

COMPORTAMENTO DIMENSIONAL DA MADEIRA DE CERNE E ALBURNO UTILIZANDO-SE A METODOLOGIA DE ANÁLISE DE IMAGEM SUBMETIDA A DIFERENTES TEMPERATURAS

Dimas Agostinho da Silva¹, Paulo Fernando Trugilho²

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi verificar o comportamento dimensional de madeira de cerne e alburno submetida a diferentes temperaturas. Avaliaram-se as reduções nas dimensões lineares, seccional e volumétrica da madeira do cerne e alburno de *Hymeneae courbaril* L submetida às temperaturas finais de 200°, 300°, 400°, 500°, 600°, 700°, 800° e 900°C, em um forno elétrico com taxa média de aquecimento de 1,3°C/minuto. Para a medição das dimensões, realizada antes e após os tratamentos térmicos, utilizou-se um analisador de imagem (Midro-Videomat Zeiss). Obtiveram-se, com base nas leituras individuais realizadas no analisador imagem, as taxas de redução linear longitudinal e transversal, seccional longitudinal e transversal e volumétrica. Os resultados mostraram que para 100°C de elevação na temperatura, ocorreu uma taxa de redução média de 2,55% e 4,24%, 5,95% e 7,21% e 8,36% nas dimensões linear longitudinal e transversal, seccional longitudinal e transversal e volumétrica, respectivamente para o cerne. Para o alburno, os valores foram de, respectivamente, 2,64% e 5,02%, 6,70% e 8,17% e 9,15%. Para os dois, materiais a maior taxa de redução nas dimensões ocorreu nas temperaturas entre 300° e 500°C. O cerne apresentou maior resistência à ação da temperatura, porém sua decomposição térmica foi mais pronunciada que a do alburno na faixa de temperatura compreendida entre 200° e 300°C. Este comportamento é semelhante ao da lignina em relação à celulose.

Palavras-Chave: comportamento dimensional, madeira, cerne, alburno.

DIMENSIONAL BEHAVIOR OF THE WOOD OF SAPWOOD AND HEARTWOOD FOR ANALYSIS OF IMAGE SUBMITTED IN DIFFERENT TEMPERATURES

ABSTRACT: The objective of this work was to verify the dimensional behavior of heartwood wood and sapwood submitted to different temperatures. It was evaluated volumetric, sectional and linear dimension reduction in heartwood and sapwood of *Hymeneae courbaril* L submitted to final temperatures of 200°, 300°, 400°, 500°, 600°, 700°, 800° and 900°C, in an electric kiln with medium rate of heating of 1.3°C/minute. For the measurement of the dimensions, accomplished before and after the thermal treatments, an image analyzer (Midro-Videomat Zeiss) was used. It was obtained, with base in the individual readings accomplished in the image analyzer, the rates of longitudinal and traverse linear, longitudinal and traverse sectional and volumetric reduction. The results showed that temperature increase of 100°C, average reduction rate reached 2.55% and 4.24%, 5.95% and 7.21%

¹ Professor da Universidade Federal do Paraná – UFPR

² Professor do Departamento de Ciências Florestais da UFLA. Cx. Postal 37. CEP 37200-000, Lavras, MG.

and 8.36% in the longitudinal and traverse linear dimensions, longitudinal and traverse sectional and volumetric, respectively, for heartwood. For sapwood the values were, respectively, 2.64% and 5.02%, 6.70% and 8.17% and 9.15%. For both sapwood and heartwood the largest reduction rates occurred in temperatures between 300° and 500⁰C. The heartwood presented larger resistance to the action of the temperature, however its thermal decomposition was more pronounced than that of sapwood in the temperature range of 200-300⁰C. This behavior is similar to that of lignin in relation to cellulose.

Key words: dimensional behavior, wood, heartwood, sapwood.

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material altamente heterogêneo. Variações entre e dentro das espécies são atribuídas, principalmente, a fatores genéticos e ambientais. Diferenças significativas ocorrem entre o alburno e cerne, madeira de início e madeira de fim de estação de crescimento, e, em escala microscópica, observa-se diferença até mesmo entre células individuais.

A transformação do alburno em cerne é conhecida como processo de cernificação. Este processo é caracterizado pela morte das células do parênquima radial, consumo de amido, aumento no conteúdo de extrativos e tiloses (em alguns gêneros), consumo de oxigênio e liberação de CO₂. O aumento no conteúdo de extrativos, especialmente de polifenóis, se deve à alteração da atividade celular ou fisiológica (Higuchi, 1997).

O cerne apresenta diferenças marcantes em relação ao alburno, as quais podem ser interessantes ou não de acordo com a utilização da madeira. Algumas das diferenças mais importantes são: a) o cerne contém mais compostos fenólicos e ácidos e menos amido que o alburno, b) a lignina do cerne apresenta um peso molecular mais elevado e é mais condensada, c) o cerne de coníferas contém mais extrativos e menos lignina e celulose, enquanto que em folhosas essas diferenças não são consistentes (Browning, 1963); d) o cerne apresenta menor teor de umidade devido à redução da atividade fisiológica; e) o cerne é menos permeável, possui tecido mais compacto e, geralmente, menos denso que o alburno (Burger & Richter, 1991). Também as diferenças

na composição química, física e morfológica da madeira são variáveis entre e dentro das espécies, o que leva à geração de produtos distintos.

Tais diferenças existentes entre cerne e alburno fazem com que estes materiais tenham comportamento muito diferenciado, tanto do ponto de vista físico, como químico e morfológico. Dessa forma, o cerne e o alburno apresentarão comportamento distinto de acordo com a forma de utilização da madeira. Do ponto de vista da degradação térmica, é de se esperar que o cerne e alburno também apresentem diferenças, uma vez que sua composição química é variável. A decomposição térmica de materiais celulósicos é um assunto bem estudado, porém, a avaliação da variação dimensional sofrida pela madeira em altas temperaturas ainda não é bem conhecida.

É fato conhecido que a madeira sob ação do calor sofre variações em suas dimensões, seja linear, superficial e volumétrica. Em temperaturas mais elevadas, sofre um processo de transformação no qual todos os seus componentes são exaustivamente modificados (Gomes & Oliveira, 1982). Como resultado, suas dimensões reduzem de acordo com a elevação da temperatura. Tradicionalmente, em diversos usos, a madeira é submetida a distintas temperaturas, incluindo a secagem e o processo pirolítico.

Na faixa de temperatura final superior a 200°C, indo até 900°C, existem poucas informações quanto ao comportamento dimensional, notadamente quando se consideram espécies florestais em uso no Brasil. Usualmente, para energia, a madeira é submetida a faixas amplas de temperatura e distintos processos: até 100°C ocorre a secagem da madeira; produção de madeira "tor-

rada" de 200° a 300°C; carbonização de 400° a 500°C e gaseificação em temperatura superior a 600°C, além da combustão direta da madeira.

É importante conhecer o comportamento da taxa de variação dimensional de madeiras quando submetidas a tais processos, tanto para uso na queima direta quanto na produção de carvão vegetal, além de cálculos de rendimento volumétrico e conferir volume estocado.

A taxa de variação dimensional ou de redução nas dimensões da madeira, para efeito deste trabalho, representa o quanto diminui determinada peça de madeira quando submetida a cada temperatura final nas formas de comprimento ou linear, de seção e também em volume.

Um dos itens que mais dificulta o estudo da variação dimensional de madeiras submetidas no processo de pirólise é a determinação do seu volume, mais ainda pela maneira como ele se comporta frente ao aquecimento, pois, notadamente, se apresenta de maneira amorfa.

Uma grande variedade de métodos tem sido usada para medir e quantificar diferentes parâmetros na madeira. O uso de sistema de análise de imagens no estudo de caracteres de madeira tem sido propagado, mais precisamente no estudo anatômico (Trenard & Guineau, 1975; Grosskopf, 1976). Huber (1980) desenvolveu tal sistema para estudos quantitativos de madeiras, especialmente em áreas próximas à zona cambial, com auxílio de um analisador de imagem. Lee & Rosen (1983) aplicaram o método de microscopia automatizada na determinação de área das paredes e lúmens celulares, empregando o mesmo princípio do sistema de análise de imagem desenvolvido por Ellis et al., 1980. Segundo Vetter & Botosso (1985), o uso deste sistema tem se demonstrado apropriado na análise de forma e dimensões dos objetos lenhosos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as reduções nas dimensões linear, seccional e volumétrica para a madeira do cerne e alburno submetida a diferentes temperaturas, utilizando-se o processo de análise de imagem para a medição das amostras.

2 MATERIAL E MÉTODO

Esta pesquisa foi desenvolvida nos laboratórios do Centro de Pesquisas de Produtos Florestais do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, localizado em Manaus, AM.

Utilizou-se, no presente trabalho, madeira da espécie *Hymeneae courbaril* L., jatobá, pois permite uma fácil separação de amostras relativas ao alburno e ao cerne. O tronco foi seccionado, separando-se mecanicamente o alburno e o cerne. Destes materiais, foram retirados corpos-de-prova em forma de paralelepípedo com dimensões em torno de 30 mm de comprimento, sentido paralelo às fibras e seção de 20 x 20 mm, sentido perpendicular às fibras, conforme descreve IPT (1956). O número de corpos total empregado foi 96, sendo constituído por 50% de alburno e 50% de cerne.

2.1 Tratamentos dos materiais

Os materiais, alburno e cerne, foram submetidos à pirólise com as temperaturas finais de 200°, 300°, 400°, 500°, 600°, 700°, 800° e 900°C, com aquecimento médio de 1,3°C/minuto, utilizando-se uma retorta elétrica devidamente equipada para controle da temperatura. Para cada ensaio, utilizaram-se seis corpos-de-prova (repetições) por material empregado. O aparelho era, sistematicamente, desligado ao atingir a temperatura final. A retirada do material do aparelho foi realizada quando a sua temperatura atingia de 30 a 50°C.

2.2 Sistemas empregado na medição

Conforme Vetter & Silva (1988), utilizou-se um sistema de análise de imagem, em que são utilizados um analisador de imagem denominado Micro-Videomat da Zeiss, dotado de uma videocâmara em preto e branco na qual estava montada uma foto-objetiva macro com tubos de extensão. A imagem é formada por um sistema ótico que a transfere para a tela do analisador. A Figura 1 mostra o sistema de medição utilizado.

O sistema ótico empregado foi uma objetiva macro com 1:3,5/28 mm. Nela com o auxílio de componentes eletrônicos, o analisador distingue em preto e branco, possibilitando a separação eletrônica. A fase cor a ser avaliada aparece em branco e a parte restante aparece em preto ou vice-versa.

Cada amostra foi colocada individualmente no campo de medição iluminado por um feixe de luz fluorescente. A imagem foi transportada para o analisador e mostrada, em preto e branco, no monitor. A imagem da amostra aparece no monitor na forma original. As partes a serem medidas, ou seja, as arestas da amostra, foram discriminadas em função do contraste apresentado no vídeo do analisador, por meio do qual obtiveram-se leituras relativas às dimensões linear e de superfície na amostra. Procedeu-se a oito leituras por amostra, sendo duas correspondendo

às áreas da seção (comprimento por largura) e quatro nas arestas que correspondiam às alturas do corpo-de-prova. De cada amostra, portanto, tinham-se duas leituras médias: uma seção comprimento por largura e outra a altura. As leituras foram convertidas para valores reais em milímetro, usando-se um fator relativo ao número de interseções de linhas do vídeo e a distância focal entre a amostra e a "objetiva".

As medições de cada corpo-de-prova ocorriam antes, à temperatura ambiente (entre 20° e 30°C) e após a exposição à temperatura final previamente definida. Pela variação ocorrida obtiveram-se, com base nas leituras individuais realizadas no analisador *Micro-Videomat*, as taxas de redução: linear no sentido longitudinal e transversal às fibras (no comprimento); seccional nas áreas representadas por seção transversal e longitudinal ao tronco e volumétrica das peças.

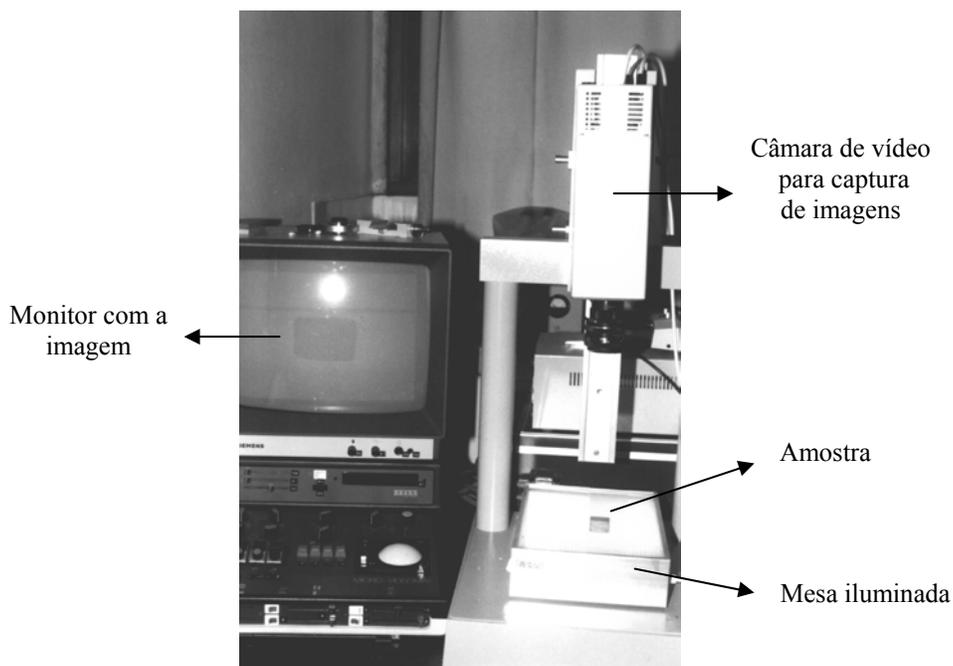


Figura 1. Analisador de imagens Micro-Videomat Zeiss utilizado na pesquisa.

Figure 1. Image analyzer Midro-Videomat Zeiss used in the research.

O cálculo geral da taxa de redução relativa linear, seccional e volumétrica foi com base na seguinte equação:

$$TR = (MTA - MTFP) / MTA \times 100$$

Em que, TR é a taxa de redução dimensional, dada em %; MTA é o valor médio da medição na temperatura ambiente, dado em mm, mm² ou mm³; MTFP é o valor médio da medição após cada temperatura usada, dado em mm, mm² ou mm³.

Na avaliação do experimento utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado. Para as comparações múltiplas foram usados os testes de Newman Keuls, avaliação da influência da temperatura e o t pareado, avaliação dos materiais (cerne e alburno) dentro de temperatura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da variação dimensional nas formas linear, seccional e volumétrica, para os materiais alburno e cerne, estão apresentados na Tabela 1 e nas Figuras de 2 a 5.

Pode-se verificar que a redução nas dimensões linear, seccional e volumétrica possui magnitudes diferentes. Observando-se a Tabela 1 verifica-se que, para as temperaturas de 200° e 300°C, as retrações linear, longitudinal e transversal não diferiram estatisticamente pelo teste de Newman Keuls (letras maiúsculas), tanto para cerne como alburno. Para esta faixa de temperatura, conforme Trugilho & Silva (2001) e Blankhorn (1978), a perda de voláteis é ainda pequena, portanto, refletindo em menor redução nas dimensões da madeira. Ao contrário, para a faixa de temperatura final entre 300° e 500°C, as maiores taxas de redução linear, seccional e volumétrica foram observadas (Figura 4). Nesta faixa de temperatura sobressai uma maior perda de massa volátil por parte das peças de madeira (Blankhorn, 1978), acarretando um decréscimo mais acen-

tuado em suas dimensões. Com a perda de maior quantidade de massa volátil, as peças dos materiais lenhosos ficam mais porosas (Blankhorn, 1978) e, por conseguinte, sujeitas à redução de suas dimensões devido à ação da temperatura e da pressão existente no interior da cápsula de aquecimento.

O teste “t” pareado (letras minúsculas) indica que as diferenças nas contrações sofridas pelo cerne e alburno são estatisticamente diferentes a partir 400°C, tendo a retração no alburno sido sempre maior. Para a retração linear longitudinal as diferenças entre o cerne e alburno iniciam-se a partir de 500°C.

As Figuras 2 e 3 ilustram a taxa de redução dimensional sofrida pelos materiais em relação à dimensão original de seus corpos-de-prova. A redução volumétrica foi a maior e a linear longitudinal a menor, em ambos os materiais avaliados, o que era esperado. A Figura 4 mostra o comportamento dimensional do alburno em função da temperatura. Pode-se observar que as reduções volumétrica, seccional longitudinal e transversal e linear transversal passam por máximo na temperatura de 400°C, e a redução linear longitudinal em 500°C. Deve-se observar que, para a faixa de temperatura compreendida de 400 a 500°C é que ocorre a maior degradação térmica dos carboidratos da madeira. Nesta mesma faixa, os materiais aromáticos, como a lignina, ainda não foram drasticamente atacados pela temperatura (Trugilho, 1995). O cerne apresenta comportamento semelhante ao alburno, porém, em menor intensidade.

Nas temperaturas acima de 500°C, a taxa de redução nas dimensões é inferior às observadas entre 300° e 500°C. Para a faixa de temperatura maior, predomina a liberação de pequenas quantidades de voláteis, com predominância do hidrogênio (Medeiros & Resende, 1983), redundando, conseqüentemente, em taxas de redução menores nas dimensões da madeira.

Tabela 1. Resultados médios da redução linear, seccional e volumétrica para o cerne e alburno.
Table 1. Average values of volumetric, sectional and linear reduction for the sapwood and heartwood.

Temperatura (°C)	Linear (%)				Seccional (%)				Volumétrica (%)	
	Longitudinal		Transversal		Longitudinal		Transversal			
	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno	Cerne	Alburno
Ambiente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	1,39 Aa	1,68 Aa	2,41 Aa	1,70 Aa	3,22 Aa	2,31 Aa	3,00 Aa	2,55 Aa	3,64 Aa	3,57 Aa
300	2,00 Aa	1,91 Aa	3,59 Aa	2,41 Aa	5,00 Aa	3,85 Ba	6,94 Ba	4,99 Bb	7,85 Ba	6,29 Bb
400	4,45 Ba	5,06 Ba	19,37 Ba	23,84 Bb	22,58 Ba	27,89 Cb	34,23 Ca	42,29 Cb	36,87 Ca	45,24 Cb
500	8,63 Ca	10,39 Cb	22,71 Ca	28,12 Cb	29,62 Ca	35,36 Db	40,37 Da	48,26 Db	45,37 Da	53,44 Db
600	10,52 Da	12,13 Db	25,55 Da	29,20 Cb	33,03 Da	37,84 Eb	43,96 Ea	50,31 Eb	49,60 Ea	56,18 Eb
700	13,31 Ea	14,72 Eb	27,13 Da	32,39 Db	36,78 Ea	41,96 Fb	46,57 Fa	53,87 Fb	53,54 Fa	60,57 Fb
800	17,54 Fa	18,03 Fa	30,98 Ea	35,48 Eb	42,59 Fa	46,97 Gb	51,51 Ga	58,29 Gb	59,80 Ga	65,76 Gb
900	19,21 Ga	20,17 Gb	32,06 Ea	36,81 Eb	44,86 Ga	49,18 Hb	53,43 Há	59,74 Hb	62,18 Ha	67,77 Hb

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula em cada coluna não diferem entre si, pelo teste de Newman Keuls, a 5 % de probabilidade.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula em cada linha, para cerne e alburno, não diferem entre si, pelo teste t pareado, a 5% de probabilidade.

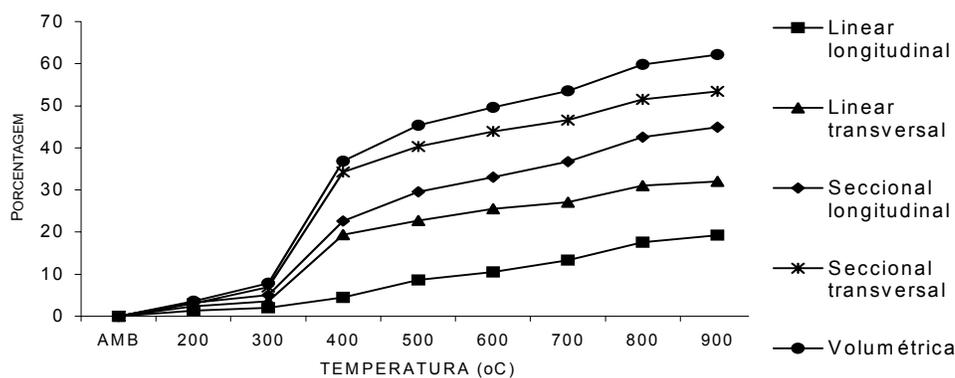


Figura 2. Variação nas dimensões da madeira de cerne em função da temperatura.

Figure 2. Variation in the heartwood dimensions in function of temperature.

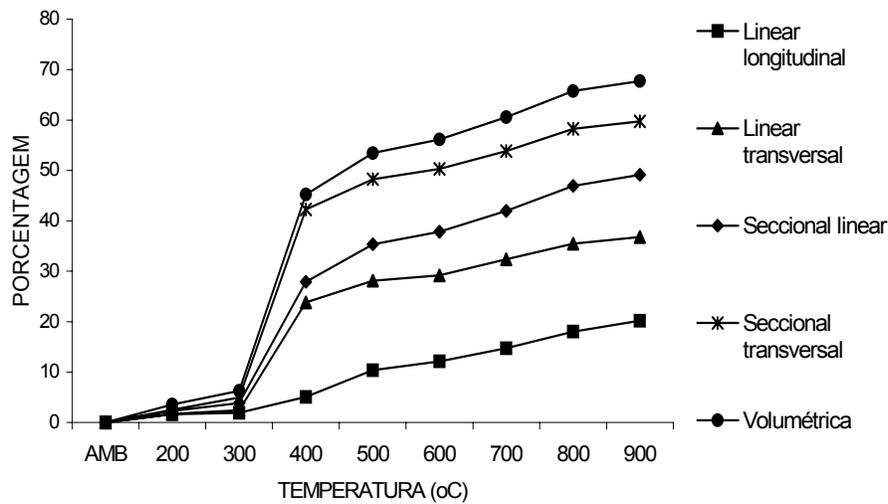


Figura 3. Variação nas dimensões da madeira de alburno em função da temperatura.

Figure 3. Variation in sapwood dimensions in function of temperature.

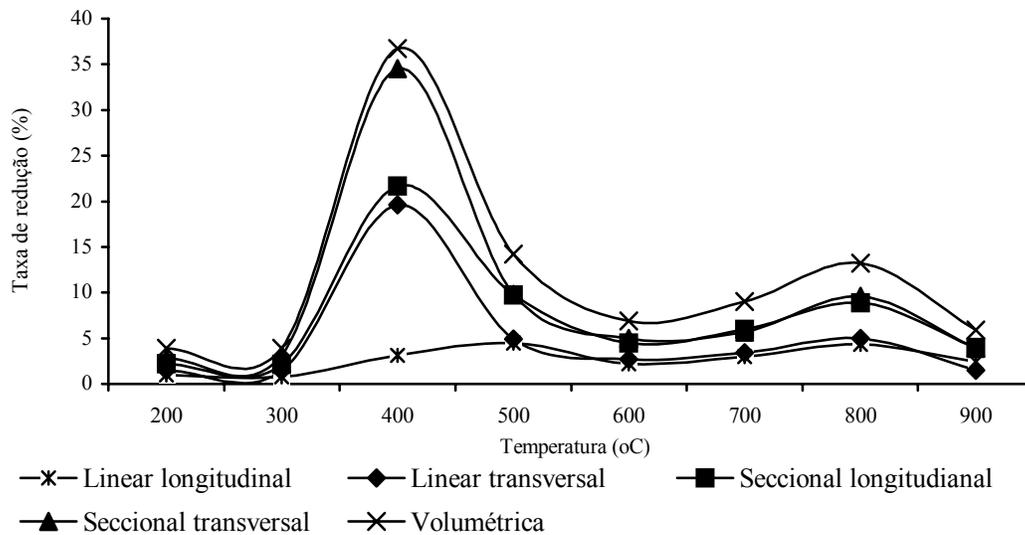


Figura 4. Taxa de redução acumulada média nas dimensões da madeira (alburno) em cada temperatura.

Figure 4. Average rate of accumulated reduction in the dimensions of sapwood in each temperature.

A Figura 5 mostra a perda, em volume, sofrida pelos materiais avaliados em função da temperatura. Pode-se verificar que, para o alburno, ocorreu uma redução volumétrica de 50% em torno de 450°C, enquanto que para o cerne esta redução aconteceu acima de 600°C. O cerne demonstra, dessa forma, possuir uma maior resistência à degradação térmica que o alburno. Este fato reflete a importância da relação cerne/alburno para a produção de carvão vegetal. Quanto maior for a relação, melhor será o desempenho da matéria-prima para este

uso. Este resultado explica o baixo rendimento que se obtém quando se carboniza material juvenil, o qual não possui ainda o cerne diferenciado.

Em relação ao método de sistema de análise de imagem empregado na medição de volume dos materiais, como era esperado, foram observadas a sua eficiência e funcionalidade que, de acordo com Vetter & Botosso (1985), é um sistema apropriado na análise de forma e dimensões de objetos lenhosos.

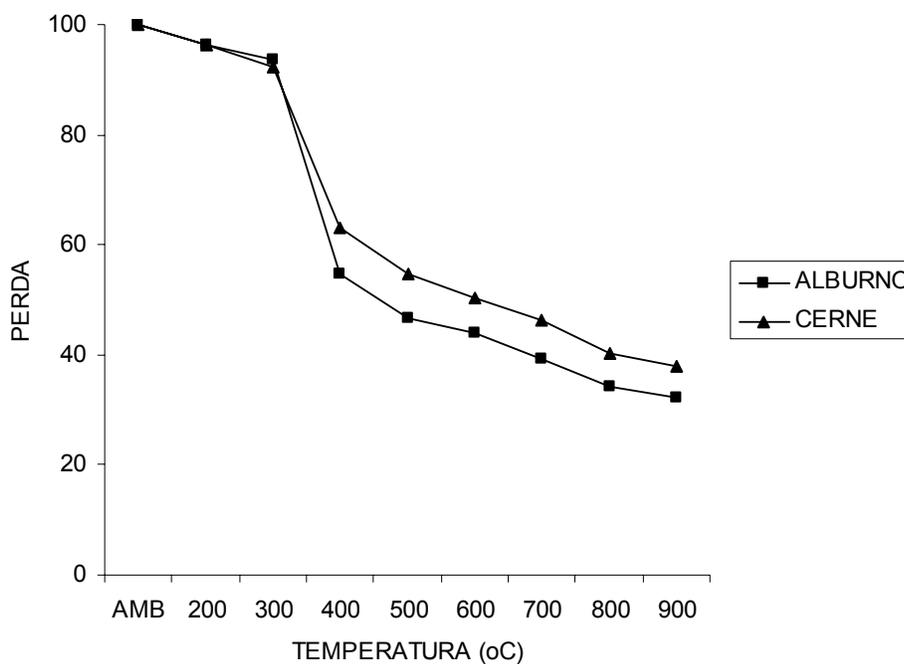


Figura 5. Perda em volume sofrida pelo cerne e alburno.
Figure 5. Volumetric loss of sapwood and heartwood.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

O comportamento dimensional da madeira do alburno e do cerne foi semelhante quando submetido a elevadas temperaturas; porém, o alburno apresentou taxa de redução linear, seccional e volumétrica sempre maiores;

O cerne apresentou padrão de variação dimensional semelhante ao observado na lignina;

A faixa de temperatura em que ocorreu as maiores taxas de redução dimensional foi entre 300° e 500°C;

As taxas acumuladas de redução dimensional linear, seccional e volumétrica foram sempre maiores na medida em que utilizou maiores temperaturas;

As maiores taxas de redução ocorreram para a volumétrica e as menores para a linear longitudinal;

A elevação de 100°C na temperatura final provocou uma taxa de redução média de 2,55% e 4,24%, 5,95% e 7,21% e 8,36% nas dimensões linear longitudinal e transversal, seccional longitudinal e transversal e volumétrica, respectivamente para o cerne. Para o alburno, os valores foram de, respectivamente, 2,64% e 5,02%, 6,70% e 8,17% e 9,15%;

Foi observado que o método de análise de imagem usado nas medições das amostras foi eficiente e funcional.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLANKNHORN, F. A. Porosity and pore size distribution of Blach Cherry carbonized in an inert atmosphere. **Wood Science**, Madison, v. 11, n. 11, p. 23-29, 1978.
- BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: John Wiley, 1963. 689 p.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- ELLIS, T. J.; ROSEN, D.; CAVAGH, J. B. Automated measurement of peripheral nerve fibres in transverse section. **Journal of Biomedical Engineering**, Oxford, v. 2, n. 4, p. 272-280, Oct. 1980.
- GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Teoria da carbonização da madeira. In: PENEDO, W.R. (Ed.). **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 27-41.
- GROSSKOPF, R. Musterbewertung mit Video-Systemen. VDI - Bericht, Nr. 265:59-64, 1976
- HIGUCHI, T. **Biochemistry and molecular biology of wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 362 p.
- HUBER, F. An enzymatic method to facilitate quantitative studies of wood with an image analyser. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 1, n. 4, p.185-187, 1980.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Métodos de ensaios do IPT para o estudo de madeiras nacionais**. São Paulo, 1956. (Boletim IPT, 31).
- LEE, J.; ROSEN, D. The application of automated microcopy to wood anatomy. In: WOOD ANATOMY MEETING OF IAWA AND IUFRO, 1983, Hamburg, Germany.
- MEDEIROS, C. A.; RESENDE, M. E. A. Alca-trão vegetal: perspectivas de produção e utilização. **Revista Fundação João Pinheiro**, Belo Horizonte, v. 13, n.9/12, p. 42-48, 1983.
- TRENARD, Y.; GUENEAU, P. Relation entre contrainte de croissance longitudinale et bois de tension. **Holzforchung**, Berlin, v. 29, n. 7, p. 217-233, 1975

TRUGILHO, P. F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus***. 1995. 160 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

TRUGILHO, P.F.; SILVA, D.A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físico-químicas do carvão vegetal. **Scientia Agraria**, Curitiba, ano 2001. (Aceito para publicação).

VETTER, R. E.; BOTOSSO, P. C. **Análise de imagem empregada na pesquisa de produtos florestais. I. Determinação de poros da madeira**. Manaus: CPPF/INPA, 1985. 10 p. (Série Técnica no. 10).

VETTER, R. E.; SILVA, F. M. Metodologia para avaliação da colagem em painéis compensados. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 18, n. 3/4, p. 269-273, set./dez. 1988.