

# Análise da ruína das lâminas de corte do descascador de toros da CELTEJO

## RESUMO

No âmbito do processo industrial da Celtejo, Empresa de Celulose do Tejo, S.A., foi identificada uma quebra no desempenho do descascador que opera no parque de madeiras da sua unidade industrial. Esta quebra de desempenho verificava-se devido à ocorrência de um desgaste excessivo das suas lâminas de corte, obrigando à sua substituição regular e prematura. Tais quebras de desempenho tinham como implicação direta um incremento dos custos associados à operação e à manutenção do equipamento, bem como aos materiais e recursos humanos associados a essas operações, assim como às perdas de produção daí resultantes.

A administração da Celtejo lançou o repto ao IPCB, no sentido de analisar a origem do desgaste dos componentes do descascador, bem como apresentar eventuais propostas de soluções com vista a minimizar o seu desgaste precoce.

O presente trabalho constitui um estudo preliminar do problema, tendo sido desenvolvido, com supervisão, pelos alunos Francisco Vicente Granada Reis Pio e Paulo Alexandre Costa dos Santos através do seu trabalho “Ensaio metalográfico e microdureza dos microconstituintes do aço Hardox 500”, submetido para avaliação no âmbito da Unidade Curricular de Caracterização Mecânica dos Materiais do 2.º ano curricular da licenciatura em Engenharia Industrial.



A. L. Ramalho  
PhD  
Professor Adjunto  
da Escola Superior  
de Tecnologia  
do IPCB  
aramalho@ipcb.pt

F. V. G. R. Pio  
Aluno do curso  
de Engenharia  
Industrial  
da Escola Superior  
de Tecnologia  
do IPCB

P. A. C. Santos  
Aluno do curso  
de Engenharia  
Industrial  
da Escola Superior  
de Tecnologia  
do IPCB

M. C. Gaspar  
PhD  
Professor Adjunto  
da Escola Superior  
de Tecnologia  
do IPCB

**Palavras-chave:** Desgaste, Dureza, Aço Hardox.

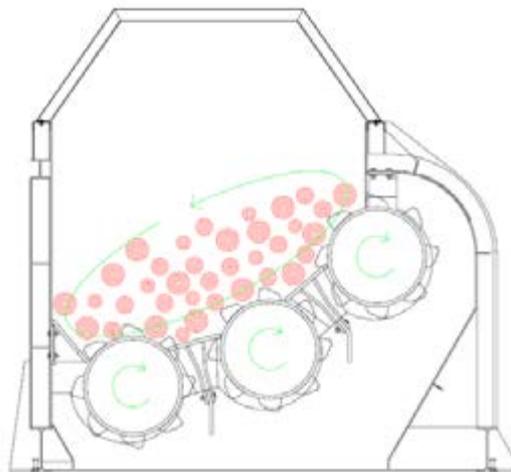
## INTRODUÇÃO

No contexto atual de mercado global, para além das características de inovação e de qualidade, pretende-se que os produtos e equipamentos tenham custos cada vez mais reduzidos e vidas úteis mais longas. Desta forma, torna-se necessário proceder não só a uma seleção fundamentada de materiais e processos transformativos que permitam dar resposta a estas necessidades, mas também conseguir níveis de produtividade que permitam otimizar os recursos disponíveis nas empresas.

O crescente incremento das taxas de utilização dos equipamentos industriais leva a que estes sejam operados em gamas próximas dos seus limites de funcionamento, produzindo contactos e esforços que aceleram os mecanismos de dano nos seus elementos constitutivos. Como resultado destas solicitações, os componentes dos equipamentos ficam sujeitos a diversos mecanismos de dano por ações dinâmicas, dos quais se destacam a fadiga e o desgaste. Enquanto a fadiga dos materiais resulta numa rotura progressiva provocada pela ação de ciclos repetidos de tensão ou deformação, o desgaste de materiais pode ocorrer pela perda progressiva de material de uma superfície em movimento relativo devido a ações mecânicas ou químicas. No que concerne à fadiga, esta pode ser calculada e antecipada com vista à previsão do tempo de vida útil dos componentes mecânicos projetados. Já no caso do desgaste de materiais, este pode ser controlado, mas nunca totalmente eliminado.

Os danos por fadiga resultam habitualmente na progressão de fissuras originadas por distintos mecanismos. Estas fissuras, caso não sejam atempadamente identificadas em ações de monitorização ou manutenção podem originar a rotura catastrófica dos componentes em serviço. Já os diversos tipos de desgaste podem ser prejudiciais nos equipamentos pelo facto de causarem variações dimensionais que podem incrementar as folgas de contacto ou levar à perda de funcionalidade dos componentes dos equipamentos, para além de poderem originar vibrações não desejadas, sobrecargas mecânicas, perdas de eficiência, entre outros. No caso do equipamento em estudo, este é utilizado para descascar toros de madeira no processo de produção de pasta de papel. O descascador é constituído por três rotores

que funcionam em paralelo e em cascata. No perímetro dos rotores existem dentes de descasque fixados com pernos. A ação combinada dos rotores a friccionar e a girar os toros com a abrasão dos toros entre si faz com que a casca seja removida dos toros. Na figura 1 encontra-se representado o descascador em estudo.



**Figura 1** - Desenho esquemático funcional do descascador.

Os dentes de descasque são fabricados a partir de um aço especial de elevada resistência e são fixados ao rotor através de um cordão de soldadura. Quando um dente fica gasto, o rendimento de descasque diminui. Quando a espessura original de 35 mm tiver sido reduzida para 32 mm ou quando o raio dos fios das lâminas se tiverem gasto até cerca de 5 mm, os dentes devem ser reparados ou substituídos por novos.

Constata-se que o desgaste excessivo ocorre nos dentes do tipo 2, representados na figura 2.



**Figura 2** - Detalhe dos dentes tipo 2.

Os dentes do tipo 2 são constituídos por seis lâminas e são obtidos por corte a partir de uma chapa de aço Hardox 500. A ruína destes dentes ocorre devido a um desgaste excessivo e prematuro. Para mitigar este processo, por vezes deposita-se um cordão de carboneto de tungsténio no fio das lâminas, por soldadura eletrogénea com um elétrodo Kestra D 60. Verifica-se frequentemente o descolamento ou a lascagem (spalling) deste revestimento, fazendo que a vida destes dentes, mesmo após reparação, seja manifestamente insuficiente obrigando à sua substituição.

## TRABALHO EXPERIMENTAL

Por análise macrográfica da superfície das lâminas desgastadas, representada na figura 3, verifica-se a existência de sulcos na direção do movimento relativo entre os toros e os dentes do tipo 2. Esses sulcos revelam a ocorrência de desgaste por abrasão. Estudos recentes comprovam a capacidade das fibras de eucalipto em originar desgaste abrasivo [1].

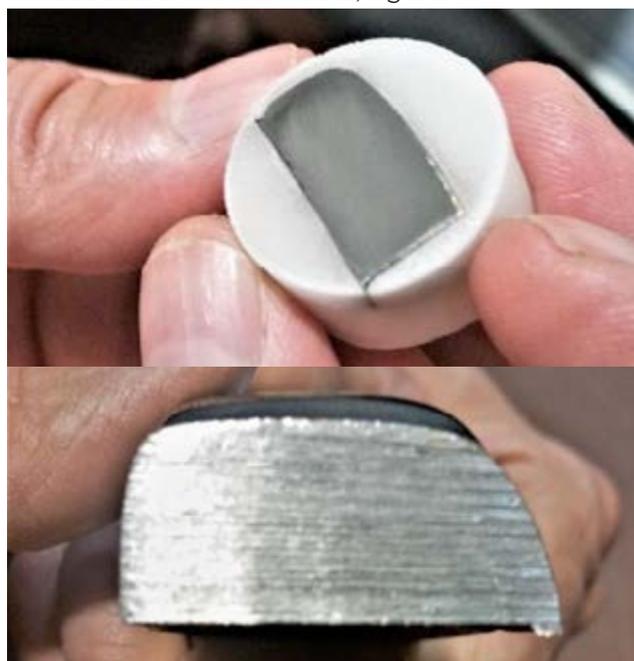


**Figura 3** - Macrografia da superfície do dente do tipo 2

Embora a capacidade abrasiva das fibras de eucalipto esteja comprovada, seria espectável um melhor desempenho das lâminas de corte, nas condições de serviço do descascador, atendendo ao facto das mesmas serem construídas com aço Hardox 500 que possui elevada dureza e tenacidade, que lhe confere excelentes características de resistência ao desgaste por abrasão.

Para estudar a origem da inexplicável quebra de eficiência do aço Hardox, efetuou-se um corte transversal da lâmina de corte, com o objetivo de avaliar a dureza da lâmina e verificar a microestrutura do aço. O corte para obtenção da amostra a analisar foi efetuado com recurso a um serrote de fita, devidamente refrigerada

com uma emulsão de óleo de corte, para não afetar a microestrutura. Para facilitar o seu manuseamento e a realização dos ensaios, a amostra foi devidamente encastrada a frio em resina, figura 4.



**Figura 4** - Amostra encastrada em resina. Realizou-se o polimento das amostras até à lixa de granulometria P 1200, utilizando a Polideira Presi Mecapol P200, representada na figura 5. Procedeu-se de seguida ao seu polimento com pasta de diamante de 0.1  $\mu\text{m}$ .



**Figura 5** - Polideira Presi Mecapol P200.

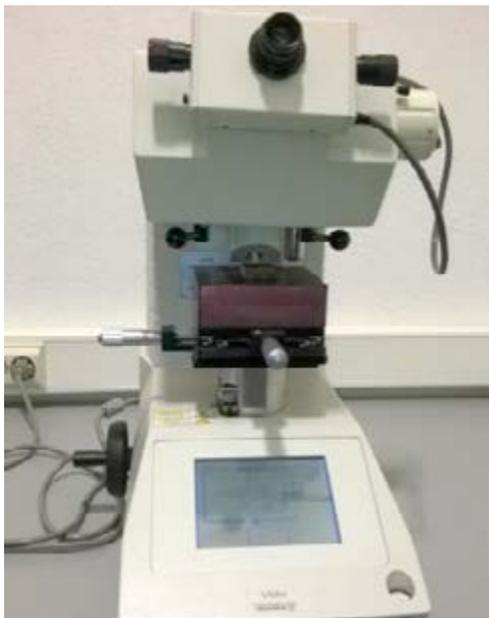
A microestrutura do aço Hardox foi revelada por imersão numa solução de Nital a 2%, durante 1 minuto.

Fez-se o exame macrográfico e micrográfico da amostra, utilizando o microscópio Zeiss Axiotec 100 HD DIC, representado na figura 6. Foram registadas as macrografias e as micrografias com a câmara fotográfica Nikon D70.



**Figura 6** - Microscópio Zeiss Axiotec 100 HD DIC.

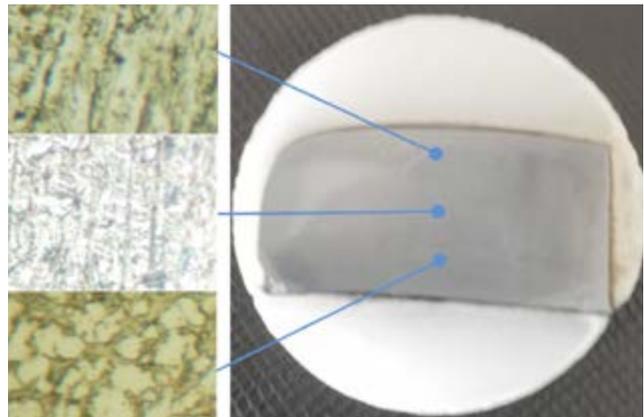
Foi utilizado o microdurómetro Shimadzu modelo HMV-2, representado na figura 7, para obter os valores de dureza em diversas zonas/microestruturas da amostra.



**Figura 7** - Microdurómetro Shimadzu modelo HMV-2.

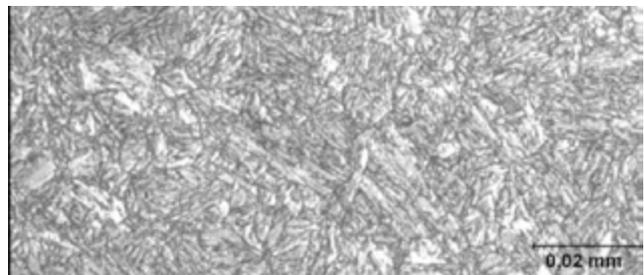
## RESULTADOS

Observou-se a existência de numerosas porosidades na amostra, junto às arestas de corte. Na figura 8 está representado uma macrografia da amostra, com a localização das diversas microestruturas observadas.



**Figura 8** - Macrografia com localização da microestrutura; Fotomicrografias com amplificação 1000x.

O Exame micrográfico revela uma microestrutura muito diferente da espectável. O Hardox 500 é um aço estrutural tenaz, resistente à abrasão, fornecido no estado martensítico revenido de etapa 1, com dureza nominal de 500 HBW [2]. A microestrutura deste aço no seu estado de fornecimento encontra-se representada na figura 9. Na tabela 1 está representada a composição química do aço Hardox 500. Dado o seu nível de carbono equivalente, é um aço que apresenta boa soldabilidade. No entanto, para espessuras superiores a 12 mm requer pré-aquecimento [4].



**Figura 9** - Microestrutura característica do Hardox 500 no seu estado de fornecimento [3]

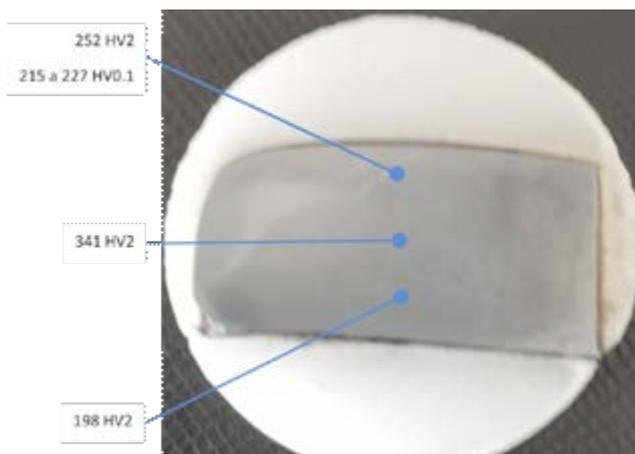
**Tabela 1** - Composição química do aço Hardox 500 (Máximas percentagens em peso) [2].

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	B	P	S
0.30	0.70	1.60	1.50	0.60	1.5	0.005	0.020	0.010

O aquecimento do Hardox 500 para além dos 230 °C induz o revenido de etapa superior do aço, provocando o crescimento do grão e a precipitação de carbonetos, com uma diminuição abrupta da sua dureza. Assim o pré-aquecimento para soldadura não deve, em caso algum, exceder os 200 °C.

A face inferior da amostra foi soldada ao rotor do descascador de toros. A microestrutura observada junto a essa face corresponde a um aço de baixo teor em carbono, no estado recozido, apresentando um crescimento considerável do grão. A microestrutura corresponde essencialmente a ferrite e perlite, característica de um aço com teor em carbono inferior à composição do ponto eutético. Na zona interna da amostra constata-se a ocorrência de uma estrutura sorbítica com pouca martensite e alguma bainite, correspondendo a temperaturas de revenido entre 300 e 500 °C. Na zona superior a estrutura sorbítica é intercalada com uma estrutura esferodítica, observando-se junto à face superior, com arrefecimento mais pronunciado, a ocorrência de ferrite de widmanstätten [5 e 6].

Na figura 10 está representado uma macrografia da lamina de corte, com a indicação das durezas observadas nas zonas analisadas.



**Figura 10** - Macrografia com localização e representação das durezas

As durezas observadas, são características das microestruturas existentes, no entanto, considerando apenas o efeito do cordão de soldadura, estranha-se que na zona central, mais perto do cordão de soldadura, ocorra uma microestrutura e dureza referentes a um

revenido inferior e na zona superior da amostra, mais afastada do cordão de soldadura, ocorram microestruturas e durezas características de um revenido superior.

## CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHO FUTURO

As durezas observadas, entre 200 e 340 HV2, são manifestamente inferiores aos valores espectáveis, 500 HV2.

As microestruturas observadas correspondem ao recozimento e a revenidos superiores da estrutura martensítica. A microestrutura martensítica, que era espectável e desejável para as lâminas de corte, sofreu um processo de transformação.

A diminuição de dureza associada ao revenido superior e ao recozimento da martensite, foi provocada por aquecimento excessivo durante o processo de fabrico ou de fixação da das lâminas de corte.

A distribuição das durezas e a variação da microestrutura na secção transversal da lâmina, não pode ser explicada apenas pelo aquecimento provocado pela soldadura da lâmina ao rotor, pelo que é necessário realizar uma análise mais detalhada de todo o processo de fabrico da lâmina de corte.

## REFERÊNCIAS

- [1] Xiaoshuang Xiong, Shirley Z. Shen, Nazmul Alam, Lin Hua, Xiang Li, Xiaojin Wan, Menghe Miao, Mechanical and abrasive wear performance of woven flax fabric/polyoxymethylene composites, *Wear* 414-415 (2018), p. 9-20.
- [2] Data Sheet 152en Hardox 500 2015-04-08, SSAB.
- [3] S, Pekalski G. Modern low alloy wear resistant steels-structure and impact strength. Article 2009. p. 45-46. (Research supported by the grant under project No. NR03 0039 06/2009).
- [4] Welding Hardox new- V1-2016-Solodesign AB.
- [5] Uzunali U. Y. and Cuvalci H., The Effects of Post Weld Heat Treatment on the Mechanical Properties of Tempered Martensite and High Strength Steel Welded Joints, The 2015 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM 15), Incheon, Korea, August 25-29, 2015.
- [6] S. Frydman S., Konat Ł, Pękaliski G., Structure and hardness changes in welded joints of Hardox steels, *Archives Of Civil And Mechanical Engineering*, Vol. VIII, Nº 4, 2008.