

UMA ANÁLISE SIMPLES DO AVANÇO DO PROCESSO DE DESMATAMENTO E QUEIMADA NA AMAZÔNIA ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT TM.

AGUINALDO MARTINS SERRA JUNIOR
JOÃO ANDRADE DE CARVALHO JUNIOR

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE/LCP
ROD. PRES. DUTRA, KM 40 – CACHOEIRA PAULISTA
CEP 12630-000 - SP

EMAIL: AGNALDO@YABAE.CPTEC.INPE.BR
JOAO@YABAE.CPTEC.INPE.BR

ABSTRACT

The goal in this work is to study forest burnings and to show its economic and social influences, as well as its nature, and some of its physical and chemical aspects. Burning, hereby, is the combustion of the organic matter, alive or not, made by man, where the intention is to remove vegetation on the ground to prepare it to pasture or plantation. The steps here are:

- compare the human occupation and burning occurrence, in some areas, by means of LANDSAT images;
- verify the influence that burnings make on atmosphere chemistry, at legal Amazonia, by means of data collected in experiments carried on in real size and laboratory.

RESUMO

Este trabalho objetiva estudar as queimadas no processo de ocupação da terra logo após a derrubada da floresta tropical, e mostrar influências econômicas-sociais, como sua causa, bem como alguns de seus aspectos físico-químicos. Denominamos de queimadas à combustão de material orgânico, vivo ou não, provocada pelo homem, com o intuito de se eliminar a vegetação primitiva sobre o solo de determinada região, preparando-o para pastagens ou para o plantio.

As etapas desenvolvidas são:

- traçar um paralelo entre áreas de ocupação humana e a ocorrência de queimadas, através da comparação de imagens LANDSAT, bandas 3, 4 e 5;
- verificar a influência que as queimadas exercem sobre a química da atmosfera na Amazônia Legal, através da análise de dados coletados em ensaios de microqueimadas e queimadas em escala real.

INTRODUÇÃO

O tema queimadas tem ocupado espaço em trabalhos de pesquisadores de uma maneira diferente atualmente do que era há algum tempo atrás. As pesquisas sobre queima de florestas, árvores ou qualquer outro tipo de vegetação, natural ou não, tinham como principal interesse a determinação

de fatores ou parâmetros ligados a incêndios florestais. Nesta direção, existem muitos trabalhos sobre a queima de biomassa e até sobre a influência que o vento exerce sobre a variação da taxa de queima. Não existia, porém, preocupação em se caracterizar o processo físico da queima, tratando-se o material em combustão como outro qualquer, isto é, homogêneo e com uma fase de conversão simples. Mesmo as causas das queimadas não eram levadas em consideração.

Além disso, os resultados apresentados, bem como suas diretrizes principais, não eram voltados a uma análise sobre a influência dos incêndios sobre o meio ambiente, visto que este assunto não era tão importante até há pouco tempo atrás. O objetivo principal era o incêndio florestal em si e suas formas de propagação, visando-se estudar melhores maneiras de combatê-lo e controlá-lo.

Neste trabalho, trata-se de queimadas de biomassa e não de incêndios. Chama-se de queimadas à combustão de material provocada pelo homem com o intuito de se eliminar a vegetação que primitivamente existia sobre o solo de determinada região para limpeza do solo antes do plantio, para redução de pragas e ervas daninhas, renovação de pastagens e como auxiliar na colheita de cana de açúcar.

A estimativa sobre áreas queimadas não podem ser confundidas com as de desmatamento. Embora exista uma relação entre as duas e a mídia internacional ainda faça certa confusão, há uma diferença clara, sobretudo no que se refere ao monitoramento e ao cálculo dos parâmetros da destruição. Nem tudo que queima foi recentemente desmatado e nem toda área desmatada queima.

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.

Estes focos de fogo são monitorados com satélites meteorológicos, como os da série NOAA, através dos sensores de temperatura, precisos na localização e na contagem do número de focos, mas não na delimitação da área queimada. O monitoramento por satélite foi concebido para ajudar os órgãos de fiscalização a localizar as piores concentrações de focos e ajustar os programas de controle legal ou mesmo de combate ao fogo. Uma imagem NOAA apresenta a distribuição de queimadas sobre a Amazônia legal, no instante da passagem do satélite NOAA-12. No dia 01/08/97 existiam 617 focos de fogo sobre a Amazônia.

Os desmatamentos, por outro lado, são derrubadas de floresta, seguidos ou não da queima dos restos de vegetação. Muitas queimadas numa região de mata, sem história de ocupação humana, podem indicar novos desmatamentos. Mas não é possível calcular a área desmatada sem utilizar outros satélites: os de sensoriamento remoto, que medem a luz solar refletida pela superfície terrestre. Esses satélites (da série LANDSAT) são usados no cálculo da área de desmatamento da Amazônia Legal, realizado periodicamente pelo INPE.

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, foram utilizados dados e fatores disponíveis no momento dos estudos sobre o assunto “Queima de Vegetação”. Ora, estudos realizados até então eram, conforme já foi dito, voltados a incêndios, que são eventos distintos das queimadas. Em se tratando de incêndios, que são acidentais, nunca se pensou em incluir a interação das queimadas com as atividades do homem, ou com a ocupação humana. Além disso, na adaptação de alguns deste dados à análise das queimadas, muitos erros foram produzidos, conduzindo a resultados disparatados e absurdos, às vezes.

O avanço da zona de transição entre área desmatada e a floresta na Amazônia legal é facilmente determinado, através de uma análise visual de imagens LANDSAT TM. A evolução econômica e social da ocupação humana pode ser verificada através de dados disponibilizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Pode-se comparar as imagens que documentam o avanço da área de transição do desmatamento com os dados econômicos da região de Alta Floresta, que é uma cidade tipicamente amazônica, e onde já aconteceram vários ciclos econômicos distintos.

Neste trabalho, vai-se mostrar a evolução do quadro acima apresentado, no período compreendido entre 1990 e 1995, comparando atividades de exploração do solo com aumento de área desmatada, sob a ótica de imagens LANDSAT TM. Além disso, serão apresentados alguns conceitos envolvidos num processo de queima de biomassa florestal.

CARACTERIZAÇÃO E COMPONENTES DE BIOMASSA FLORESTAL

Biomassa é o termo geral utilizado para designar-se material orgânico, sob ou sobre o solo, vivo ou não. Isto inclui árvores, plantações, grama ou mato, serrapilheira, raízes, troncos derrubados ou em pé, etc.

A biomassa sobre o solo é constituída por cerca de 49% de carbono[1], em peso de material seco, distribuídos em: 20 a 28% de lignina; 42 a 45% de celulose; 27 a 30% de hemicelulose[2].

A lignina funciona como um ligante plástico entre os constituintes da biomassa. É facilmente destruída por ácidos. Tem uma massa molecular relativamente baixa, em torno de 1000 g/gmol, e sua composição é $C_{47}H_{52}O_{16}$ ou $C_{42}H_{32}O_6(OH)_5(CH_3O)_5$ [3]. É removida da madeira durante o processo de fabricação da polpa de celulose[4], e usada na indústria química com estabilizante de asfalto, dispersantes, aditivos em óleos, na fabricação da baunilha, e outros.

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 g/gmol[3] e peso específico é de $1,5 \text{ g/cm}^3$ [4]. Não tem gosto ou cheiro. Fibras de algodão são formadas por pura celulose. É combustível, com ponto de ignição de aproximadamente 240°C . Em algumas formas pode ser auto-inflamável. 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[6]. É solúvel em bases e facilmente transformada em sacarose por diluição em ácidos minerais. É usada como complemento alimentar para animais.

A hemicelulose é o mais reativo componente da madeira e a lignina o menos reativo, mas a cinética da pirólise da madeira é principalmente influenciada pelo maior constituinte, a celulose.

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.

DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DA BIOMASSA

A decomposição térmica da madeira no ar não é um processo monofásico. De fato, ocorre em fases distintas e cujo estudo e observação não tem 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. 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.

Estudos mais recentes sobre pirólise de madeira envolvendo cinéticas de reações, a ocorrência de reações exotérmicas e endotérmicas e propriedades térmicas do carvão em altas temperaturas, sugerem que as hipóteses assumidas nos estudos anteriores necessitam de modificações para situações práticas importantes. Atualmente os problemas associados com a queima de biomassa estão na formulação de um modelo matemático para os processos físicos e químicos complexos envolvidos e na aquisição de dados confiáveis para uso nestes modelos. Estas formulações ainda se encontram em estágios bem iniciais, de tal forma que não se pode conhecer a fundo as particularidades de um processo de combustão, como os seus produtos, por exemplo. Para isso, os métodos mais eficientes ainda são os ensaios.

Na decomposição térmica de madeira, alguns fenômenos físicos e químicos ocorrem no tempo e espaço, para que ela se decomponha. Estes fenômenos incluem: secagem e pré aquecimento, liberação de material inflamável volátil, combustão do material gasoso liberado, e combustão incandescente do carbono fixado[5]. Este processo de decomposição, que ocorre com aquecimento, é chamado de pirólise. O processo em si da queima de biomassa, onde observamos estes fenômenos, acontece em cinco fases distintas, descritas a seguir[3]:

Fase 1 - Inicia-se o aquecimento da superfície e o calor propaga-se para o interior por condução. Já se tem um início da secagem na superfície.

Fase 2 - Inicia-se um processo de pirólise na superfície, e à condução somam-se as reações de pirólise nas camadas interiores. Os gases produzidos na pirólise, ao fluir para fora, induzem uma convecção em direção oposta à condução. Sob a camada em pirólise, o sólido

virgem continua a ser aquecido por condução, principalmente. Os constituintes condensáveis formados na camada em pirólise, apesar de a maior parte fluir para fora, parte deles acha passagem para o relativamente mais frio interior, por difusão. Os vapores difundidos condensam-se ao atingir um local apropriado para tal. Entretanto, como o sólido continua a ser aquecido por condução, estes condensados começam a ser re-evaporados, num processo com efeitos endotérmicos. A equação da energia nesta fase deve ter um termo que considere este processo endotérmico.

Fase 3 - Agora existem três camadas: a camada interior de material virgem, a camada intermediária em pirólise e a camada superficial, constituída por carvão. A camada de carvão é formada quando todos os voláteis foram removidos do sólido. Nesta camada a transferência de energia ocorre por condução e por convecção contrária. Além disso, a camada de carvão age como um reator contínuo de fluxo, no qual os gases mais pesados da pirólise, catalisados pelo carvão aquecido, quebram-se em gases mais leves. Quando estes gases, com massa molecular mais baixa e combustíveis, encaminham-se para fora, podem encontrar-se com moléculas de oxigênio difundidas nas camadas subsuperficiais, vindas da atmosfera. A reação de oxidação resultante pode provocar uma forte reação exotérmica na camada de 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.

Este processo, acima descrito em linhas gerais, é bastante influenciado por algumas características do material que está em pirólise. Antes de ser pirolizado, 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), teor de umidade, ventilação (oxigenação), densidade, permeabilidade, calor específico e porosidade. Estas características vão influir diretamente na taxa de decomposição do material.

A temperatura de pirólise das camadas mais interiores é função da profundidade abaixo da superfície aquecida, em virtude das mudanças havidas na estrutura do sólido, devido à incubação das diferentes camadas a diferentes temperaturas e períodos de tempo. Este aquecimento prolongado faz surgir alguns efeitos catalíticos na pirólise destas camadas. Desde que as camadas que estão mais próximas do centro do sólido são cozidas por períodos maiores que as da

superfície a uma dada temperatura, estas estão mais sujeitas a efeitos catalíticos que aí surgem, e a energia de ativação para a pirólise das camadas interiores é menor que para as camadas externas[3]. As taxas de pirólise de celulose e hemicelulose são muito influenciadas por estes efeitos catalíticos. Para experimentos com mesmos materiais e com as mesmas condições de contorno, observou-se valores para a energia de ativação para a celulose variando entre 30 e 56 kcal/mol, dependendo da sua localização.

Um outro aspecto bastante importante a ser considerado durante um incêndio ou queimada é que se pode dizer que existe uma forma diferente de combustão para os vários constituintes da biomassa, do ponto de vista de galhos, folhas e troncos. Em peças grandes de madeira, o comportamento é alterado em função dos aspectos de transferência de massa e calor. Estes fatores incluem encolhimento, a existência de gradientes de temperatura dentro da madeira e outras propriedades não isotrópicas que dependem das temperaturas, que não são observados em peças pequenas. Dessa forma, as folhas e os galhos mais finos são rapidamente consumidos, com uma alta eficiência de queima, e os troncos e galhos maiores demoram mais para serem consumidos. Poderíamos considerar que as folhas e os galhos menores são consumidos num processo monofásico e que servem como a principal fonte de calor para o aquecimento e início da pirólise dos troncos e galhos maiores, quer dizer, existe uma hierarquia na ordem de queima, que leva em conta o tamanho e as dimensões do material de mesma espécie que será consumido.

Esta diferença na eficiência da queima de biomassa, em função das suas dimensões foi observado em testes realizados na Amazônia Legal, no município de Alta Floresta, MT (09°50'00"S, 56°05'00"W). Lá verificou-se que troncos com diâmetro maior que 15 cm tem uma eficiência de queima da ordem de 4%, enquanto galhos finos e folhas queimam em sua totalidade, com uma eficiência de 100%. Isso nos leva a um ponto interessante: os troncos com diâmetro de 15 cm ou mais detém 90% da massa de biomassa da floresta Amazônica. Dessa forma, em uma queimada, aproximadamente 90% da matéria orgânica permanece no solo, sofrendo um lento e progressivo processo de decomposição natural, sem poluição. A quantidade do carbono fixado em uma floresta que é lançado à atmosfera é de 10% do carbono que originalmente lá existia. A figura 1 mostra o aspecto de um terreno, no dia posterior a uma queimada. Percebe-se como é pequena a eficiência na combustão dos troncos maiores.



Figura 1 – Terreno sujeito a uma queimada, visto no dia posterior. Pode-se perceber como é baixa a eficiência de combustão para troncos.

A figura 2 mostra a localização da Fazenda Caiabi, com os três pontos escuros, referentes aos três ensaios em escala real lá realizados. Cada um dos pontos corresponde á uma área de testes, com dimensões de 100 x 100 m².

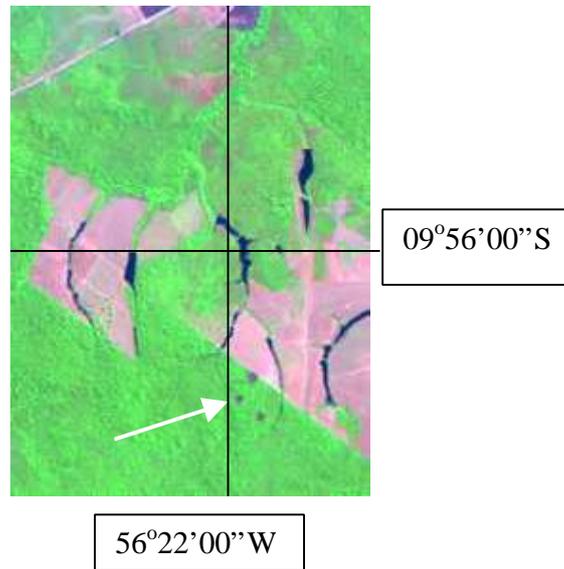


Figura 2 – Localização dos três pontos correspondentes aos três ensaios realizados pelo INPE, em terras amazônicas.

Pesquisas feitas pelo Laboratório Associado de Combustão e Propulsão (LCP), no INPE, em Cachoeira Paulista, SP, em campo, na Amazônia, e em laboratório, fornecem uma idéia da influência das dimensões e forma dos troncos, e do vento na eficiência de combustão de troncos em queimadas, como citado na referência [10].

Em experimentos com velocidade do vento entre 0 e 5 m/s, verificou-se que a eficiência de queima não aumenta proporcionalmente á velocidade do vento. Percebemos que as taxas de queima são bastante distintas no começo do processo de queima, quando uma maior oxigenação favorece o estabelecimento de uma frente de chama. Já no fim do processo, a inclinação da curva fica bem parecida entre as curvas, o que nos sugere que as taxas de combustão são parecidas.

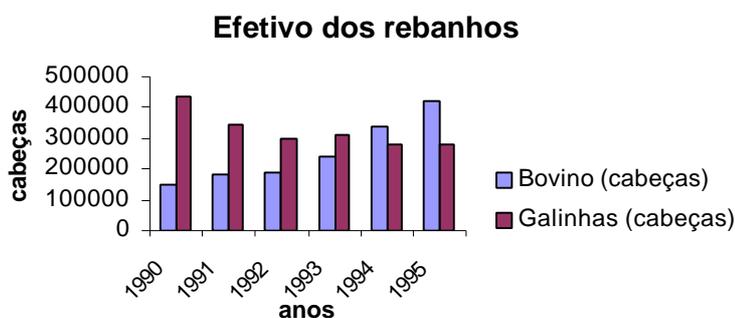
DESMATAMENTO, QUEIMADAS E POPULAÇÃO

Alta Floresta nasceu como uma cidade dormitório de garimpeiros, nos anos 70 e 80. Com o esgotamento dos mananciais auríferos, a região apoiou-se economicamente na agricultura, principalmente cacau e café. Hoje existe uma tendência em transformar-se as áreas plantadas em pastos, que exige menos mão de obra, porém, mais área desmatada.

Dados obtidos junto ao IBGE para a região de Alta Floresta, disponíveis na Internet (<http://www.ibge.gov.br>), nos mostram essa transformação na economia da região, entre os anos de 1990 e 1995.



Da mesma forma, podemos analisar o avanço da pecuária, no mesmo período.



É fácil perceber-se a troca do tipo de exploração que se fazia do solo. A pecuária exige maiores espaços, e faz parte da cultura local a queima e replantação dos pastos, periodicamente. Numa cultura de cacau ou café não existe a queimada como parte do processo produtivo, pois não se remove para troca os espécimes produtores. A criação de galináceos não sofreu mudanças consideráveis, além de não ter grandes influências sobre a utilização do solo.

Imagens LANDSAT TM, nos canais 3, 4 e 5, servem para se verificar o avanço da área desmatada em determinada região. Para este estudo, pode-se fazer essa comparação com as imagens abaixo (figuras 3 e 4). É fácil verificarmos a diferença que houve na vegetação da região, em virtude da alteração da vocação da região produtora, de agrícola para pecuária. Nas imagens, a coloração rosa nos indica regiões desmatadas com alguma cultura, o verde é a vegetação natural e as colorações escuras nos mostram queimadas recentes, tanto mais recentes quanto mais escuras são as manchas. As imagens foram editadas, a partir de imagens fornecidas pelo INPE, com o software IMAEDIT[®], da Softcat. Nas imagens existe uma grade com coordenadas geográficas, que pode ser usada.

Na análise das imagens nas duas datas de passagem pode-se perceber o aumento das áreas desmatadas, fato observado apenas nas propriedades agropecuárias já existentes. Foi constatado nesta análise que não houve aparecimento de novas áreas (propriedades) com fins agropastoris,

mas sim, houve uma transformação física nas áreas das propriedades que já existiam, o que demonstra mesmo a existência de uma dinâmica no processo de ocupação da terra. Isso vem de encontro ao que foi observado nos dados fornecidos pelo IBGE.

Essa indicação pode ser quantificada, através de softwares específicos de SIG, disponíveis no mercado. Porém, é interessante percebermos que podemos recolher muitas informações comparativas, mesmo sem nenhum programa especial, a não ser o de visualização.

CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Queimadas, desmatamento e população caminham paralelamente. Essa interação é, atualmente, uma parte nociva do ecossistema amazônico. A ação antropológica neste ecossistema cada dia é mais evidente e presente. Para que o homem ocupe, o processo mais barato de limpeza ainda é a queimada, para terrenos novos ou renovação de culturas. Propriedades agrícolas hoje se transformam em áreas pastoris, devido a uma alteração na vocação da economia da região considerada. Na análise das duas passagens percebe-se o aumento das áreas desmatadas, fato que ocorre apenas nas propriedades agropecuárias já existentes. Foi constatado nesta análise que não houve aparecimento de novas propriedades com fins agropastoris. Uma atividade pastoril exige uma área livre, desmatada, muito maior, e a própria tecnologia empregada no manejo de rebanhos envolve a ocorrência de queimadas para renovação de pastos. Em áreas de florestas recém desmatadas, a eficiência de combustão global é da ordem de 20%. Isso implica em afirmar-se que apenas 20% do carbono fixado é lançado para a atmosfera em forma de gases. A utilização de Sistemas de Informações Georeferenciados em equipamentos computacionais sofisticados não é suficiente para se chegar a valores reais em situações como as das queimadas. O fato de se chegar ou não a valores reais usando-se um SIG é dependente da qualidade dos dados que alimentaram o sistema. Por outro lado, dependendo do que se deseja, facilmente consegue-se bons resultados de uma maneira simples, sem equipamentos e softwares tão complexos.

Aproveitando-se as experiências adquiridas em campo, e em cooperação com o grupo de engenharia florestal da Universidade de Washington, em Seattle e com pesquisadores do USDA – Forest Service Research, em Oregon, estão se realizando estudos, teóricos e experimentais, que possibilitem uma melhor utilização de dados de SIG para dimensionar-se de uma maneira confiável, as queimadas na Amazônia. Este trabalho conjunto já foi realizado anteriormente, e um grupo de trabalho formado por técnicos do INPE e da Universidade de Washington iniciou, em maio/98, preparativos para a realização de ensaios de queimadas e alterações na reflectância devido ao desmatamento e posterior queimada, em Alta Floresta, MT. . Estudos da estratificação da tipologia florestal e da distribuição espacial da biomassa, antes e após as queimadas, quando observados no campo, nos fornecem informações que serão primordiais em estudos futuros de visualização dos efeitos de queimadas através de imagens LANDSAT TM, que são mais precisos na avaliação que os sensores AVHRR/NOAA [13].

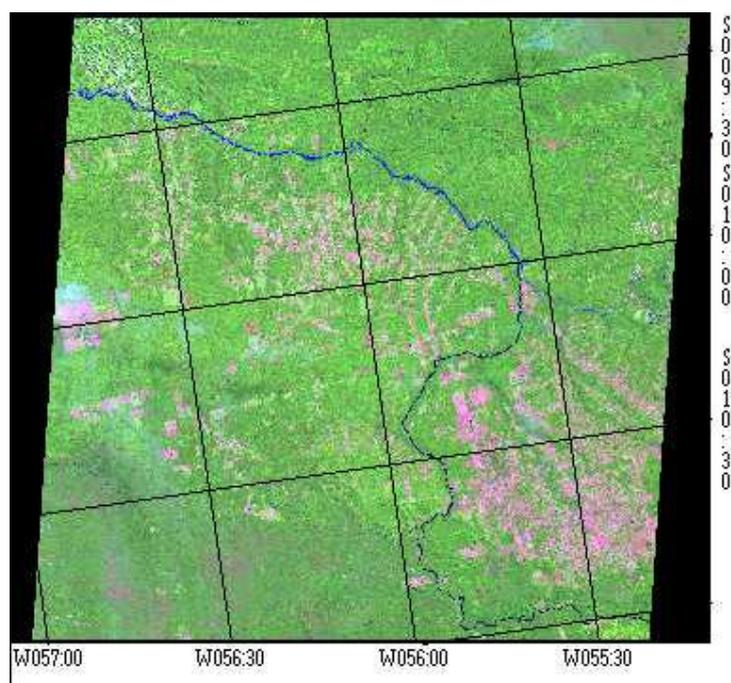


Figura 3 – Imagem LANDSAT TM, canais 3, 4 e 5, adquirida no dia 25/06/91, da região de Alta Floresta (órbita/ponto: 227/67).

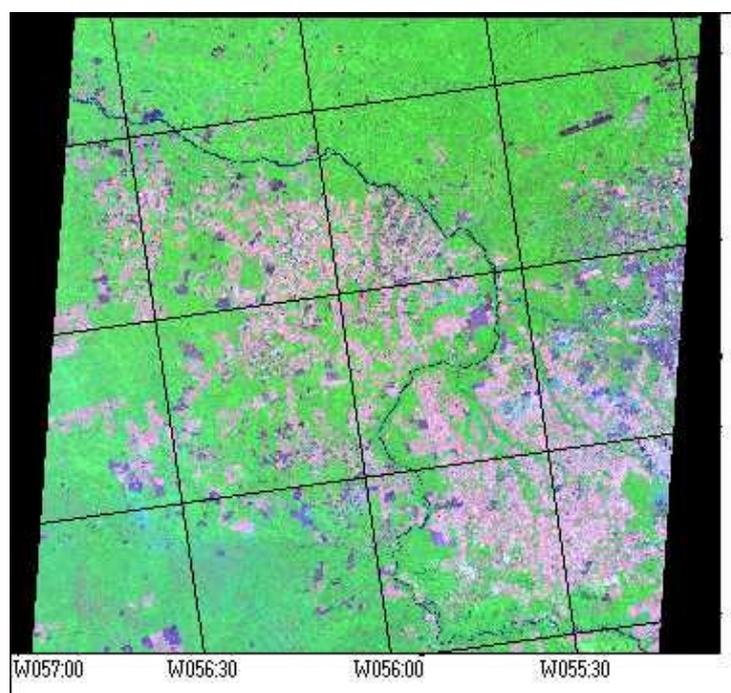


Figura 4 – Imagem LANDSAT TM, canais 3, 4 e 5, adquirida no dia 28/08/97, da região de Alta Floresta (órbita/ponto: 227/67).

REFERÊNCIAS

- 1 Roberts, A.F.: “Problems Associated with the Theoretical Analysis of the Burning of Wood”, Proc. of the Thirteenth Symposium (International) on Combustion, pp. 893-901, 1970.
- 2 Salazar, C.M.; Connor, M.A.: “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, 1983.
- 3 Kanury, A.M.; Blackshear, P.L.: “Some Considerations Pertaining the Problem of Wood-Burning”, Combustion Science and Technology, 1:339-355, 1970.
- 4 Kanury, A.M.: “Combustion Characteristics of Biomass Fuels”, Combustion Science and Technology, 97:469-491, 1994.
- 5 Kanury, A.M.: “Rate of Charring Combustion in a Fire”, Proc. of the Fourteenth Symposium (International) on Combustion, pp 1131-1142, 1972.
- 6 Carvalho Jr., J.A.; Santos, J.M.; Santos, J.C.; Higuchi, N.: “Estimate of Combustion Efficiency in a Forest Clearing Experiment in the Manaus Region”, Revista Brasileira de Geofísica, 12(1):45-48, 1994.
- 7 Araújo, T.M.: “Investigação das Taxas de Dióxido de Carbono Gerado em Queimadas na Região Amazônica”, Tese de Doutorado, UNESP, 1995.
- 8 Carvalho Jr., J.A.; Santos, J.M.; Santos, J.C.; Leitão, M.M.; Higuchi, N.: “A Tropical Rainforest Clearing Experiment by Biomass Burning in the Manaus Region”, Atmospheric Environment, 29(17):2301-2309, 1995.
- 9 Araújo, T.M.; Higuchi, N.; Carvalho Jr., J.A.: “Comparação de Métodos para Determinar Biomassa na Região Amazônica”, Anais da Academia Bras. Ciências, 68(1):35-41, 1996.
- 10 Serra Jr., A.M.: “Combustão de Biomassa em Microqueimadas e em Escala Real”, Dissertação de Mestrado, UNESP, 1997.

11 Araújo, T.M.; Carvalho Jr., J.A.; Higuchi, N.; Brasil Jr., A.C.P.; Mesquita, A.L.A.: “Estimativa de Taxas de Liberação de Carbono em Experimento de Queimada no Estado do Pará”, Anais da Academia Bras. Ciências, 69(4):575-584, 1997.

12 Carvalho Jr., J.A.; Higuchi, N.; Araújo, T.M.; Santos, J.C.: “Combustion Completeness in a Rainforest Clearing Experiment in Manaus, Brazil”, Journal of Geophysical Research, in print, 1998.

13 Amaral S.: "Imagens do Sensor AVHRR/NOAA na Detecção e Avaliação de Desmatamento na Floresta Amazônica - Relações com Dados do Sistema TM/LANDSAT", Dissertação de Mestrado, INPE, 1992.