

# CORROSÃO E DESGASTE QUÍMICO DAS LÂMINAS DE AÇO UTILIZADAS NO DESDOBRO DA MADEIRA

Paulo Fernando Trugilho<sup>1</sup>; Milena Freire de Carvalho Marcondes<sup>2</sup>;  
José Tarcísio Lima<sup>1</sup>; Fábio Akira Mori<sup>1</sup>

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi avaliar o desgaste químico provocado pela madeira sobre as lâminas de aço usadas na confecção das serras e/ou ferramentas de corte. Foi determinada a correlação entre o desgaste químico e o teor de extrativos solúveis em água fria, água quente e na seqüência tolueno e etanol. Foram utilizados dois tipos de aço e 27 espécies diferentes de madeira. O agente corrosivo, constituído de 50 g de serragem fresca (úmida) misturados a 50 ml de água destilada, foi preparado e colocado dentro da caixa plástica, hermeticamente fechada, sobre as amostras de aço, as quais ficaram totalmente imersas. A caixa foi colocada em um banho-maria a 75°C, que é considerada a temperatura média de reação, que afeta a lâmina da serra em operação. Este conjunto foi operado a 80 rotações por minuto (rpm). O tempo de reação foi de quatro horas. Após esse tempo, o agente corrosivo foi descartado, as amostras lavadas, secadas e pesadas. Ao final, cada amostra foi processada por um período total de 40 horas. A corrosividade foi avaliada pela diferença de peso sofrida do início ao final do experimento. Pelos resultados observou-se que o *Eucalyptus tradryphloia* e o *Eucalyptus phaeotricha* foram as espécies que provocaram, respectivamente, o maior e o menor desgaste químico para os dois tipos de aço avaliados. Existe grande variação no desgaste químico devido ao efeito da espécie. A corrosão e o desgaste químico estão relacionados com a qualidade do material solubilizado especialmente em etanol. O aço 1070 foi mais susceptível à corrosão que o 6170.

Palavras-chave: desgaste químico, serras de desdobro, aço, madeira.

## CORROSION AND CHEMICAL WASTE IN SAWBLADES STEEL USED IN WOOD

**ABSTRACT:** *The objective this work was to evaluate the chemical waste provoked by the wood on the sheets of steel used in the making of the mountains and cut tools. It was certain the correlation between the chemical waste and the extractive soluble in cold water, hot water and in the sequence toluene and ethanol content. Two types of steel and twenty-seven species different from wood were used. The corrosive agent, constituted of 50 g of fresh sawdust (moist) mixed to 50 ml of distilled water, it was prepared and placed inside of the plastic box, hermetically closed, on the samples of steel, which were totally immersed. The box was placed in a water bath pre-heated to 75°C, that the medium temperature of reaction is considered, that affects the sheet of the sawblade in operation. This group was operated to 80 rotations per minute (rpm). The time of reaction was of four hours. After that time the corrosive agent was discarded and the samples were washed, dried and weighed. At the end, each sample was processed by a total period of forty hours. The chemical waste was*

---

<sup>1</sup> Professores do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras

<sup>2</sup> Engenheira Florestal, DCF/Universidade Federal de Lavras

*evaluated by the weight difference suffered from beginning at the end of the experiment. For the results it was observed that the *Eucalyptus tradryphloia* and the *Eucalyptus phaeotricha* the species that provoked were, respectively, the largest and smaller chemical waste for the two types of steel appraised. Great variation exists in the chemical waste due to the effect of the species. The corrosion and chemical waste are especially related with the quality of the material solved in ethanol. The 1070 steel were more attached than the 6170 steel.*

*Key words: Chemical waste, Sawblade, Steel, Wood.*

## 1 INTRODUÇÃO

Em uma visão de médio prazo prenuncia-se uma forte tendência de crescimento da participação do Brasil no mercado internacional de madeira serrada e móveis de madeira maciça, assim como o aumento da importância do eucalipto no mercado interno, como insumo para esses usos. No caso de madeira serrada, torna-se necessária uma aceleração da avaliação tecnológica dos atuais equipamentos, procurando adequá-los para sistemas mais atualizados, que resultem em elevação da capacidade de produção, redução do uso de mão-de-obra e aumento de produtividade.

Em que pesem ainda suas limitações, não há dúvidas de que, dentre as hipóteses de outras aplicações para a madeira de eucalipto no Brasil, o seu desdobro em serraria é o que se encontra mais evidenciado. A tendência mundial de produzir madeira serrada a partir de florestas plantadas ou regeneradas é seguida no Brasil com a madeira de *Pinus*, principalmente nos estados do sul do país e em São Paulo. Com relação ao *Eucalyptus*, ainda não se desenvolveu uma tecnologia adequada para o seu processamento mecânico no Brasil, embora esse gênero apresente grande potencialidade como madeira serrada.

Um dos problemas a serem enfrentados no processamento diz respeito à corrosão provocada por produtos químicos da madeira sobre o metal usado nas lâminas de corte, ou seja, nas serras. O desgaste excessivo dessas lâminas, além de provocar aumento do custo financeiro, pode provocar aumento dos acidentes pessoais de trabalho nas serrarias e marcenarias ou movelarias que em alguns casos, podem mutilar e até ser fatais aos operários.

Entretanto, existem poucas informações na literatura sobre o grau de corrosão provocado pela madeira sobre as lâminas de aço usadas no seu processo de desdobro em serraria.

No passado, a principal ênfase era colocada sobre os aspectos metalúrgicos da corrosão do aço, mas uma melhor compreensão dos efeitos dos fatores mecânicos foi alcançada com a aplicação dos conceitos de fraturas mecânicas. Similarmente, a aplicação dos princípios de eletroquímica melhorou o entendimento de alguns fatores químicos, embora em menor extensão. Isso é verdade, principalmente pela variada e complexa química dos extrativos da madeira. Estes extrativos contêm numerosos componentes altamente reativos, tais como os ácidos orgânicos e as substâncias polifenólicas, sendo algumas capazes de formar complexos organometálicos. Tais complexos estão usualmente envolvidos nas reações de corrosão, quando ativadas por um apropriado potencial hidrogeniônico (pH) (Krilov, 1986).

Os efeitos simultâneos da corrosão física e química sobre uma lâmina de aço operando sob condições industriais têm sido observados por vários autores. Entretanto, um estudo referente ao melhor conhecimento das características físicas e químicas das madeiras de eucalipto em relação ao desgaste das lâminas de aço usadas no seu processamento poderá contribuir para a realização de um programa de manutenção preventiva dos equipamentos, evitando-se a ocorrência de acidentes no trabalho. Assim sendo, pesquisas direcionadas para as finalidades mencionadas poderão facilitar a escolha de lâminas com características específicas para as diferentes caracterís-

ticas das madeiras de eucalipto. Isso, certamente, refletirá em um bom padrão de qualidade da madeira serrada, o que é importante para a comercialização do produto, além de aumentar a vida útil dos equipamentos de serraria.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desgaste químico provocado pela madeira sobre as lâminas de aço normalmente usadas na confecção das serras e/ou ferramentas de corte utilizadas para o seu desdobro. Também buscou-se determinar a correlação existente entre o desgaste químico total e os teores de extrativos solúveis em água fria, água quente e na sequência tolueno e etanol.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Corrosão é o efeito lento e progressivo de substâncias corrosivas sobre metais (Fernandes et al., 1991).

A quebra do aço pela corrosão das lâminas utilizadas para serrar madeira na prática industrial envolve uma complexa interação de fatores mecânicos, metalúrgicos e químicos (Krilov, 1986 e 1990). Embora a fricção seja uma importante causa do desgaste físico das lâminas de aço das serras de madeira em operação, ela é grandemente aumentada por reações químicas. Essas são causadas pelo considerável número de substâncias corrosivas encontradas na madeira. Essas substâncias fazem parte de um grupo de materiais normalmente designados de extrativos (Krilov, 1986).

Extrativos são compostos de baixo ou médio peso molecular, removidos da madeira por solventes orgânicos ou água ou, em alguns casos, volatilizados por vapor. Os extrativos são constituintes da madeira, mas não fazem parte da parede celular; estão concentrados nas células do parênquima e nos canais de resina e de goma. Estes compostos podem ser classificados, fisiologicamente, como materiais de reserva (ácidos graxos, gorduras e óleos), materiais de proteção (terpenos, ácidos resinosos, fenóis, ceras) e hormônios

vegetais (fitosterol, sitosterol) (Nota de aula, 2000)<sup>1</sup>.

Dentre os extrativos, os ácidos orgânicos e, principalmente, os polifenóis aromáticos são os mais importantes, por causa de suas propriedades corrosivas (Krilov, 1986).

Os ácidos orgânicos, de baixo peso molecular, em particular o ácido acético, estão presentes na maioria das madeiras (Browning, 1963). O ácido acético, um exemplo típico, é formado pela hidrólise dos grupos acetil das hemiceluloses. Nas folhosas ocorrem, geralmente, mais grupos acetil do que nas coníferas, um fato que, em parte, explica o baixo pH de algumas espécies de folhosas.

Outros ácidos orgânicos de baixo peso molecular e/ou gordurosos estão presentes em muitas madeiras, especialmente em coníferas, na forma de ésteres de ácidos gordurosos. Sob condição aquosa estes ésteres podem ser hidrolisados para produzir um ácido livre, porém, acredita-se que estes ácidos são bastante inativos e, conseqüentemente, possuem baixo efeito corrosivo na prática (Krilov & Gref, 1986).

As madeiras que possuem altos conteúdos de extrativos polifenólicos causarão maior desgaste sobre as ferramentas de corte. Alguns tipos de polifenóis típicos das madeiras são os ácidos gálico, digálico e elágico, que são, freqüentemente, encontrados em quantidades razoáveis em vários eucaliptos (Krilov & Gref, 1986).

Estudo realizado por Trugilho et al. (1998) mostrou que o *Corimbia cloeziana* provoca maior corrosão química que o *Eucalyptus citriodora* e o *Eucalyptus grandis*, sobre diversos tipos de aço, em razão da maior quantidade de polifenóis presentes na madeira, ou seja, a quantidade de tanino encontrada no *Corimbia cloeziana* foi de 3,9%, enquanto que o *Eucalyptus citriodora* e o *Eucalyptus grandis* apresentaram 1,7% e 0,9%, respectivamente.

<sup>1</sup> MORI, F. A Componentes químicos da madeira. 2000. (Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFLA, Departamento de Ciências Florestais, 37200-000 Lavras, Minas Gerais, Brasil).

A idade do material, que possui polifenóis, também tem um efeito pronunciado sobre o processo de corrosão. Muitos polifenóis escurecem quando expostos ao ar e à luz do sol, indicando a ocorrência de oxidação ou polimerização, ou ambos. Contudo, os produtos finais, tanto do processo de oxidação como de polimerização, são, provavelmente, inativos ou ligeiramente corrosivos. É interessante notar que os compostos que contêm grupos vicinais tri-hidroxílicos são mais propensos à oxidação do que aqueles que contêm grupos ortodihidroxílicos (Hillis & McKenzie, 1964).

Alguns fatores, tais como o baixo teor de umidade e a baixa umidade relativa do ar, podem inibir a corrosão química, que praticamente não ocorre sob condições secas (Krilov, 1986). A corrosão das lâminas de aço usadas para serrar madeira aumenta, consideravelmente, em condições de umidade.

Estudos têm sido realizados sobre os aspectos fundamentais da corrosão química sobre as lâminas de aço das serras utilizadas para serrar madeira com o propósito de melhorar a visão do mecanismo de deterioração do aço por compostos polifenólicos, que ocorre na prática industrial. Essas investigações preliminares foram realizadas, principalmente, com um grupo de fenóis aromáticos, que produzem quelatos com íon férrico ativo. É esperado, entretanto, que os efeitos práticos dessas reações sejam mais importantes no futuro, quando a maior proporção do suprimento de material consistirá de madeira juvenil, com elevado conteúdo de polifenóis (Krilov & Gref, 1986).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de dois tipos de aço com as seguintes características:

- aço 1070: composto somente de 65% carbono mais ferro, sem elemento de liga;
- aço 6150: composto de 48% a 53% carbono, mais outros elementos de liga, com suas respectivas porcentagens, como o manganês 0,7% a 0,9%, silício 20% a 35%, fósforo, enxofre 0,40%, cromo 0,8% a 1,10% e o va-

nádio com 0,15%. O tamanho aproximado dos corpos-de-prova foi de 2,0 x 2,0 cm.

Foram utilizadas madeiras de diferentes espécies; a relação encontra-se na Tabela 1. De cada espécie foi obtida serragem fresca, oriunda de desdobro de toras em serra de fita simples, a qual foi diluída (saturada) em água para atuar como agente corrosivo natural.

Antes de cada ensaio, as amostras de aço foram identificadas, secadas e pesadas, sendo, em seguida, colocadas em uma caixa plástica provida de tampa.

O agente corrosivo, constituído de 50 g de serragem fresca (úmida) misturados a 50 ml de água destilada, foi preparado e colocado dentro da caixa plástica sobre as amostras de aço, as quais ficaram totalmente imersas (Krilov, 1986). A caixa, fechada hermeticamente, foi colocada em um banho-maria pré-aquecido a 75°C, que é considerada, segundo Krilov (1986), a temperatura média de reação que afeta a lâmina da serra em operação. O conjunto foi operado a 80 rotações por minuto (rpm). Tanto a temperatura quanto a taxa de fricção permaneceram constantes por todo o tempo do experimento.

O tempo de reação foi de quatro horas. Após esse tempo, o agente corrosivo foi descartado, as amostras lavadas, secadas e pesadas. Este procedimento representou uma repetição ou uma corrida completa. Foram realizadas dez corridas para cada conjunto de amostras de aço. Ao final, cada amostra foi processada por um período total de 40 horas. A corrosividade foi avaliada pela diferença de peso sofrida do início ao final do experimento. Foram utilizadas duas amostras de cada tipo de aço em cada corrida realizada, o que foi considerado como repetição.

Uma amostra da serragem fresca, de cada espécie avaliada, foi deixada secar ao ar livre em local coberto e bastante ventilado. Posteriormente, foi moída, em moinho tipo Willey e classificada nas peneiras de 0,50 e 0,149 mm, retirando-se o material que passou pela peneira de 0,50 e ficou retido na de 0,149 mm para as análises químicas.

**Tabela 1.** Relação das espécies avaliadas.**Table 1.** List of the appraised species.

Espécie	Número
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1
<i>Eucalyptus citriodora</i>	2
<i>Corimbia cloeziana</i>	3
<i>Eucalyptus deanei</i>	4
<i>Eucalyptus dunnii</i>	5
<i>Eucalyptus exserta</i>	6
<i>Eucalyptus grandis</i>	7
<i>Eucalyptus henuphloia</i>	8
<i>Eucalyptus maculata</i>	9
<i>Eucalyptus melanopholia</i>	10
<i>Eucalyptus mesophylla</i>	11
<i>Eucalyptus microcorys</i>	12
<i>Eucalyptus nesophylla</i>	13
<i>Eucalyptus paniculata</i>	14
<i>Eucalyptus phaeotricha</i>	15
<i>Eucalyptus pilularis</i>	16
<i>Eucalyptus punctata</i>	17
<i>Eucalyptus resinifera</i>	18
<i>Eucalyptus robusta</i>	19
<i>Eucalyptus rudio</i>	20
<i>Eucalyptus saligna</i>	21
<i>Eucalyptus siderophloia</i>	22
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	23
<i>Eucalyptus torelliana</i>	24
<i>Eucalyptus tradryphloia</i>	25
<i>Eucalyptus urophylla</i>	26
<i>Pinus spp</i>	27

As análises químicas das espécies utilizadas foram realizadas para quantificar os extrati-

vos solúveis em água fria e quente (Norma ABCP M 4/68) (ABTCP, 1974), e na seqüência tolueno e etanol, para quantificar o teor de taninos, que é um grupo de polifenóis presente na madeira. A quantificação do conteúdo de taninos foi feita pela extração em tolueno por período de 4 horas e, logo após, em etanol por um período de 6 horas ou até que o refluxo não apresente nenhuma coloração.

Na avaliação do experimento foi adotado o modelo inteiramente casualizado, na forma de um esquema fatorial com dois fatores (espécie e tipo de aço) e duas repetições. As variáveis utilizadas foram a corrosão total e acumulada total, medidas em  $\text{g/m}^2$ , a perda total e acumulada total, dadas em porcentagem.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 2, 3, 4 e 5 apresentam os resultados médios do desgaste químico em  $\text{g/m}^2$  e em porcentagem, devido à corrosão química provocada pela madeira nos dois tipos de aço utilizados, 1070 e 6150, respectivamente. Os valores de corrosão observados estão em conformidade com os obtidos por Trugilho et al. (1998), mas foram inferiores aos relatados por Krilov (1990). Verifica-se que existe uma grande variação no desgaste químico provocado pelas espécies avaliadas.

Pelos resultados, observa-se que o desgaste químico sobre os tipos de aço aumentou com o tempo de reação para todas as espécies avaliadas, o que era esperado. Inicialmente, a taxa do desgaste é mais intensa, tendendo a reduzir com o passar do tempo, para os dois tipos de aço avaliados.

As espécies que provocaram maiores desgastes, para o aço 1070, após 40 horas de reação, foram *Eucalyptus tradryphloia*, *Eucalyptus nesophylla* e *Eucalyptus siderophloia*, respectivamente, com 144,38, 133,88 e 127,50  $\text{g/m}^2$ , o que representa 2,22%, 2,06% e 1,97%. As espécies que provocaram menores desgastes foram *Eucalyptus phaeotricha*, *Eucalyptus sa-*

*ligna* e *Corimbia cloeziana*, respectivamente, com 56,25, 70,88 e 81,00 g/m<sup>2</sup>, representando 0,88%, 1,09% e 1,24%. Para o aço 6150, as espécies que causaram maiores desgastes foram *Eucalyptus tradryphloia*, *Eucalyptus nesophyla* e *Eucalyptus henuphloia* com desgastes respectivos de 114,81, 105,88 e 105,44 g/m<sup>2</sup>, representando 2,50%, 2,33% e 2,30%. Os menores desgastes foram provoca-

dos por *Eucalyptus phaeotricha*, *Eucalyptus saligna* e *Corimbia cloeziana*, respectivamente, com 49,25, 66,75 e 68,13 g/m<sup>2</sup>, o que representa 1,04%, 1,45% e 1,45%.

Observa-se que o *Eucalyptus tradryphloia* e o *Eucalyptus phaeotricha* foram as espécies que provocaram, respectivamente, o maior e o menor desgaste químico, para os dois tipos de aço avaliados.

**Tabela 2.** Desgaste químico médio (g/m<sup>2</sup>) para o aço 1070.

**Table 2.** Average chemical waste (g/m<sup>2</sup>) for the steel 1070.

Espécie	Tempo (h)									
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
1	13,00	27,19	42,06	59,81	70,69	79,75	90,81	95,31	100,69	108,13
2	14,12	30,50	40,75	56,50	67,75	74,75	82,25	86,25	91,25	97,00
3	13,37	28,62	37,75	42,50	55,50	62,00	72,25	76,37	78,87	81,00
4	15,06	32,81	51,12	66,50	80,19	91,81	100,50	107,50	114,50	121,63
5	17,06	34,50	49,56	64,25	73,06	85,56	94,25	101,75	108,31	111,94
6	15,87	33,87	46,88	60,94	69,63	78,56	86,31	91,56	96,00	100,88
7	19,50	39,06	49,75	61,56	74,69	86,25	94,62	103,94	109,56	114,88
8	12,94	31,19	44,44	57,50	65,87	73,25	82,31	86,88	92,44	99,25
9	24,13	45,63	62,38	73,31	83,75	96,19	104,50	109,63	116,94	122,56
10	14,94	30,06	48,50	64,56	78,63	89,94	99,88	106,94	113,69	124,63
11	18,25	33,38	47,13	58,44	69,38	78,00	85,88	98,06	107,69	114,94
12	19,37	40,25	52,25	61,88	72,12	79,12	83,50	86,37	90,63	92,13
13	16,00	32,38	50,75	71,25	86,13	96,75	107,75	116,13	124,50	133,88
14	12,00	27,25	36,50	53,37	64,00	68,38	75,25	81,50	90,00	93,87
15	11,13	23,50	32,63	41,00	44,00	47,15	49,87	52,75	55,00	56,25
16	10,81	31,50	51,81	63,94	72,37	79,31	84,19	88,31	96,44	101,50
17	12,06	27,38	39,88	57,31	65,25	75,56	83,25	89,00	93,94	97,63
18	13,37	27,63	41,38	58,62	64,50	73,87	79,87	87,13	93,00	99,37
19	16,50	33,62	44,00	51,50	54,75	63,75	69,00	75,75	82,50	89,12
20	11,75	30,94	51,00	64,00	71,81	76,94	83,06	87,75	90,75	98,87
21	12,63	23,37	38,87	47,00	51,13	56,50	59,87	62,75	65,87	70,88
22	15,06	30,63	46,25	61,50	75,38	89,44	100,44	110,63	117,94	127,50
23	13,50	27,25	43,75	53,50	65,17	75,75	82,58	94,08	101,67	107,83
24	16,00	27,13	39,38	51,19	62,50	71,50	78,94	89,00	95,38	100,81
25	16,12	34,63	52,50	67,69	83,75	98,31	110,25	120,50	131,06	144,38
26	14,17	34,17	50,17	61,42	76,75	89,33	95,75	103,92	109,33	116,08
27	11,04	23,17	39,67	55,46	70,17	81,62	90,25	97,21	106,29	113,58

**Tabela 3.** Desgaste químico médio (%) para o aço 1070.**Table 3.** Average chemical waste (%) for the steel 1070.

Espécie	Tempo (h)									
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
1	0,20	0,42	0,65	0,92	1,09	1,23	1,40	1,46	1,55	1,66
2	0,22	0,47	0,63	0,87	1,05	1,15	1,27	1,33	1,41	1,50
3	0,21	0,44	0,58	0,65	0,85	0,95	1,11	1,17	1,21	1,24
4	0,23	0,50	0,77	1,01	1,21	1,39	1,52	1,63	1,73	1,84
5	0,26	0,53	0,75	0,98	1,11	1,30	1,43	1,55	1,65	1,70
6	0,25	0,53	0,73	0,95	1,09	1,23	1,35	1,43	1,50	1,58
7	0,30	0,60	0,77	0,95	1,15	1,33	1,46	1,60	1,69	1,77
8	0,20	0,48	0,68	0,88	1,01	1,12	1,26	1,33	1,42	1,52
9	0,37	0,71	0,97	1,14	1,30	1,49	1,62	1,70	1,81	1,90
10	0,23	0,47	0,76	1,01	1,22	1,40	1,56	1,67	1,77	1,94
11	0,28	0,52	0,73	0,91	1,08	1,21	1,33	1,52	1,67	1,78
12	0,29	0,60	0,78	0,93	1,08	1,18	1,25	1,29	1,36	1,38
13	0,25	0,50	0,78	1,10	1,33	1,49	1,66	1,79	1,92	2,06
14	0,19	0,44	0,58	0,85	1,02	1,09	1,19	1,29	1,43	1,49
15	0,17	0,37	0,51	0,64	0,69	0,74	0,78	0,83	0,86	0,88
16	0,17	0,48	0,80	0,98	1,11	1,22	1,29	1,36	1,48	1,56
17	0,19	0,43	0,63	0,91	1,04	1,20	1,32	1,41	1,49	1,55
18	0,20	0,42	0,63	0,89	0,98	1,12	1,21	1,32	1,41	1,51
19	0,26	0,53	0,69	0,80	0,86	1,00	1,08	1,18	1,29	1,39
20	0,18	0,47	0,78	0,98	1,10	1,18	1,27	1,34	1,39	1,51
21	0,19	0,36	0,60	0,72	0,78	0,87	0,92	0,96	1,01	1,09
22	0,23	0,48	0,72	0,95	1,17	1,39	1,56	1,71	1,83	1,97
23	0,21	0,42	0,68	0,83	1,01	1,18	1,28	1,46	1,58	1,67
24	0,25	0,43	0,62	0,81	0,98	1,13	1,24	1,40	1,50	1,59
25	0,25	0,53	0,81	1,04	1,29	1,51	1,69	1,85	2,01	2,22
26	0,22	0,53	0,78	0,95	1,19	1,39	1,48	1,61	1,69	1,80
27	0,17	0,36	0,62	0,86	1,09	1,27	1,40	1,51	1,65	1,76

**Tabela 4.** Desgaste químico médio ( $\text{g/m}^2$ ) para o aço 6150.  
**Table 4.** Average chemical waste ( $\text{g/m}^2$ ) for the steel 6150.

Espécie	Tempo (h)									
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
1	7,50	17,31	27,37	34,12	43,19	53,06	64,00	69,75	76,13	87,25
2	10,50	19,88	26,38	36,00	45,63	52,38	60,00	65,63	73,25	79,00
3	9,00	18,37	24,13	29,00	41,25	45,75	53,75	58,63	62,88	68,13
4	9,19	21,94	32,44	41,75	53,00	60,69	67,81	74,50	80,62	86,81
5	13,50	29,19	42,75	53,50	64,56	69,69	78,12	86,56	91,00	94,75
6	11,56	23,63	34,06	46,63	55,31	63,94	71,25	78,50	83,13	90,06
7	15,00	31,81	41,25	49,06	57,94	65,13	73,31	81,13	86,25	90,06
8	9,38	23,56	39,31	51,81	62,00	71,31	80,19	87,00	95,00	105,44
9	21,63	33,56	45,56	54,19	63,19	69,44	76,06	82,81	88,69	96,31
10	10,06	21,81	32,87	44,12	55,94	65,94	73,94	81,06	89,31	98,50
11	12,75	23,94	34,56	44,56	52,31	61,44	68,87	78,19	85,50	92,25
12	12,00	25,87	36,75	44,00	50,75	58,50	64,12	70,38	73,38	76,50
13	12,75	24,38	37,25	48,62	58,50	67,75	76,75	85,62	96,25	105,88
14	7,87	18,25	25,75	40,50	48,50	55,88	59,75	65,62	74,62	79,25
15	6,63	13,00	18,87	22,75	30,50	34,38	37,88	42,25	45,88	49,25
16	7,81	18,06	29,88	38,31	47,19	53,44	60,00	65,44	72,19	78,06
17	8,88	20,44	29,25	39,69	45,94	54,69	59,44	66,25	71,13	75,44
18	9,12	19,12	27,75	36,50	41,50	47,62	53,25	56,12	61,37	68,25
19	10,62	19,25	31,75	38,25	42,38	47,00	52,63	58,88	63,63	71,62
20	7,56	17,31	29,94	38,06	42,38	46,88	54,25	59,38	64,56	70,50
21	6,62	14,50	22,50	28,75	36,87	42,12	46,37	55,25	60,25	66,75
22	10,50	20,88	30,88	40,81	50,56	61,38	71,44	78,50	85,63	97,31
23	7,50	17,08	27,67	36,33	49,92	59,17	64,50	74,25	80,67	88,50
24	13,25	22,50	33,06	42,19	49,62	57,62	63,44	73,94	80,50	85,31
25	8,38	20,69	33,56	45,94	59,63	72,94	85,25	93,63	103,69	114,81
26	10,92	23,67	33,92	43,08	56,83	64,33	70,08	80,33	88,83	103,25
27	7,50	16,21	23,33	32,75	41,96	48,08	54,87	59,12	66,04	71,71



**Tabela 5.** Desgaste químico médio (%) para o aço 6150.**Table 5.** Average chemical waste (%) for the steel 6150.

Espécie	Tempo (h)									
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
1	0,15	0,36	0,56	0,70	0,88	1,09	1,31	1,43	1,56	1,79
2	0,23	0,44	0,59	0,80	1,02	1,17	1,34	1,46	1,63	1,76
3	0,19	0,39	0,51	0,62	0,87	0,97	1,14	1,25	1,34	1,45
4	0,20	0,48	0,71	0,92	1,17	1,34	1,49	1,64	1,78	1,91
5	0,29	0,62	0,91	1,14	1,37	1,48	1,66	1,84	1,94	2,02
6	0,24	0,50	0,72	0,98	1,16	1,34	1,50	1,65	1,75	1,89
7	0,32	0,67	0,87	1,04	1,22	1,38	1,55	1,71	1,82	1,90
8	0,20	0,49	0,82	1,08	1,29	1,49	1,67	1,82	1,98	2,20
9	0,46	0,72	0,98	1,16	1,35	1,49	1,63	1,77	1,90	2,06
10	0,21	0,46	0,69	0,92	1,17	1,38	1,55	1,70	1,87	2,06
11	0,28	0,52	0,76	0,98	1,15	1,35	1,51	1,71	1,87	2,02
12	0,26	0,56	0,79	0,95	1,09	1,25	1,37	1,51	1,57	1,64
13	0,28	0,53	0,82	1,07	1,29	1,49	1,69	1,89	2,12	2,33
14	0,17	0,39	0,56	0,87	1,05	1,20	1,29	1,41	1,61	1,71
15	0,14	0,28	0,40	0,48	0,65	0,73	0,80	0,89	0,97	1,04
16	0,17	0,39	0,64	0,82	1,00	1,14	1,28	1,39	1,54	1,66
17	0,19	0,44	0,62	0,85	0,98	1,17	1,27	1,41	1,52	1,61
18	0,19	0,40	0,58	0,76	0,87	1,00	1,12	1,18	1,29	1,43
19	0,23	0,42	0,70	0,84	0,92	1,03	1,15	1,28	1,39	1,56
20	0,16	0,38	0,65	0,83	0,92	1,02	1,18	1,29	1,41	1,54
21	0,14	0,31	0,49	0,62	0,80	0,91	1,01	1,20	1,31	1,45
22	0,20	0,41	0,60	0,79	0,99	1,20	1,39	1,53	1,67	1,91
23	0,16	0,36	0,57	0,76	1,04	1,23	1,34	1,54	1,68	1,84
24	0,27	0,46	0,68	0,86	1,02	1,18	1,29	1,51	1,64	1,74
25	0,18	0,45	0,73	1,00	1,30	1,59	1,86	2,04	2,26	2,50
26	0,23	0,51	0,73	0,92	1,22	1,38	1,50	1,72	1,90	2,20
27	0,16	0,35	0,51	0,72	0,92	1,05	1,20	1,29	1,44	1,56

A Tabela 6 apresenta os valores médios das variáveis utilizadas na análise do experimento inteiramente casualizado em esquema de fatorial, ou seja, o desgaste químico total (COR) e acumulado total (CORAC), dados em  $\text{g/m}^2$ , a perda total (PERDA) e acumulada total (PERDAAC), dados em porcentagem, para os dois tipos de aço avaliados.

**Tabela 6.** Variáveis usadas na avaliação do esquema fatorial para os dois tipos de aço.

**Table 6.** Variables used in the evaluation of the factorial experiment for two types of steel.

Espécie	AÇO 1070				AÇO 6150			
	COR	CORAC	PERDA	PERDAAC	COR	CORAC	PERDA	PERDAAC
1	108,13	32,47	1,66	0,4991	87,25	21,58	1,79	0,4421
2	97,00	31,37	1,50	0,4842	79,00	22,22	1,76	0,4963
3	81,00	27,27	1,24	0,4192	68,13	19,54	1,45	0,4154
4	121,63	37,29	1,84	0,5639	86,81	24,69	1,91	0,5440
5	111,94	36,30	1,70	0,5525	94,75	30,45	2,02	0,6482
6	100,88	33,81	1,58	0,5290	90,06	26,58	1,89	0,5590
7	114,88	37,62	1,77	0,5805	90,06	29,64	1,90	0,6265
8	99,25	31,48	1,52	0,4824	105,44	28,73	2,20	0,5996
9	122,56	43,18	1,90	0,6685	96,31	33,01	2,06	0,7073
10	124,63	36,43	1,94	0,5675	98,50	26,40	2,06	0,5523
11	114,94	35,03	1,78	0,5428	92,25	26,61	2,02	0,5830
12	92,12	35,50	1,38	0,5310	76,50	25,46	1,64	0,5473
13	133,88	39,35	2,06	0,6063	105,88	28,86	2,33	0,6352
14	93,87	28,91	1,49	0,4602	79,25	21,92	1,71	0,4726
15	56,25	21,53	0,88	0,3375	49,25	14,41	1,04	0,3051
16	101,50	32,86	1,56	0,5048	78,06	21,83	1,66	0,4653
17	97,63	30,56	1,55	0,4849	75,44	22,32	1,61	0,4760
18	99,38	30,86	1,51	0,4685	68,25	20,39	1,43	0,4274
19	89,12	29,96	1,39	0,4682	71,62	21,45	1,56	0,4687
20	98,88	32,55	1,51	0,4983	70,50	20,35	1,54	0,4430
21	70,88	24,87	1,09	0,3810	66,75	17,46	1,45	0,3789
22	127,50	36,29	1,97	0,5624	97,31	25,26	1,91	0,4925
23	106,50	31,31	1,67	0,4904	88,63	22,87	1,83	0,4665
24	100,81	30,75	1,59	0,4842	85,31	25,34	1,74	0,5187
25	144,38	40,20	2,22	0,6171	114,81	28,09	2,50	0,6119
26	118,88	35,94	1,82	0,5515	103,00	26,99	2,30	0,5858
27	113,58	31,39	1,76	0,4869	71,71	19,43	1,56	0,4246

COR = corrosão total ( $\text{g/m}^2$ ); CORAC = corrosão acumulada total ( $\text{g/m}^2$ ); PERDA = perda total (%); PERDAAC = perda acumulada total (%).

A Tabela 7 apresenta o resumo da análise de variância para o esquema fatorial. Pode-se observar que os efeitos de aço, espécie e interação foram significativos, com exceção da variável perda acumulada (PERDAAC) em que o efeito de aço foi não significativo. A interação significativa indica que o comportamento de um fator depende dos níveis do outro fator. Nesse caso, optou-se por estudar o

comportamento de um fator dentro do outro, ou seja, espécie dentro de aço, conforme pode ser observado na Tabela 8.

Pela Tabela 8 verifica-se que, para todas as variáveis utilizadas, o comportamento das espécies foi diferenciado para os dois tipos de aço, tendo em vista que os efeitos de espécie dentro de aço foram significativos, ou seja, cada espécie apresentou padrão de desgaste diferente.

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância para o experimento fatorial.

**Table 7.** Summary of the variance analysis for the factorial experiment.

F.V	G.L.	COR	CORAC	PERDA	PERDAAC
		QM	QM	QM	QM
Aço (A)	1	11249,79**	2189,59**	0,926097**	0,183E-03 <sup>NS</sup>
Espécie (E)	26	1059,07**	75,56**	0,345814**	0,250E-01**
A x E	26	100,79**	5,41**	0,299E-01**	0,205E-02**
Resíduo	54	43,47	2,94	0,7158E-02	0,657E-03

\*\* e <sup>NS</sup> significativo e não significativo a 1% de probabilidade; COR = corrosão total em g/m<sup>2</sup>; CORAC = corrosão total acumulada em g/m<sup>2</sup>; PERDA = perda total em %; PERDAAC = perda acumulada total em %.

**Tabela 8.** Resumo da análise de variância para o estudo do fator espécie dentro de aço.

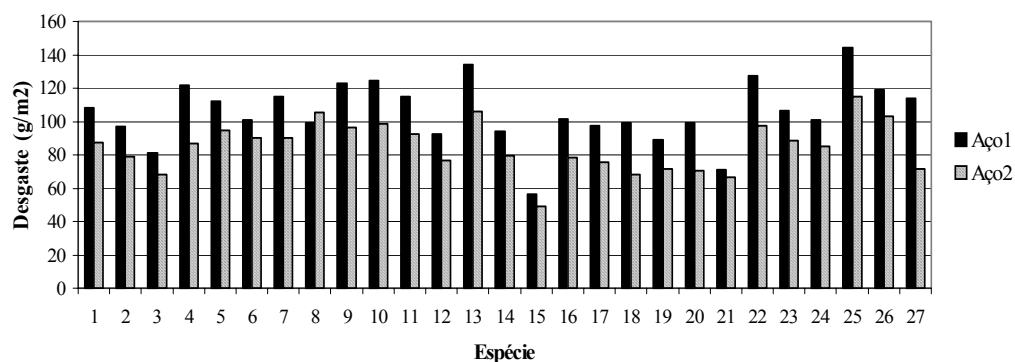
**Table 8.** Summary of the variance analysis for the study of the factor species inside steel.

F.V	G.L.	COR	CORAC	PERDA	PERDAAC
		QM	QM	QM	QM
Aço	1	11249,79**	2189,59**	0,92609**	0,000183 <sup>NS</sup>
Espécie/Aço	52	569,67**	40,49**	0,18799**	0,013563**
Espécie/Aço1	26	715,94**	43,94**	0,16819**	0,009970**
Espécie/Aço2	26	423,40**	37,03**	0,20779**	0,017157**
Resíduo	54	43,47	2,94	0,00715	0,000657

\*\* e <sup>NS</sup> significativo e não significativo a 1% de probabilidade; COR = corrosão total em g/m<sup>2</sup>; CORAC = corrosão total acumulada em g/m<sup>2</sup>; PERDA = perda total em %; PERDAAC = perda acumulada total em %.

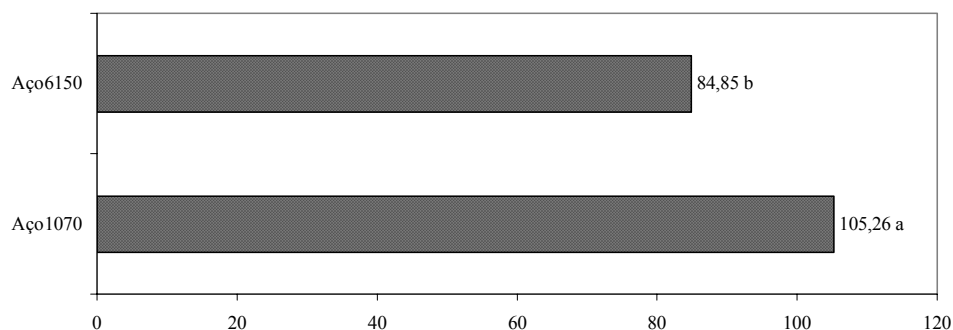
A Figura 1 ilustra a variação da corrosão média total (COR) por espécie de aço e a Figura 2 ilustra a diferença entre os dois tipos de aço usados. Pela Figura 1 observa-se que todas as espécies avaliadas, com exceção do *Eucalyptus henuphloia*, foram mais corrosivas para o aço 1070. Este resultado está relacionado com o fato deste tipo de aço não apresentar nenhum elemento de liga, sendo composto de 65% carbono mais

ferro. Já o aço 6150, que é formado por 48% a 53% de carbono e apresenta elementos de liga, como manganês, silício, fósforo, enxofre, cromo e vanádio, assegura maior resistência à corrosão química. A Figura 2 mostra a corrosão total média ( $\text{g/m}^2$ ) sofrida pelos dois tipos de aço. Os resultados demonstraram, conforme a Figura 2,



**Figura 1.** Desgaste químico total médio ( $\text{g/m}^2$ ) provocado pela espécie para o aço 1070 (aço 1) e 6150 (aço 2)

**Figure 1.** Average total chemical waste ( $\text{g/m}^2$ ) caused by the species for the steel 1070 (steel 1) and 6150 (steel 2)



**Figura 2.** Desgaste químico total médio ( $\text{g/m}^2$ ) para os dois tipos de aço avaliados

**Figure 2.** Average total chemical waste ( $\text{g/m}^2$ ) for the two types of steel appraised

que o aço 1070 foi mais susceptível à corrosão que o 6150, o que foi evidenciado pelo teste comparação múltipla de Tukey, a 1% de probabilidade. Este fato indica que o consumidor deve tomar cuidado ao for adquirir o produto, devendo obter maiores informações sobre as características específicas de cada tipo de aço, para que possa adquirir um produto de melhor qualidade.

A Tabela 9 apresenta os valores médios da solubilidade da madeira em água fria e quente e na seqüência tolueno e etanol para as espécies avaliadas. Verifica-se que existe uma grande variação da solubilidade da madeira entre as espécies avaliadas. Observa-se que as espécies que apresentaram os maiores teores de extrativos em água quente foram o *Eucalyptus rudio* e *Eucalyptus camaldulensis* com 15,03% e 10,97%, respectivamente. As espécies que apresentaram as menores porcentagens foram o *Eucalyptus mesophyla* (1,71%) e *Eucalyptus microcorys* (1,90%). Para a análise em água fria, as espécies que apresentaram as maiores porcentagens foram o *Eucalyptus rudio* (11,79%) e *Corimbia cloeziana* (8,13%), e as espécies com os menores teores foram, respectivamente, o *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus mesophyla* com 1,15% e 1,36%.

Para a solubilidade em tolueno, as espécies que apresentaram as maiores porcentagens foram *Eucalyptus punctata* e *Eucalyptus phaeotricha* com 4,30% e 3,94%, respectivamente e as com menores foram *Eucalyptus robusta* (0,13%) e *Eucalyptus microcorys* (0,27%). Para extração em etanol, as espécies com maiores teores de extrativos foram *Eucalyptus rudio* (7,34%) e *Eucalyptus tradryphloia* (5,99%); as com menores teores foram o *Eucalyptus microcorys* e *Eucalyptus punctata*, ambos com 0,77%.

A Tabela 10 apresenta as correlações entre as características de corrosão e de solubilidade das madeiras avaliadas. Pelos resultados observa-se que existe uma correlação significativa e positiva entre a corrosão (desgaste) total, em  $\text{g/m}^2$  (COR) e em porcentagem (PERDA), com o teor de extrativos em etanol, para os dois tipos de aço avaliados. A fração da madeira solúvel em etanol é representada principalmente pelas substâncias fenólicas (taninos), as quais são as responsáveis pela corrosão química em metais. O valor da correlação foi baixo devido, provavelmente, a diferenças na composição química dos materiais fenólicos solubilizados em função da espécie. Isso indica que não é a quantidade de material solubilizado que provoca a corrosão, sendo mais importante a qualidade do extrativo obtido.

Para o aço 6150 verifica-se que existe uma correlação significativa e negativa entre a corrosão acumulada total, dada em  $\text{g/m}^2$  (CORAC) e em porcentagem (PERDAAC), com o teor de extrativos em tolueno. A fração da madeira solúvel em tolueno é representada pelas gomas, resinas, óleos, gorduras, ceras, graxas, carboidratos de baixo peso molecular, etc. os quais não provocam desgaste químico em metais.

A fração da madeira solúvel em água não apresentou correlação com as variáveis utilizadas. Esta fração é representada por sais inorgânicos, açúcares, frações de polissacarídeos, do amido e substâncias pécticas, mucilagens, taninos hidrolizáveis e alguns pigmentos coloridos. Apesar da água solubilizar uma fração fenólica, representada pelo tanino hidrolizável, esta não apresentou nenhuma relação com o processo corrosivo.

**Tabela 9.** Valores médios da solubilidade da madeira em água fria e quente e na seqüência tolueno e etanol.

**Table 9.** Average values of the solubility of the wood in hot and cold water and in the sequence toluene and ethanol.

Espécie	Água fria (%)	Água quente (%)	Tolueno (%)	Etanol (%)
1	7,22	10,97	2,43	5,20
2	3,45	3,78	3,23	1,51
3	8,13	8,01	2,20	3,99
4	4,28	6,41	2,65	2,26
5	3,03	3,77	0,54	2,16
6	6,58	8,62	2,74	4,84
7	1,87	4,11	0,28	3,26
8	6,45	9,39	1,02	4,06
9	4,01	3,15	1,77	1,12
10	4,98	7,92	2,82	3,42
11	1,36	1,71	1,11	0,97
12	1,86	1,90	0,27	0,77
13	3,95	5,16	1,88	3,96
14	2,21	2,73	0,95	1,73
15	5,71	6,53	3,94	1,66
16	4,39	6,66	0,60	2,90
17	2,98	5,01	4,30	0,77
18	5,58	6,63	1,40	2,40
19	1,15	1,97	0,13	1,32
20	11,79	15,03	1,54	7,34
21	2,95	5,51	1,28	2,01
22	2,80	5,00	3,19	3,37
23	4,65	6,54	0,80	4,81
24	5,04	6,58	0,45	3,49
25	7,97	9,14	2,94	5,99
26	6,06	9,75	1,26	4,76
27	4,07	4,55	3,80	2,35

**Tabela 10.** Correlações entre as características de desgaste e a solubilidade da madeira.

**Table 10.** Correlations between the waste characteristics and wood solubility.

	AÇO 1070				AÇO 6150			
	AQ	AF	TOL	ETA	AQ	AF	TOL	ETA
COR	0,05	0,03	0,09	0,29*	0,10	0,01	-0,06	0,31*
CORAC	-0,06	-0,07	-0,07	0,13	-0,14	-0,17	-0,24*	0,04
PERDA	0,04	-0,01	0,10	0,29*	0,08	0,01	-0,07	0,30*
PERDAAC	-0,08	-0,08	-0,07	0,14	-0,17	-0,17	-0,25*	0,01

AQ e AF = água quente e fria; TOL = tolueno; ETA = etanol; COR = corrosão total em  $\text{g/m}^2$ ; CORAC = corrosão total acumulada em  $\text{g/m}^2$ ; PERDA = perda total em %; PERDAAC = perda acumulada total em %.

## 5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que:

A corrosão foi mais pronunciada à medida que aumentou o tempo de reação para todas as espécies pesquisadas, tendo sido mais intensa no início do ensaio;

Os dois tipos de aço avaliados comportaram-se diferentemente no processo de corrosão química, ou seja, o aço 1070 mostrou ser mais susceptível à corrosão que o aço 6150;

*Eucalyptus tradryphloia* e o *Eucalyptus phaeotricha* foram as espécies que provocaram, respectivamente, maior e menor corrosão química para os dois tipos de aço avaliados;

Os efeitos de aço, espécie e interação foram significativos, com exceção da variável perda acumulada (PERDAAC) em que o efeito de aço foi não significativo;

Existe grande variação no desgaste químico devido ao efeito da espécie, a qual está relacionada com a qualidade do material solubilizado em etanol;

Teor de extrativos em etanol apresentou correlação significativa e positiva com a corro-

são (desgaste) total, em  $\text{g/m}^2$  (COR) e em porcentagem (PERDA), para os dois tipos de aço avaliados;

Teor de extrativos em tolueno apresentou correlação significativa e negativa com a corrosão acumulada total, dada em  $\text{g/m}^2$  (CORAC) e em porcentagem (PERDAAC), para o aço 6150;

A fração da madeira solúvel em água, quente e fria, não apresentou correlação com a corrosão química.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL-ABTCP. **Normas técnicas ABCP**. São Paulo: ABTCP, 1974. n. p.
- BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: John Wiley, 1963. 689 p.
- FERNANDES, F.; LUFT, C. P.; GUIMARÃES, F. M. **Dicionário Brasileiro Globo**. 22. ed. São Paulo: Globo, 1991.
- HILLIS, W. E.; McKENZIE, W. M. Chemical attack as a factor in the wood-working cutters.

**Forestry Products Journal**, Madison, v. 14, n. 4, p. 310-312, Apr. 1964.

KRILOV, A.; GREF, R. Mechanism of sawblade corrosion by polyphenolic compounds. **Wood Science and Technology**, New York, v. 20, n. 4, p. 369-375, 1986.

KRILOV, A. Corrosion and wear of sawblade steels. **Wood Science and Technology**, New York, v. 20, n. 4, p. 361-368, 1986.

KRILOV, A. Corrosive properties of "stringybark" eucalypts. **Wood Science and Technology**, New York, v. 24, n. 2, p. 113-121, 1990.

TRUGILHO, P. F.; CAIXETA, R. P.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M. da. Corrosão química provocada nas lâminas de aço usadas nas serras para o desdobro da madeira de eucaliptos. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA - EBRAMEM, 6., 1998, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC, 1998. v.3, p. 417-425.