

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE COMBUSTÃO DA BIOMASSA EM FLORESTAS TROPICAIS

Aguinaldo M. Serra Jr.

UNESP/FEG - Campus de Guaratinguetá - SP
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333
CEP12500-000 - Guaratinguetá - SP - Brasil
agnaldo@yabae.cptec.inpe.br

João A. Carvalho Jr.

UNESP/FEG - Campus de Guaratinguetá - SP
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333
CEP12500-000 - Guaratinguetá - SP - Brasil
joao@yabae.cptec.inpe.br

***Resumo.** Este trabalho trata da combustão de biomassa em queimadas. Diferente de incêndios, queimadas são provocadas pelo homem, para transformar áreas de floresta natural em pastos e plantações. O objetivo principal aqui é verificar a influência do vento e das características de troncos na eficiência de queima de biomassa. Isso foi observado de duas maneiras: experimentos de microqueimada e em ensaio em escala real. O ensaio de microqueimadas foi feito em um túnel de vento, projetado e construído no INPE, em Cachoeira Paulista. Através de experimentos feitos com velocidades de vento diferentes, com o mesmo tipo de material, nas mesmas condições de secagem e dimensões, diferenças na eficiência de queima foram estudadas. Além disso, observaram-se alguns aspectos peculiares de queimadas em um experimento em escala real, na fazenda Caiabi, município de Alta Floresta, MT, na fronteira da região de desmatamento da floresta Amazônica. Lá, o objetivo principal era observar-se a influência da geometria de troncos na eficiência de queima.*

***Palavras-chave:** Queimada, Biomassa, Amazônia, Desmatamento.*

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação com o meio ambiente, fala-se muito sobre as queimadas provocadas na Amazônia por agricultores e pecuaristas. Na análise dessas queimadas com vistas à sua influência sobre o meio ambiente, utilizaram-se de dados e fatores disponíveis no momento dos estudos sobre o assunto “Queima de Vegetação”. Os estudos realizados até então eram voltados para incêndios, que são eventos distintos das queimadas. Na adaptação de alguns deste dados à análise das queimadas, muitos erros foram produzidos, conduzindo a resultados disparatados e absurdos, às vezes.

As queimadas brasileiras, em geral, são intencionais, usadas como “tecnologia agrícola” para limpeza do solo antes do plantio, redução de pragas e ervas daninhas, renovação de pastagens e como auxiliar na colheita de cana de açúcar. Embora existam outras tecnologias agrícolas para substituir as queimadas, o fogo ainda é o meio mais barato. Por isso, é grande o número de áreas que são queimadas todos os anos, mesmo aquelas já desmatadas há muito tempo.

2. BIOMASSA

2.1. Caracterização da biomassa

Para o fim a que se destina este trabalho, biomassa é o termo geral utilizado para se designar material orgânico vegetal, sob ou sobre o solo, vivo ou não. Isto inclui árvores, plantações, grama ou mato, serrapilheira, raízes, troncos derrubados ou em pé, mortos ou frescos, etc.

A biomassa é constituída por cerca de 49% de carbono em peso de material seco, distribuídos em: 20 a 28% de lignina, 42 a 45% de celulose e 27 a 30% de hemicelulose (Salazar et al., 1983).

A lignina funciona como um ligante plástico entre os constituintes da biomassa. É facilmente destruída por ácidos. Tem uma massa molecular em torno de 1000 kg/kgmol, e sua composição é $C_{47}H_{52}O_{16}$, ou $C_{42}H_{32}O_6(OH)_5(CH_3O)_5$ (Kanury et al., 1970). É removida da madeira durante o processo de fabricação da polpa de celulose, e usada na indústria química com estabilizante de asfalto, dispersantes, aditivos em óleos, na fabricação da baunilha, e outros (The Condensed Chemical Dictionary, 1971).

A celulose é um carboidrato natural, isômero do amido ($C_6H_{10}O_5$), altamente polimerizado (grau de polimerização 1000 para polpas e troncos e até 10000 para fibras de algodão). Não reage com ácidos e bases. Sua massa molecular é da ordem de 10^6 kg/kgmol (Kanury et al., 1970) e sua massa específica é da ordem de $1,5 \text{ g/cm}^3$ (The Condensed Chemical Dictionary, 1971). Não tem gosto ou cheiro. Fibras de algodão são formadas por pura celulose. Tem bastante uso como papel, produtos de algodão (roupas, indústria, embalagens), e usos especializados, como rins artificiais, isolamentos térmicos e acústicos. A celulose modificada quimicamente transforma-se em rayon, celofane, produtos nitrados, éteres, etc.

A hemicelulose consiste em alguns carboidratos da madeira e acompanha a celulose in natura. Alguns a tratam como celulose com um grau de polimerização de 150 ou menos outros (The Condensed Chemical Dictionary, 1971). É solúvel em bases e facilmente transformada em sacarose por diluição em ácidos minerais. É usada como complemento alimentar para animais.

Os componentes acima estão dispostos em forma de células e fibras. Algumas dessas células possibilitam o transporte de água e ar e as fibras, formadas por celulose e aglutinadas por lignina, dão resistência mecânica à madeira. Outras células acumulam amido, resinas, gorduras, etc.

2.2 Processo de decomposição da biomassa durante a queima

A queima da madeira no ar não é um processo monofásico. De fato, ocorre em fases distintas e cujo estudo e observação não têm sido realizados a fundo. Os primeiros estudos teóricos da queima de madeira tratavam-na como um meio contínuo e sólido, com constante de difusividade térmica constante, que recebia calor de uma fonte externa em uma superfície bem definida. As reações de pirólise eram consideradas como se fossem reações simples de

primeira ordem, com calor de reação fixo (Roberts, 1970). Os perfis de temperatura e das zonas de reação eram determinados resolvendo-se as equações para condução e geração de calor, simultaneamente, com condições de contorno apropriadas.

Na decomposição térmica de madeira, alguns fenômenos físicos e químicos ocorrem no tempo e espaço. Esses fenômenos incluem: secagem e pré aquecimento, liberação de material inflamável volátil, combustão do material gasoso liberado, e combustão incandescente do carbono fixado (Kanury, 1994). Este processo de decomposição, que ocorre com aquecimento, é chamado de pirólise. As taxas de aquecimento, secagem, pirólise, ignição e queima vão depender da natureza do material, é claro, e muito também da atmosfera que está fornecendo o calor inicial (ambiente da estufa). O processo em si da queima de biomassa, onde observamos estes fenômenos, acontece em cinco fases distintas, descritas a seguir (Kanury, 1994).

Fase 1 - Inicia-se o aquecimento da superfície e o calor propaga-se para o interior por condução.

Fase 2 - Inicia-se um processo de pirólise na superfície, e à condução somam-se as reações de pirólise nas camadas interiores. Os gases aí liberados são ignitados pela fonte de calor inicial, que age como uma chama piloto.

Fase 3 - Agora existem três camadas: a camada interior de material virgem, a camada intermediária em pirólise e a camada superficial, constituída, agora, por carvão.

Fase 4 - A frente de pirólise alcança o eixo de simetria e o problema fica com duas camadas: uma em pirólise e a externa de carvão.

Fase 5 - A frente de carvão alcança o plano de simetria. Não há mais escoamento de gases nesta fase e a transferência de calor se dá por condução através do carvão. No início desta fase, o tronco pode falhar mecanicamente.

A “Fig. 1” ilustra este processo.

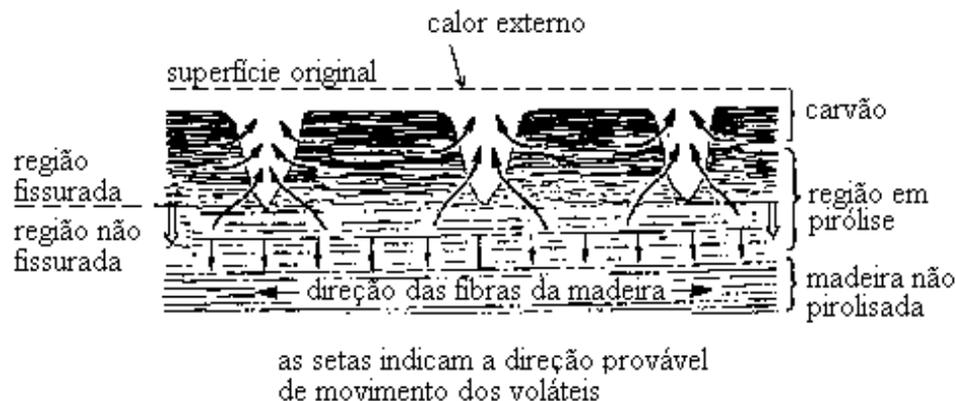


Figura 1 – Esquema descritivo do processo de queima de biomassa (Connor et al., 1992).

Este processo, aqui descrito em linhas gerais, é bastante influenciado por algumas características do material que está em pirólise. Antes de ser pirolisado, poderíamos afirmar que um pedaço de madeira é um meio contínuo, com uma superfície bem definida, e onde a condução de calor acontece da maneira tradicional. Isto não é verdade: a madeira tem uma estrutura bastante anisotrópica. Sua condutividade térmica ao longo das fibras é aproximadamente o dobro da observada em uma direção perpendicular às fibras. Além disso, em algumas espécies de madeira, a permeabilidade na direção longitudinal é 10^4 vezes maior que na direção transversal ao tronco. Como na direção longitudinal do tronco temos uma maior condutividade térmica e uma maior permeabilidade, as fases acima descritas do processo de pirólise acontecem com mais facilidade nesta direção. Temos, então uma taxa de

combustão maior longitudinal que transversalmente nos troncos onde são observadas estas 5 fases acima.

Entre as outras características a serem observadas, poderíamos enumerar: dimensões do material (comprimento e diâmetro), forma (razão entre a área e o volume), teor de umidade, ventilação (oxigenação), densidade, permeabilidade, calor específico e porosidade. Estas características, que dependem da própria natureza do material, vão influir diretamente na taxa de decomposição do material. Veremos que outras variáveis geradas pelo próprio processo de pirólise e de combustão, juntar-se-ão a estas, tornando este um processo bastante particular.

3. EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA OS ENSAIOS

3.1 Ensaios de microqueimadas em laboratório

Os experimentos em laboratório foram desenvolvidos para verificação da influência do vento na taxa de combustão em microqueimadas. O equipamento de ensaio é constituído por um túnel de vento e uma balança, projetados e construídos no Laboratório Associado de Combustão e Propulsão (LCP) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em Cachoeira Paulista.

As amostras queimadas constituíram-se de biomassa com quantidade de troncos, galhos, folhas e liteira da ordem das proporções encontradas na floresta. A espécie analisada neste trabalho foi o bico de pato (“*Machaerium Angustifolium*”), espécie comum da Mata Atlântica. O teste de queima foi realizado após o abate e o período de secagem natural da vegetação. A secagem natural procedeu-se sem nenhum tipo de proteção ou aparato. Procurou-se repetir o processo de secagem que ocorre em queimadas provocadas na região amazônica.

A iniciação da combustão foi realizada com álcool etílico, derramado no perímetro da amostra sobre o prato da balança, na proporção de 5 g de álcool por kg de material em ensaio.

Foram realizados três experimentos de microqueimadas: sem vento e com vento de 2,2 e 5,0 m/s. Para contornar-se todas as demais variáveis envolvidas, os dois experimentos foram realizados com material colhido da mesma árvore, e posto para secagem no mesmo local, em pedaços com o mesmo comprimento. Na hora do experimento, as amostras foram escolhidas ao acaso, de maneira a se evitar que amostras de uma mesma região da área de secagem ficassem juntas, na mesma fase do experimento. Também, os dois experimentos foram realizados com a mesma massa inicial de material, de troncos, galhos e galhos finos. A disposição no prato foi feita pela mesma pessoa, que procurou manter o acomodamento das camadas de dimensões diferentes da mesma forma.

3.2 Queimada em escala real

O experimento aqui descrito teve como objetivo a verificação da influência das dimensões do tronco na eficiência de queima. Troncos de diâmetros diversos, maiores que 10 cm, foram cortados em comprimentos variados escolhidos, no mesmo indivíduo, e conservados no mesmo lugar originalmente ocupado. Após a queimada, faz-se uma observação comparativa da eficiência de queima entre os diversos espécimes preparados.

O local escolhido para este ensaio consistiu de uma área de 100 m por 100 m (1 ha), afastada aproximadamente 300 m da borda da mata com um pasto, na Fazenda Caiabi, município de Alta Floresta, estado do Mato Grosso. O intuito era simular uma queimada feita no interior da floresta tropical.

4. RESULTADOS DOS ENSAIOS

4.1 Ensaios de laboratório

O primeiro ensaio foi sem vento, pois representa o início das futuras comparações e, também por ser o primeiro, parece mais simples de ser realizado, pois depende de uma variável a menos. A quantidade material escolhida para ser colocada no prato era de aproximadamente 90 kg, colocado da maneira descrita acima, como visto na Figura 4.1. Para iniciar-se, foram usadas 300 g de álcool etílico comercial, derramados paralelamente á saída da boca do túnel de vento. Ligou-se o equipamento de medição e coleta de dados e iniciou-se a queimada.

Para os experimentos com vento, procedeu-se exatamente como acima no preparo da amostra, sua colocação no prato da balança e procedimentos para iniciação. Antes, porém, de se colocar a amostra no prato da balança, regulou-se a válvula gaveta para que a velocidade do vento ficasse nos valores desejados (2 e 5 m/s), medida com o anemômetro manual digital. Após a iniciação do fogo, ligou-se o insuflador.

Em todas as corridas, o início foi exatamente como da primeira vez: a linha de fogo, agora empurrada pelo vento, passou para o material menor, por baixo. Logo, tomou conta de toda a pilha de material em ensaio.

Na “Fig. 2” temos as curvas levantadas das taxas normalizadas de queima durante os testes, mostrando a redução da massa sobre o prato com o tempo. Os ensaios confirmaram, no resultado final e nas medidas tomadas ao longo de seu andamento, um fato que sabíamos ser verdadeiro: com mais comburente e um pouco de agitação, a porção de gases, produto da pirólise da madeira, que normalmente se perde na coluna de ar quente sem se queimar por falta de oxigênio, é consumida, e aumenta o calor liberado, favorecendo a pirólise, aumentando-se a eficiência e a velocidade da queima. Sem vento a taxa média de queima foi 0,011 kg/(kg.min), com vento de 2,2 m/s foi 0,015 kg/(kg.min) e com vento de 5,0 m/s foi de 0,014kg/(kg.min).

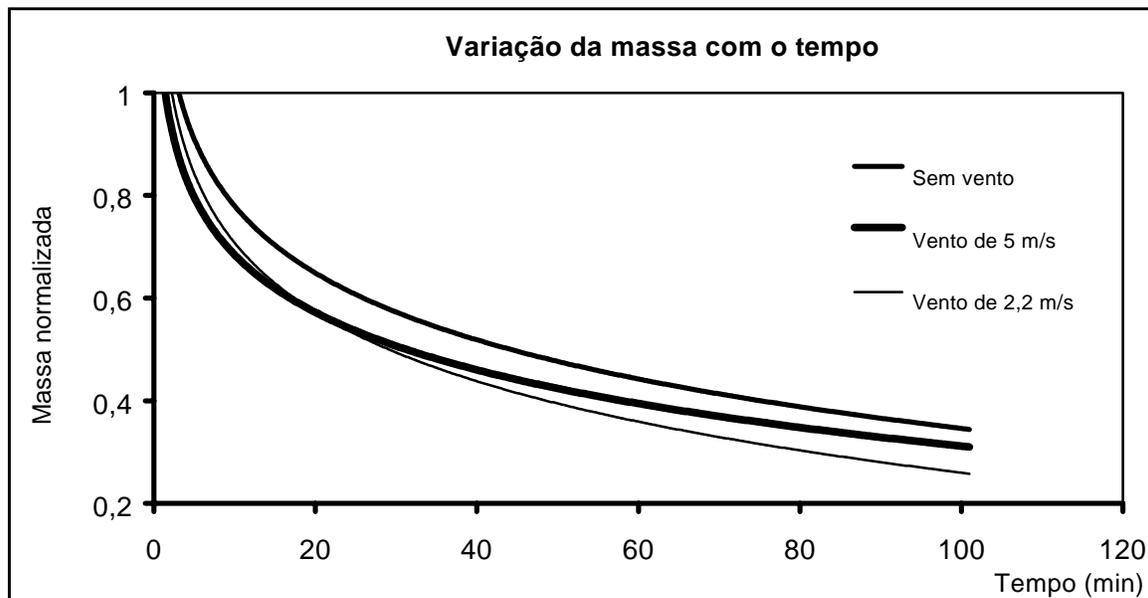


Figura 2 – Curvas levantadas da variação da massa com o tempo, durante a combustão, com e sem vento.

4.2 Ensaio de campo

No ensaio de campo, 43 minutos foram necessários para a ocorrência de praticamente todo o processo de combustão, em termos de consumo de biomassa, na área de 1 ha.

Verificou-se que o material de dimensões menores e a liteira foram totalmente consumidos pelo fogo. Os troncos ficaram chamuscados, algumas vezes em todo o perímetro, outras em apenas uma parte da circunferência, mas não houve uma pirólise acentuada em nenhum deles. Concluímos que apesar da potência alta da frente de chama, o que fez com que todo o material menor fosse totalmente consumido, o tempo de exposição é muito pequeno, e assim, não se consegue aquecer as camadas sub-superficiais dos troncos, não havendo, pois, pirólise e conseqüentemente, combustão, diferentemente do que ocorreu na microqueimada, onde o tempo de exposição era bem maior.

Os resultados observados nos troncos selecionados são apresentados na Tabela 1. Em troncos com tempo de exposição baixo à alta temperatura não se consegue pirólise das camadas interiores, pois o coeficiente de condução térmica da madeira é muito baixo. Assim não foram observados troncos queimados com uma freqüência que nos permitisse aferir algum resultado comparativo. Em um ponto onde se consiga aumentar um pouco este tempo de exposição, o limite de flamabilidade poderia ser alcançado. É o que acontece em cruzamentos entre troncos, onde se observou uma eficiência de combustão muito mais alta. Acredita-se que isso ocorra devido ao fato de não haver uma troca de calor com o ambiente como em uma queima de um tronco individual, aparecendo lá algo como um “flame holder”, que aumenta um pouco o tempo de exposição do tronco e cria condições para o aparecimento de uma chama auto sustentada. Esta chama progride muitas vezes até que toda a região do cruzamento seja queimada (Serra Jr, 1997).

Tabela 1 – Resultados do teste de campo.

Plaqueta	Espécie	Comp (m)	DAP (cm)	Comentários após a queimada
312	Amescua	1	16,87	Queimou meia circunferência, com espessura de 2mm
		2	16,87	Casca chamuscada, solta em alguns pontos
313	Cupiuva	1	22,28	Queimou meia circunferência, com espessura de 1mm
		2	22,28	Casca chamuscada, queimou 2 mm em toda a área
		4	20,69	Casca chamuscada, queimou 3 mm em toda a área
		6	15,92	Intacto
314	Guatambu	8	23,87	Queimou meia circunferência com espessura de 2mm
315	Guatambu	8	26,10	Queimou por baixo, 1 mm, por 0,50 m. no encontro com Imbauba, está em smoldering.
317	Pindaíba	4	28,01	Queimou meia circunferência, 6mm, todo comprimento
		10	37,56	Queimou meia circunferência, 8mm, todo comprimento.
316	Guatambu mole	6	14,32	Queimou 50%, principalmente nas pontas.
		4	23,87	Queimou em todo comprimento, com maior eficiência perto do tronco maior, com 100% no último metro.
318	Cupiuva	10	16,55	Queimou 5 mm em toda a área.
		1	18,46	Queimou 5 mm em toda a área.
319	Cupiuva	1	14,96	Superfície queimada, com trincas
		2	14,96	Superfície queimada, com trincas, pontas arredondadas
		6	17,83	Queimou uma ponta, meia circunferência, 3mm
320	Canela	10	19,74	Queima por dentro em 1,24m, de 30% do tronco.

				No resto, 10% em 1m, 8mm em meia circunferência.
		2	19,74	Queimou meia circunferência com espessura de 10mm
321	Imbauba	1	23,24	Consumiu 65% do tronco
		1	23,24	Queimou a casca, aparecendo trincas por baixo
		2	20,37	Queimou 50% no primeiro metro.
		2	20,37	Queimou 30 mm em meia circunferência.
322	Guatambu	8	27,37	Queimou 1/4 circunf. 10mm, 1/4 circunf. 5mm, em 6,40.
323	Amescua	2	13,05	Intacto
		2	13,05	Queimou 2mm por 1m, em meia circunferência
		1	13,05	Queimou 3mm em todo o comprimento
259	Guatambu	2	24,83	Intacto
		1	24,83	Queimou 10 mm em meia circunferência por 0,50 m.
		3	24,83	Intacto
		3	24,83	Intacto
269	Imbauba	1	20,69	Em smoldering
		2	19,10	Em smoldering
		1	18,78	Queimou 90% do total
		2	17,19	Queimou 40% do total
		1	16,39	Queimou 50% do total
267	Formigueiro	1	42,02	Sinais fracos de combustão
		1	42,02	Sinais fracos de combustão
		1	42,02	Sinais fracos de combustão
		1	42,02	Sinais fracos de combustão
		1	42,02	Sinais fracos de combustão
		1	42,02	Sinais fracos de combustão
270	Açaí	2	15,60	Superfície chamuscada, sem perda de forma
		1	15,60	Superfície chamuscada, sem perda de forma
		2	15,60	Queimou 20 mm, meia circunf., todo comprimento
		1	15,60	Queimou 30% do total
		2	15,60	Queimou 50% em 1/3 do total, 3mm em meia circunf.
		1	15,60	Queimou 50% em 1/3 do total, 3mm em meia circunf.
263	Mixiriquinha	3	12,73	Intacto
		2	12,10	Intacto
		1	9,23	Intacto

5. Conclusão

No Capítulo 1 apresentamos os fenômenos que geralmente ocorrem no processo de degradação térmica de biomassa (madeira). Naquele momento, procurou-se ficar limitado aos fenômenos que ocorrem, principalmente no substrato sólido, em condições idealizadas, sem preocupações maiores com fatores de interação externos. Numa queima real, estes fatores estão presentes e a dificuldade em se tratar o problema é consideravelmente alta, quer na queima de uma simples peça, com geometria definida, ou num conjunto de peças, com geometria aleatória.

A eficiência da queima, no caso de microqueimadas, está focada na capacidade do material (biomassa) em se converter em gases. Como nos ensaios não se efetuou análise dos gases emitidos, a perda de material gasoso combustível para o meio não caracteriza, pois, diminuição na eficiência. É evidente que se todo gás formado no processo de queima do sólido for reduzido na zona de chama, com conseqüente aumento do calor liberado, maior seria a transferência de calor para o material em análise, o que acarretaria, por sua vez, no aumento na eficiência geral da queima. Portanto, o que pode extrair-se do experimento é que uma boa forma de se aumentar a eficiência da queima dos voláteis é através da melhoria na

mistura de ar com os produtos da pirólise nas vizinhanças do material em chamas. Como consequência, espera-se que os experimentos de microqueimada com ventilação forçada, dentro de certos limites, apresentem maior eficiência do que aqueles submetidos à convecção natural, o que realmente ocorreu. Em ambos os casos, porém, o arrasto formado pela coluna ascendente de gases quentes estabelece uma zona de turbulência na região de chama e nas vizinhanças do material queimado. Quando a velocidade de ventilação, porém, é muito grande, a coluna dos gases produzidos, misturados ao ar extra, é empurrado para fora da região onde a temperatura ambiente provocaria sua combustão. Assim, quando se atinge certos valores no vento, este acaba diminuindo a eficiência da combustão (Serra Jr, 1997). Isso foi observado no experimento.

De grande importância para a eficiência do processo como um todo é a velocidade de ignição de uma dada quantidade de material sólido combustível (biomassa). De maneira bastante simplificada, pode-se dizer que esta velocidade da frente de ignição é obtida do balanço no qual a energia transmitida para as partículas (troncos) por diferentes modos de transferência de calor (radiação, convecção e condução) deve ser suficiente para secar e aquecer partículas até a temperatura de ignição. Conforme apresentado por Saastamoinen, 1994, este equacionamento é dado por

$$w \rho_b (h - h_{\infty}) = \sum q, \quad (1)$$

onde w é a velocidade da frente de ignição (m/s), ρ_b é a densidade do material a ser queimado e $(h - h_{\infty})$ é a energia (incluído a secagem parcial) necessária para elevar o sólido até o estado de ignição.

Existem modelos matemáticos para o estudo de queima de biomassa em pequenos queimadores (Saastamoinen, J.J., 1991, Ragland, W.K., 1988), originados a partir de um grande número de hipótese simplificadoras que não podem ser aplicados de imediato na análise de microqueimadas. Estes modelos, entretanto, podem servir de base para um melhor interpretação dos processo que ocorrem nos testes.

Admitindo-se a existência de uma temperatura efetiva na zona de chama dos voláteis, pode-se concluir que a taxa de queima, na fase de pirólise, é função da transferência de calor desta zona de chama para o interior do sólido (troncos). A parte da chama que se localiza imediatamente acima dos sólidos em queima perde uma considerável parte da energia por radiação e convecção, pois os gases quentes fluem para fora da região de pirólise sem contribuir para o aquecimento destes (Veras, 1997). Portanto, a eficiência da queima em microqueimadas parece ser muito mais dependente da geometria e disposição dos troncos do que das características desta zona de chama (posicionada acima dos troncos). Este complicado processo de transferência de calor e massa, bifásico, ora iniciando, ora acelerando a queima individual dos troncos, nos diversos tamanhos, e em diferentes posições do arranjo que compõe a massa total a ser queimada, permite dizer que os processos que normalmente são analisados em seqüência, ocorrem de maneira simultânea e interrelacionada. Em algumas situações, pirólise e secagem do material sólido ocorrerão concomitantemente. Saastamoinen e Aho, 1984, calcularam as frentes de propagação de secagem e pirólise em partículas esféricas de madeira e concluíram que os processos são sempre simultâneos, independentemente do tamanho destas. Os cálculos também serviram para estabelecer o processo limitante das taxas de devolatilização das partículas. Na medida em que o tamanho das partículas aumenta, esta taxa é controlada pelos mecanismos de transferência de calor para o sólido em ambientes de queima. Em condições de queima, a chama em torno das partículas eleva a temperatura dos gases para uma faixa entre 1000-1400 K. Nestas condições, a taxa de pirólise não é controlada pela cinética da reações de decomposição (altas

temperaturas), mas fundamentalmente pelo processo de secagem do material virgem. Como os processos são simultâneos, a frente de propagação da secagem torna o processo de pirólise limitado pelo calor transferido para as camadas interiores do sólido uma vez que as temperaturas mínimas para ocorrência de uma degradação térmica é bem superior à temperatura de vaporização da água.

A mistura gasosa turbulenta em torno dos troncos em pirólise conduzirá oxigênio para a superfície destes acarretando também queima heterogênea, tanto na superfície com na estrutura interna porosa do material coqueificado. Como redutores do material sólido coqueificado (carbono) pode-se citar o oxigênio, o gás carbônico e o vapor d'água. A oxidação heterogênea do carvão vegetal remanescente consome considerável parte da massa do resíduo sólido deixado após a degradação térmica. Contudo, a eficiência da queima está muito mais relacionada com a quantidade de massa que sofreu pirólise, em alguns casos chegando a 80% da massa inicial do sólido, do que deste processo final de queima heterogênea. Neste processo (incandescência), as cinzas contidas na biomassa podem favorecer ou reduzir a eficiência total da queima. Como ponto positivo, os minerais contidos nas cinzas podem agir como catalisadores na reação heterogênea do oxidante com o carbono sólido. Em contrapartida, estas cinzas podem permanecer intactas, estruturalmente falando, e formarem uma barreira para a difusão do oxidante para o interior do sólido bem como dos produtos para o meio circundante e ainda como isolante térmico no processo de condução de calor para as partes interiores do sólido.

Pode-se verificar que na queima de grandes partículas (troncos) de biomassa, diversos processos químicos e físicos estão envolvidos. Como consequência da diversidade de tamanho, forma e posição relativa entre estes troncos, fica claro a ocorrência simultânea dos principais processos que caracterizam a queima de biomassa. Gases quentes presentes na superfície coqueificada do sólido consomem matéria por reações heterogêneas nas camadas mais externas (poros) e na própria superfície, enquanto numa faixa mais interna, ocorre decomposição térmica do substrato com grande formação de gases, ao mesmo tempo em que as partes mais interiores dos troncos sofrem um processo de secagem. Portanto, o tratamento matemático deste tipo de combustão é prejudicado pela impossibilidade de se estabelecer apropriadas condições de contorno para cada tronco e para o conjunto como um todo.

As interpretações dos experimentos foram, portanto, baseadas muito mais nos aspectos quantitativos dos resultados do que nos qualitativos em função da inexistência, por hora, de modelos simplificados para o estudo de combustão de biomassa em queimadas.

REFERÊNCIAS

Connor, M.A.; Daria, V.; Ward, J., 1992, "Changes in Wood During the Course of Carbonisation", Proc. of the Conference on Advances in Thermochemical Biomass Conversion", 11-15 May.

Kanury, A.M., 1994, "Combustion Characteristics of Biomass Fuels", Combustion Science and Technology, 97:469-491.

Kanury, A.M.; Blackshear, P.L., 1970, "Some Considerations Pertaining the Problem of Wood-Burning", Combustion Science and Technology, 1:339-355.

Ragland, W.K.; Boerger, J.C.; Baker, A.J., 1988, "A Model of Chuckwood Combustion", Forest Products Journal, 38(2):27-32.

Roberts, A.F., 1970, "Problems Associated with the Theoretical Analysis of the Burning of Wood", Proc. of the Thirteenth Symposium (International) on Combustion, pp. 893-901.

Saastamoinen, J.J., 1994, "Fundamentals of Biomass Drying, Pyrolysis and Combustion", Proc. of the IEA Biomass Combustion Conference, Cambridge, UK.

Saastamoinen, J.J., 1991, "Modelling of Wood Combustion in Small Stoves", Proc. of the Nordic Workshop on Combustion of Biomass, Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway, 23 p.

Salazar, C.M.; Connor, M.A., 1983, "Kinetic Studies of Pyrolysis of Wood, with Particular Reference to Eucalyptus Regnans", Proc. of the Eleventh Australian Conference on Chemical Engineering, paper 22b, pp. 753-761.

Serra Jr., A.M., 1997, "Combustão em Microqueimadas e em Escala Real", tese de Mestrado, UNESP, Universidade Estadual Paulista, Campus de Guaratinguetá.

The Condensed Chemical Dictionary, 1971, revised by G.G. Hawley, van Nostrand Reinhold, 8^a edição, New York.

Veras, C.A.G., 1997, Estudo Teórico dos Efeitos da Pressão e das Reações na Fase Gasosa na Queima de Combustíveis Sólidos Pulverizados, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.

METHODOLOGY FOR INVESTIGATION OF EFFICIENCY IN COMBUSTION OF BIOMASS IN FOREST CLEARING FIRES.

ABSTRACT. *This work investigates combustion of biomass in forest clearing fires. Instead of natural fires, forest clearing fires are made by man to transform natural forests in pastures and planting areas. The main goal of the study was to verify influence of trunk characteristics and wind in the burning efficiency. This matter was observed in two ways: in a micro-burning test and in a real size test. The micro-burning test was performed in a wind tunnel, designed and built at INPE's installation, in Cachoeira Paulista. By means of tests performed with different wind velocities with the same kind of biomass, at the same natural drying conditions and average size, differences between burning rates and efficiencies were studied. Furthermore, some particular aspects of burning were observed in a real size test, performed at Caiabi farm, Alta Floresta, MT, located at the deforestation and burning boundary in the Amazon region. The main goal there was to observe influence of trunk geometry in the burning efficiency.*

Keywords: *Burning, Biomass, Amazonia, Clearing.*