (CPM-02)



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº04125-20-2



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - PEDERNEIRAS- SP

1. IDENTIFICAÇÕES DA(S) AMOSTRA(S) (SAMPLE IDENTIFICATION):

- **Amostra (Sample):** Coroa microfundida 2
- **Material (Material):** Não especificado
- **Documento(s) (Documents):** Solicitação de Ensaios – 16/10/2020
- **Fornecedor Declarado (Declared Supplier):** Não aplicável
- **Análises/Ensaios (Analysis/Tests):** Metalográfico, Mecânico, Químico (Metallographic, Mechanical, Chemical)
- **Data da abertura da Ordem de serviço (Date of opening of the service order):** 19/02/2020

2. NORMAS / DESENHOS / ESPECIFICAÇÕES DE REFERÊNCIA (STANDARDS / DRAWINGS / REFERENCE SPECIFICATIONS):

- **Ensaio de Dureza Rockwell (Rockwell Hardness Test):** ASTM E18-18a
- **Ensaio de Microdureza Vickers (Vickers Microhardness Test):** ASTM E384-17 / ASTM E92-17 / ASTM E140-12be1

3. RESULTADOS (RESULTS):

3.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO (PHOTOGRAPHIC REGISTER):

Fotografia das amostras como recebidas.
(Photograph of the samples as received.)



Figura 01 (Figure 01)

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):
TM-32-1 - MÁQUINA FOTOGRÁFICA

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 19/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaio são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE- Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 | INSC. ESTADUAL: 535.560.780.119

AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALEMÃES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Roginei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Maurício Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 1 de 2
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	--	--	---	---------------------



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº04125-20-2



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - Pederneiras- SP

3.2 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL (ROCKWELL HARDNESS TEST):

AMOSTRA (SAMPLE)	REGIÃO (REGION)	RESULTADOS, HRC (RESULTS, HRC)			
		Nº DE PONTOS (NUMBER OF POINTS)			MÉDIA DOS PONTOS (AVERAGE POINTS)
		1	2	3	
2	SUPERFÍCIE (SURFACE)	45	45	45	45
	NÚCLEO (CENTER)	45	45	45	45

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-02 - DURÔMETRO UNIVERSAL - Certificados de Calibração RBC - Nº 59367-109 / Nº 59368-109 - Data das calibrações: 21/10/19 - Próxima calibração: 10/2020
TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39054-200 - Data da calibração: 03/07/20 - Próxima calibração: 07/2021

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-02 - ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 24°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 20/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

3.3 PROFUNDIDADE DA CAMADA (LAYER DEPTH):

PROFUNDIDADE DA CAMADA EM 550HV1 (DEPTH LAYER IN 550HV1)	
REGIÃO (REGION)	PROFUNDIDADE, mm (DEPTH, mm)
CAMADA DE INDUÇÃO (INDUCTION LAYER)	Não foi evidenciada a presença de camada endurecida

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-04 - MICRO-MACRODURÔMETRO VICKERS - Certificado de Calibração RBC - Nº 27.655-20 - VAL. 09-2021 - Data da calibração: 24/09/20 - Próxima calibração: 09/2021
TM-04-1 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39878-200 - Data da calibração: 06/07/20 - Próxima calibração: 07/2021
TM-04-2 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 43027-200 - Data da calibração: 15/07/20 - Próxima calibração: 07/2021
TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39054-200 - Data da calibração: 03/07/20 - Próxima calibração: 07/2021

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-03 - ENSAIO DE DUREZA VICKERS

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 23°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 20/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Piracicaba, 20 de Outubro de 2020.
(Piracicaba, October 20, 2020.)

ASSINATURA DIGITAL

Engº. Mauricio Saito

GERENTE TÉCNICO (TECHNICAL MANAGER)
CREA Nº 5060223291

SIGNATÁRIO AUTORIZADO (AUTHORIZED SIGNATOR)

Fim do Relatório

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaios são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE- Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 | INSC. ESTADUAL: 535.560.780.119
AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALEMÃES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Roginei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Mauricio Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 2 de 2
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	--	--	---	---------------------

APÊNDICE H – Ensaio de dureza da coroa microfundida (B) - 03 e corpo de prova 03 (CPM-03)



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº04125-20-3



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - PEDERNEIRAS- SP

1. IDENTIFICAÇÕES DA(S) AMOSTRA(S) (SAMPLE IDENTIFICATION):

- **Amostra** (Sample): Coroa microfundida 3
- **Material** (Material): Não especificado
- **Documento(s)** (Documents): Solicitação de Ensaios – 16/10/2020
- **Fornecedor Declarado** (Declared Supplier): Não aplicável
- **Análises/Ensaio(s)** (Analysis/Tests): Metalográfico, Mecânico, Químico (Metallographic, Mechanical, Chemical)
- **Data da abertura da Ordem de serviço** (Date of opening of the service order): 19/02/2020

2. NORMAS / DESENHOS / ESPECIFICAÇÕES DE REFERÊNCIA (STANDARDS / DRAWINGS / REFERENCE SPECIFICATIONS):

- **Ensaio de Dureza Rockwell** (Rockwell Hardness Test): ASTM E18-18a
- **Ensaio de Microdureza Vickers** (Vickers Microhardness Test): ASTM E384-17 / ASTM E92-17 / ASTM E140-12be1

3. RESULTADOS (RESULTS):

3.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO (PHOTOGRAPHIC REGISTER):

Fotografia das amostras como recebidas.
(Photograph of the samples as received.)



Figura 01 (Figure 01)

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):
TM-32-1 - MÁQUINA FOTOGRÁFICA

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 19/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING):

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaio são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE- Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 | INSC. ESTADUAL: 535.560.780.119

AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALEMÃES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Roginei L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Maurício Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 1 de 2
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	--	--	---	---------------------



RELATÓRIO DE ANÁLISES/ENSAIOS (REPORT ANALYSIS/TESTS) Nº04125-20-3



EMPRESA SOLICITANTE: DANIEL PONTES TAGLIABUES.
Rua: João Torres, Nº: 0-833 - Bairro: Michel Neme - CEP: 17280-000 - Pederneiras- SP

3.2 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL (ROCKWELL HARDNESS TEST):

AMOSTRA (SAMPLE)	REGIÃO (REGION)	RESULTADOS, HRC (RESULTS, HRC)			
		Nº DE PONTOS (NUMBER OF POINTS)			MÉDIA DOS PONTOS (AVERAGE POINTS)
		1	2	3	
3	SUPERFÍCIE (SURFACE)	45	46	46	45
	NÚCLEO (CENTER)	46	47	46	46

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-02 - DURÔMETRO UNIVERSAL - Certificado de Calibração RBC - Nº 59367-109 / Nº 59368-109 - Data das calibrações: 21/10/19 - Próxima calibração: 10/2020
TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39054-200 - Data da calibração: 03/07/20 - Próxima calibração: 07/2021

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-02 - ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 24°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 20/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

3.3 PROFUNDIDADE DA CAMADA (LAYER DEPTH):

PROFUNDIDADE DA CAMADA EM 550HV1 (DEPTH LAYER IN 550HV1)	
REGIÃO (REGION)	PROFUNDIDADE, mm (DEPTH, mm)
CAMADA DE INDUÇÃO (INDUCTION LAYER)	Não foi evidenciada a presença de camada endurecida

EQUIPAMENTOS (EQUIPMENTS):

TM-04 - MICRO-MACRODURÔMETRO VICKERS - Certificado de Calibração RBC - Nº 27.655-20 - VAL. 09-2021 - Data da calibração: 24/09/20 - Próxima calibração: 09/2021
TM-04-1 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39878-200 - Data da calibração: 06/07/20 - Próxima calibração: 07/2021
TM-04-2 - TAMBOR MICROMÉTRICO - Certificado de Calibração RBC - Nº 43027-200 - Data da calibração: 15/07/20 - Próxima calibração: 07/2021
TM-20 - TERMOHIGRÔMETRO - Certificado de Calibração RBC - Nº 39054-200 - Data da calibração: 03/07/20 - Próxima calibração: 07/2021

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL (TECHNICAL / OPERATIONAL PROCEDURE):

PTO-03 - ENSAIO DE DUREZA VICKERS

CONDIÇÕES AMBIENTAIS: TEMPERATURA: 23°C
(AMBIENTAL CONDITIONS: TEMPERATURE °C:)

DATA DA REALIZAÇÃO DA(S) ANÁLISE(S)/ENSAIO(S): 20/10/2020
(DATE OF COMPLETION OF ANALYSIS / TESTING:)

Piracicaba, 20 de Outubro de 2020.
(Piracicaba, October 20, 2020.)


ASSINATURA DIGITAL
Engº. Mauricio Saito
GERENTE TÉCNICO (TECHNICAL MANAGER)
CREA Nº 5060223291
SIGNATÁRIO AUTORIZADO (AUTHORIZED SIGNATOR)

Fim do Relatório

Os resultados apresentados no presente relatório têm significação restrita e se aplicam apenas às amostras analisadas/ensaiadas. Os processos de amostragem das amostras enviadas para análises/ensaios são de responsabilidade do cliente. Este Relatório de Análise/Ensaio deve ser reproduzido por completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do Laboratório. Alterações não autorizadas, rasuras ou falsificação do conteúdo ou aparência deste relatório é ilegal e estão sujeitas a penalidades legais.

TMSERVICE- Laboratório Metalúrgico (www.grupotmservice.com.br) C.N.P.J. 18.760.517/0001-44 | INSC. ESTADUAL: 535.560.780.119
AV. SALDANHA MARINHO, 1939 - CEP: 13416-257 | BAIRRO DOS ALEMÃES | PIRACICABA-SP | FONE: (19) 3042-2277 - (19) 2532-2518

Código RQ-48-1	Revisão 01	Data Revisão 16/05/2018	Referência(s) PSGQ-17	Elaboração: Roginel L. Santos Gerente da Qualidade (GQ)	Rev. e Análise Crítica: Rodrigo Costa Supervisor Técnico (ST)	Aprovação: Mauricio Saito Gerente Técnico (GT)	Página(s) 2 de 2
-------------------	---------------	----------------------------	--------------------------	--	--	---	---------------------

APÊNDICE I - Ensaio de desgaste abrasivo



Materiais Júnior
CNPJ 05.168.675/0001-68
Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Engenharia de Materiais



Ensaio de Desgaste Abrasivo em Coroas

Norma ASTM G65 - 16e1

Relatório final de projeto

São Carlos

2020





Materiais Júnior
 CNPJ 05.168.675/0001-68
 Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia de Materiais



1 - INTRODUÇÃO

Este projeto teve como principal objetivo traçar uma análise comparativa entre duas coroas de diferentes materiais, sendo a primeira do material SAE 4140 e a outra de material SAE 8630 (microfundida). O ensaio comparativo que foi realizado é a análise de desgaste abrasivo, seguindo recomendações da norma ASTM G65 - 16e1. Vale observar que as amostras ensaiadas passaram por adaptações para a realização dos ensaios.

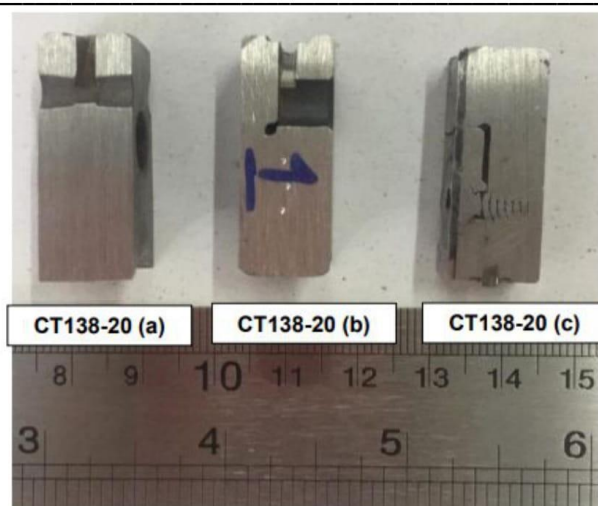
2 - DESCRIÇÃO DE ATIVIDADES REALIZADAS

2.1 - Amostras

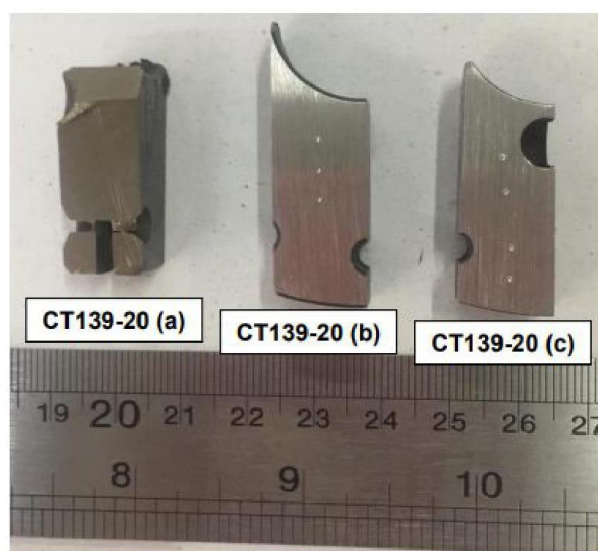
O cliente forneceu seis amostras que foram recebidas no dia 29/10/2020, sendo três delas do material SAE 4140, denominado de coroa original e três do material SAE 8360, denominado de coroa microfundida. As amostras foram encaminhadas ao laboratório onde receberam as identificações indicadas na Tabela 1.

Identificação do Laboratório	Identificação do cliente
CT138-20 (a)	Coroa original 1
CT138-20 (b)	Coroa original 2
CT138-20 (c)	Coroa original 3
CT139-20 (a)	Coroa microfundido 1
CT139-20 (b)	Coroa microfundido 3
CT139-20 (c)	Coroa microfundido 4

Tabela 1- identificação das amostras.



(a)



(b)

Figura 1 - Amostras para o ensaio de desgaste abrasivo, sendo em (a) os corpos de prova denominados originais e em (b) os corpos de prova microfundidos.



Materiais Júnior
CNPJ 05.168.675/0001-68
Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Engenharia de Materiais



2.2 - Metodologia

2.2.1 - Preparação dos corpos de provas

As amostras recebidas foram preparadas de acordo com a norma ASTM G65 [1] para a realização dos ensaios de desgaste. No caso, os corpos de provas enviados não apresentavam as dimensões propostas pela norma ASTM G65 [1], no qual é recomendado que o mesmo possua 25 x 76 x 3,2-12,7 mm, sem irregularidades para que os resultados obtidos pelo ensaio não sejam prejudicados. Entretanto, o parâmetro de dimensionalidade não causou impactos negativos diretos no resultado, pois os ensaios de desgaste abrasivo foram realizados por meio de efeito comparativo entre os materiais denominados de original e microfundido. Vale salientar que os corpos de provas apresentaram diferentes geometrias e dimensões, conforme pode ser observado nas Figura 1 (a) e (b), o que impossibilita uma análise mais profunda dos resultados e uma comparação entre os mesmos.

Todos os corpos de provas tiveram suas superfícies de contato com a roda de borracha lixadas de acordo com a norma ASTM G65 [1]; em lixas d'água de carboneto de silício com granulometrias 120, 220, 440, e 600 mesh.

2.2.2 - Ensaio de desgaste abrasivo usando areia seca e roda de borracha

O teste de ensaio abrasivo foi realizado em um aparelho semelhante à imagem demonstrada na Figura 2. Todos os aparatos utilizados seguiram as recomendações da norma ASTM G65 [1].

O ensaio consiste em simular a abrasão de baixa tensão e foi realizado através do processo de esmerilhar o corpo de prova padronizado com areia, com tamanho de grão e composições controladas.

Para a realização deste ensaio, foi aplicada no corpo de prova uma carga de 130 N, uma areia seca de granulometria de 100 mesh, uma velocidade de rotação de 200 rpm, um tempo de 30 (trinta) minutos e uma





Materiais Júnior
CNPJ 05.168.675/0001-68
Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Engenharia de Materiais



distância linear da abrasão (distância percorrida) igual a 4309 m. Utilizou-se também uma vazão de areia abrasiva de 350g/min. Todos os parâmetros utilizados seguem o procedimento A da norma ASTM G65 [1], sendo um teste relativamente severo e que classifica os materiais em uma larga escala de volume retirado, verificando a resistência à abrasão.

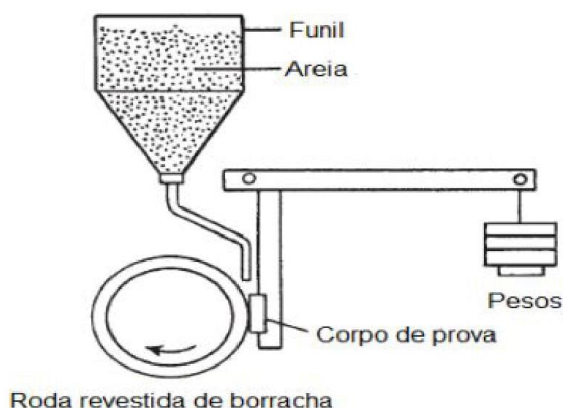


Figura 2 - Equipamento utilizado para o ensaio de desgaste nos corpos de prova retirado das buchas.

As amostras foram pesadas antes e depois do ensaio com a análise da perda de massa gerada. Todas as medidas foram realizadas em uma balança de alta precisão com sensibilidade igual a 0,001 g. Os resultados obtidos foram fornecidos em função do volume removido (mm^3) por distância percorrida (m), de modo que não haja confusão causada por variações na densidade. Assim, esses volumes foram calculados para cada material ensaiado seguindo a equação 1.

$$\text{Volume removido } [\text{mm}^3] = \frac{\text{massa perdida } [\text{g}]}{\text{densidade } [\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}]} \times 1000 \quad (\text{Equação 1})$$

Além disso, calculou-se para cada material, o coeficiente de desgaste K por meio da equação 2.

Materiais Júnior – Materializando Soluções
Empresa Júnior da Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos
Rodovia Washington Luís, km 235, 13565-905, São Carlos, SP, Brasil
Email: materiaisjr@materiaisjr.com, Visite nosso site: <http://www.materiaisjr.ufscar.br/>





$$\frac{V}{S} = KxL \text{ (Equação 2)}$$

Em que:

V – é o volume de material desgastado (volume removido), em mm^3 ;

S – é a distância percorrida, em m ;

L – é a carga, em N e;

K – é o coeficiente de desgaste, em $mm^3 / N.m$

3 - RESULTADOS

3.1 Ensaio de desgaste abrasivo usando areia seca e roda de borracha.

Pela tabela 2 é possível identificar a massa inicial (pesada antes de se realizar o ensaio), a massa final (pesada após a realização do ensaio) e a perda/variação de massa, onde esta determina a diferença entre a massa inicial e final para os seis (06) corpos de prova ensaiados.

Tabela 2: Massa inicial, final e perda de massa para os dois (02) materiais analisados, original e microfundido.

Corpos de prova		Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (g)
Amostras Originais	CT138-20 (a)	24,9791	24,9647	0,01440
	CT138-20 (b)	34,1383	34,1130	0,02530
	CT138-20 (c)	32,6406	32,6303	0,01030
	Média	*	*	0,01667
	Desvio Padrão	*	*	0,00633
Amostras Microfundidas	CT139-20 (a)	28,8057	28,7767	0,02900
	CT139-20 (b)	30,8260	30,7750	0,07100
	CT139-20 (c)	35,4810	35,4480	0,03300
	Média	*	*	0,04433
	Desvio Padrão	*	*	0,02318

Rotação = 200 rpm; fluxo de areia = 350 g/min; tempo = 30 min;

* - Não é possível tirar uma média e desvio padrão tendo em vista que a geometria e as dimensões dos corpos de prova são muito diferentes entre si.



Materiais Júnior
CNPJ 05.168.675/0001-68
Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Engenharia de Materiais



Pela **Figura 3** é possível examinar a média da perda da massa em função da distância linear abrasiva (distância percorrida) para os dois (02) materiais analisados.

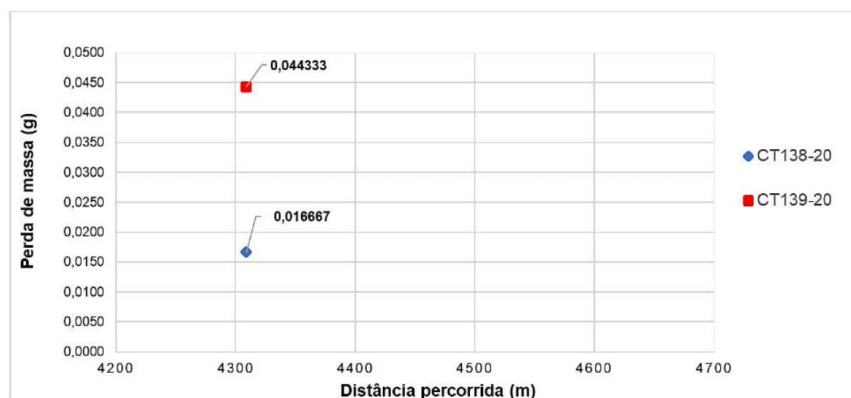


Figura 3 - Média da perda de massa em função da distância percorrida para os dois (02) materiais, em um tempo de 30 minutos.

Segundo pesquisadores que analisaram o desgaste dos materiais, a quantidade de material removido é diretamente proporcional à distância percorrida e a carga aplicada no sistema e inversamente proporcional a dureza do material. Devido a resistência do material ao desgaste ser inversamente proporcional ao material removido, a medida que o material é removido é apresentado um material de menor dureza.

A afirmação apresentada acima não pode ser tomada como verdade absoluta, pois nem todo material com maior dureza exibirá maior resistência ao desgaste, os materiais utilizados podem sofrer transformações microestruturais durante o ensaio de desgaste, como exemplo, podemos avaliar que localmente há a possibilidade de o aumento da temperatura pode acarretar em uma transformação de fase.

A partir dos resultados dos ensaios de desgaste abrasivo por roda de borracha, é possível afirmar que ambos os materiais analisados apresentaram comportamentos semelhantes, ambos mostraram perda de massa próximas.



Materiais Júnior
 CNPJ 05.168.675/0001-68
 Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia de Materiais



Este resultado era o esperado visto que os materiais apresentam elevada propriedade de dureza. Analisando a dureza dos materiais é possível dizer que ambos apresentam valores próximos de dureza, sendo 54HRC para o material SAE4140 (aço da coroa original), 48HRC para o material SAE8630 (aço da coroa microfundida). Analisando a Tabela 2, da Figura 3 e dos valores de dureza informados afirma-se que o material original exibe maior resistência ao desgaste ao ser comparado com a peça microfundida, estas propriedades se dão, possivelmente, a um maior valor de dureza.

O cálculo do volume removido do material foi efetuado através das densidades de cada um dos materiais analisado. A Tabela 3 apresenta os valores das densidades (g/cm³), perda de massa (g) e o volume removido (mm³), calculado de acordo com a equação 1.

Os valores de densidade da coroa original (SAE4140), quanto da coroa microfundida (SAE8630), foi fornecido pela Materiais Júnior e adotado como sendo igual a densidade do aço (média).

Tabela 3 - Densidade, média da perda de massa e volume removido para os materiais analisados.

Corpos de prova		Densidade (g/cm ³)	Média da perda de massa (g)	Volume removido (mm ³) ²
Original	CT138-20	7,85 ¹	0,01667	2,1231
Microfundida	CT139-20	7,85 ¹	0,04433	5,6476

Rotação = 200 rpm; fluxo de areia = 350 g/min; tempo = 30 min;

¹ Densidade fornecida pela contratante, sendo igual à do aço (média);

² $Volume\ removido\ [mm^3] = \frac{massa\ perdida\ [g]}{densidade\ \frac{g}{cm^3}} \times 1000$



Materiais Júnior
CNPJ 05.168.675/0001-68
Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Engenharia de Materiais



Na **Figura 4** apresenta-se o gráfico de volume removido em função da distância linear abrasiva (distância percorrida) para os dois (02) materiais analisados.

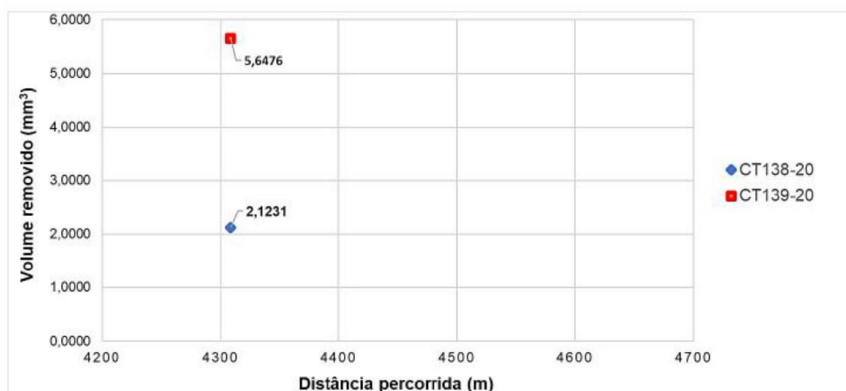


Figura 4 - Volume removido em função da distância percorrida para os dois (02) materiais, em um tempo de 30 minutos

Analisando os resultados obtidos pela Tabela 3 e a representação do mesmo na Figura 4, é possível dizer que, o material da coroa original - SAE 4140 - continua a exibir um comportamento melhor em relação ao ensaio desgaste abrasivo quando comparado ao material da coroa microfundida - SAE 8630 - já que este, possivelmente, possui um maior valor de dureza. Em outras palavras, pode-se dizer que o material da coroa microfundida exibe maior volume removido e, por consequência, apresenta menor resistência ao desgaste. Vale expor que de acordo com a norma ASTM G65 [1] é de grande importância para efeito comparativo representar os resultados em função do volume removido, de forma que, não haja confusão causada por variações na densidade.

Além disso, de acordo com a norma ASTM G65 [1], os valores típicos de volume removido para ensaios de roda de borracha e areia seca, devem produzir remoção nos materiais metálicos com valores entre $0,25\text{mm}^3$ a 250mm^3 para o procedimento. A partir disto avalia-se que o procedimento



escolhido foi o correto e o mesmo possibilitou a verificação da resistência ao desgaste dos materiais em análise.

A Tabela 4 apresenta os valores de coeficiente de desgaste para ambos os materiais, obtido através da equação 2 e, no gráfico da Figura 5, a apresentação do resultado em função da distância percorrida.

Tabela 5 - Coeficiente de desgaste, K para os dois (02) materiais analisados.

Corpos de prova		Volume removido (mm ³)	Distância percorrida (m)	Carga (N)	Coeficiente de desgaste, K (mm ³ /N.m)
Original	CT138-20	2,1231	4309	130	3,7901E-06
Microfundida	CT139-20	5,6476	4390	130	1,0082E-05

Rotação = 200 rpm; fluxo de areia = 350 g/min; tempo = 30 min;
 $V/S = K.L$

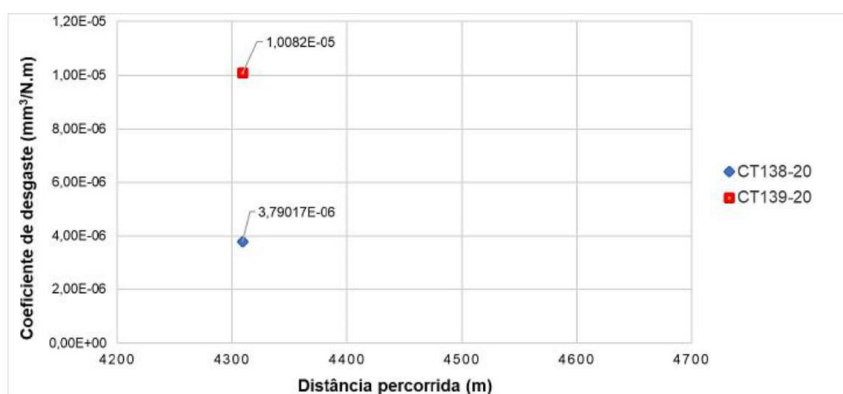


Figura 5 - Coeficiente de desgaste em função da distância percorrida para os dois (02) materiais, em um tempo de 30 minutos.



Materiais Júnior
CNPJ 05.168.675/0001-68
 Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia de Materiais



4 - CONCLUSÕES

Utilizando como base a norma ASTM G65 - 16e1, foi adotado o procedimento A para todos os corpos de prova, o que mostrou-se assertivo através dos resultados obtidos, mesmo com as complicações dimensionais e volumétricas presentes nas amostras. Por meio das equações descritas na seção de metodologia, calculou-se o volume removido em mm³ e o coeficiente de desgaste das amostras.

Com os resultados obtidos, observou-se que o aço SAE 4140 (coroa original) apresentou propriedades de resistência ao desgaste maiores quando comparado ao aço SAE 8630 (coroa microfundida). Este comportamento pode ser contemplado quando os valores de dureza de ambas as amostras são analisados, o material da coroa original apresenta valor de 54 HRC, enquanto a coroa microfundida apresenta 48 HRC. Sendo assim, quanto maior a dureza do material maior também a resistência ao desgaste, portanto menor será o volume de material removido e menor será a região desgastada após a realização dos ensaios.

5 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

[1] ASTM G65-16e1, Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.

[2] ASM Handbook, Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials, ASM International (American Society for Metals), Materials Park, Ohio, USA, 1990.

[3] BLAU, J. P. (1995). Friction, Lubrication and Wear Technology. ASM Handbook. v.18, pp 20.



APÊNDICE J - Média de Dureza (HRc) em função do desempenho em campo das coroas.

Desempenho durante ciclo de Trabalho x Dureza Rockwell C

Identificação coroa original / coroa microfundida	Corpos de provas	Resultados, <u>HRc</u> Coroa Original (A) / Coroa <u>Microfundida</u> (B)				Desempenho em campo durante o ciclo de trabalho (h)
		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média dos Pontos	
Coroa Original (A) - 01	CPA-01	52	51	52	51,66	496
Coroa Original (A) - 02	CPA-02	55	54	55	54,66	560
Coroa Original (A) - 03	CPA-03	54	54	55	54,33	528
Coroa Microfundida (B) - 01	CPM-01	46	46	45	45,66	400
Coroa Microfundida (B) - 02	CPM-02	45	45	45	45,00	432
Coroa Microfundida (B) - 03	CPM-03	46	46	47	46,33	448

