

# Simulando o Efeito do El Niño na Floresta Amazônica



O Experimento "Seca Floresta"



# Documento de Divulgação do Projeto “Seca-Floresta” na Amazônia

## Coordenação



Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia-IPAM  
Av. Nazaré, 669, Centro, 66035-170 Belém, Pará, Brasil  
[www.ipam.org.br](http://www.ipam.org.br)  
[ipam@amazon.com.br](mailto:ipam@amazon.com.br)

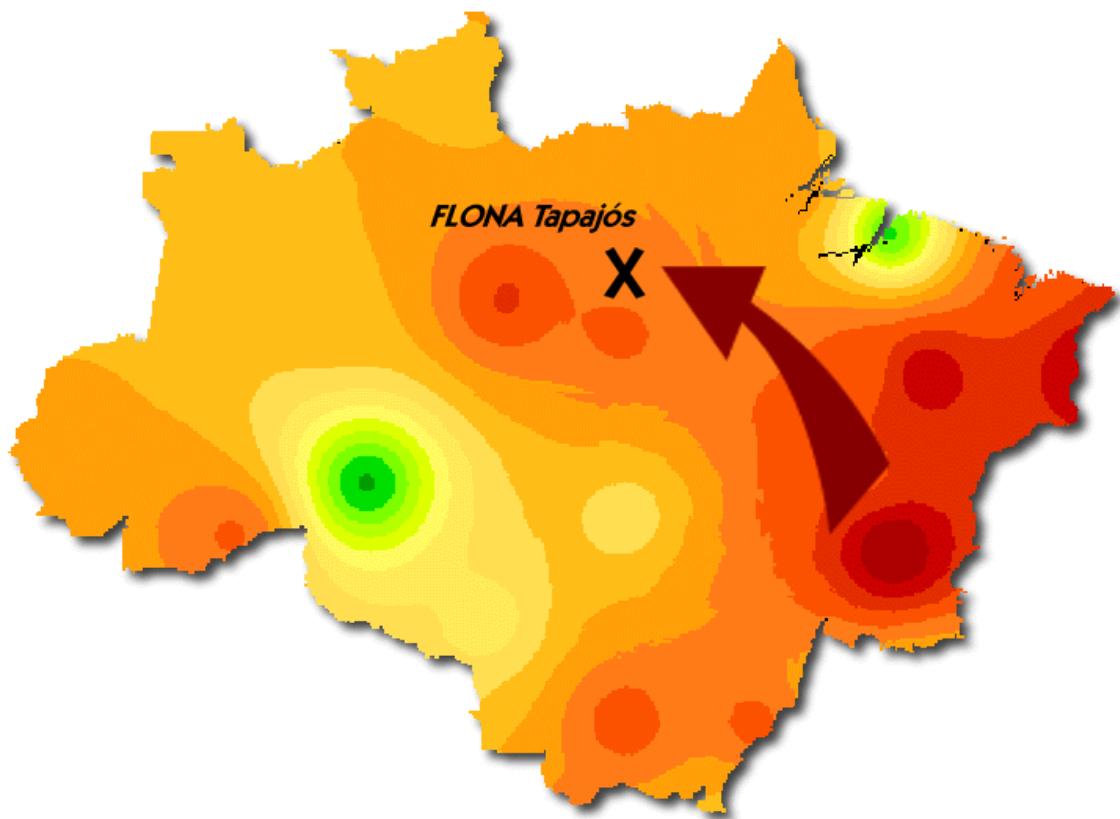


**The Woods Hole  
Research Center**



Amazônia Oriental

# Simulando o efeito do El Niño na Floresta Amazônica: o experimento "Seca Floresta"



Mapa da Amazônia Brasileira indicando a área de floresta que se torna inflamável durante os períodos de seca sazonais. As áreas em laranja escuro e em vermelho indicam as áreas que sofreram severa estiagem durante os anos de 1997 e 1998, quando ocorreu o El Niño mais intenso do século. O X assinalado pela seta indica a localização do projeto de exclusão de chuva, que está situado no centro da área de floresta amazônica mais propensa à seca.

Documento de Divulgação do Projeto “Seca-Floresta”  
Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia-IPAM  
Av. Nazaré, 669, Centro, 66035-170 Belém, Pará, Brasil  
[www.ipam.org.br](http://www.ipam.org.br)  
[ipam@amazon.com.br](mailto:ipam@amazon.com.br)

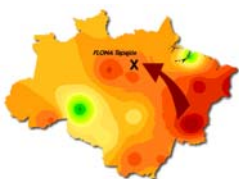
Foto Capa  
D. Nepstad

#### Apoio

Este projeto conta com apoio financeiro do Programa Piloto para Conservação da Floresta Brasileira (PPG7)/União Européia, Ministério de Ciência e Tecnologia, IBAMA-Santarém, Agência para o Desenvolvimento Internacional (USAID), National Science Foundation (NSF) e NASA-LBA Ecologia.



## Apresentação



Grande parte da floresta amazônica só existe devido a sua alta tolerância à seca. Mais da metade das florestas da região sofrem estiagens anuais que duram de três a cinco meses, entre julho e novembro. Mesmo após várias semanas seguidas sem uma única gota de chuva, continuam verdes, úmidas e imunes ao fogo. Isto acontece porque estas florestas apresentam raízes profundas o suficiente para, durante a seca, captar água do solo que se encontra estocada a mais de 10 metros de profundidade. São as chamadas “florestas de raízes profundas”. Mas esta resistência à seca tem o seu limite. Se a estiagem for muito prolongada, como acontece durante o evento climático conhecido por El Niño, o solo profundo também ficará seco, impedindo que as raízes se abasteçam de água. Por conta das mudanças climáticas globais, do desmatamento descontrolado e das queimadas, é possível que no futuro os períodos de estiagem sejam mais frequentes e mais intensos na Amazônia. Sob esta condição climática, a floresta da região tal como a conhecemos hoje, estará sujeita a transformações que a tornarão mais seca, quente e susceptível ao fogo.

Antecipar este futuro de seca e calor é, portanto, fundamental para avaliar a resistência da floresta Amazônia a este novo cenário climático e, conseqüentemente, planejar melhor a conservação e o uso de suas riquezas. Neste sentido, o Projeto “Seca-Floresta” tem como objetivo avaliar, através de uma abordagem experimental, a resposta da vegetação florestal à uma seca produzida artificialmente, através de painéis plásticos distribuídos sobre um hectare da Floresta Nacional do Tapajós, em Santarém no Estado do Pará. Os principais resultados conseguidos até o momento estão relatados neste documento de divulgação produzido pelo IPAM em colaboração com o Woods Hole Research Center e a Embrapa Amazônia Oriental e que contou com apoio do IBAMA-Santarém.

## Participantes

Coordenadores do Projeto  
Dr. Daniel Nepstad (WHRC e IPAM)  
Dr. Paulo Moutinho (IPAM)

Supervisores de Campo  
Manoel Aviz Nascimento (IPAM)  
Luciana Mônaco (IPAM)

Pesquisadores por Atividade de Pesquisa:

Fotossíntese:  
Dr. Moacyr Bernardino Dias-Filho (EMBRAPA Amazônia Oriental)  
José Benito Guerrero (IPAM, Doutorando)

Relações Hídricas:  
Dra. Michelle Holbrook (Harvard University)  
Gina Cardinot (IPAM, Doutorando)  
Dr. Todd Dawson (University of California—Berkeley)  
Dr. Rafael Oliveira (University of California-Berkeley, Doutorando)

Fenologia:  
Noemi Viana (EMBRAPA Amazônia Oriental)  
Lucyana Barros (IPAM)

Trocas gasosas no solo:  
Dr. Eric Davidson (WHRC)  
Francis Yoko Ishida (IPAM, Doutoranda)

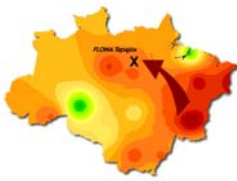
Ciclo de Nutrientes:  
Dr. Ricardo Figueiredo (IPAM)  
Dr. Daniel Markewitz (University of Georgia)  
Elizabeth Belk (University of Georgia, Mestranda)

Estudos isotópicos:  
Dr. Marcelo Moreira (Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP)  
Dr. Leonel Sternberg (University of Miami)

Sensoriamento Remoto:  
Dr. Greg Asner (Carnegie Institute)  
Paul Lefebvre (WHRC)

Respiração de caules  
Dr. Jeff Chambers (INPA e University of California—Irvine)  
Edgard (INPA, Doutorando)

**Por que excluir a chuva?** *Porque os efeitos da mudança climática global sobre a estrutura e função do ecossistema florestal amazônico são ainda pouco compreendidos.*



Quando o El Niño<sup>1</sup> libera sua fúria sobre o sistema climático do planeta, grandes áreas de floresta tropical na Amazônia, Borneo e México sofrem severa estiagem. Por exemplo, em 1997 e 1998, durante o El Niño mais intenso do século, a resistência natural das florestas destas regiões ao fogo ficou comprometida. Como consequência, grandes incêndios florestais foram registrados, sendo que maioria deles teve início acidental, isto é, a partir do fogo que escapou das queimadas realizadas em campos agrícolas. Neste período, só na Amazônia brasileira mais de 30.000 km<sup>2</sup> de florestas em pé viraram cinzas<sup>2</sup>. Em Kalimantan, na ilha de Borneo, outros 26.000 km<sup>2</sup> foram consumidos pelas chamas<sup>3</sup>. Este aumento em intensidade dos eventos de El Niño tem sido interpretado como um sinal precoce dos efeitos do aquecimento global<sup>4</sup>. Estima-se que dentro de 50 anos a temperatura do ar nas regiões tropicais sofrerão um aumento de 2 a 4 °C.

Apesar da grande influência do El Niño e do aquecimento global sobre as florestas tropicais, a comunidade científica ainda tem uma capacidade reduzida de previsão sobre como estas florestas responderão às mudanças climáticas que estão sendo previstas para o futuro. Para tentar avaliar quais seriam estas respostas, em 1999, iniciou-se o maior experimento de exclusão de chuva do mundo e o primeiro a ser conduzido em uma floresta tropical, no caso na Amazônia oriental brasileira. A idéia central por trás deste experimento foi a de monitorar as mudanças impostas por uma estiagem prolongada e intensa, como aquela que ocorre em períodos sob a ação do El Niño, sobre vários aspectos importantes do funcionamento e da estrutura da floresta. Está sendo investigado, por exemplo, qual é o limiar de seca acima do qual a floresta torna-se inflamável. Espera-se que com os resultados seja possível subsidiar as ações dos tomadores de decisão quanto a melhor política florestal a ser adotada para região de modo que não haja implicações negativas para a mudança climática global. Ainda, vários dos resultados servirão para aprimorar os modelos de previsão de incêndios florestais na Amazônia e, assim, orientar as ações de prevenção e controle dos incêndios florestais e reduzir os prejuízos econômicos e sociais associados ao fogo.

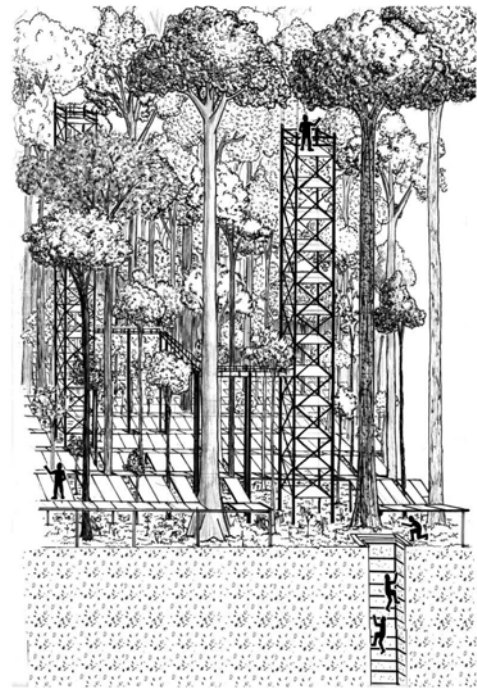


Fig. 1. Desenho da estrutura (painéis, torres, passarelas e poços) de exclusão de chuva montado em um hectare de floresta na FLONA Tapaiós.

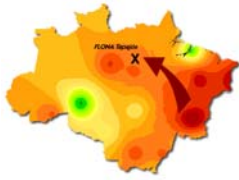
<sup>1</sup> Fenômeno climático produzido pelo aquecimento periódico das águas superficiais do Pacífico Sul.

<sup>2</sup> Nepstad et al. 1999.

<sup>3</sup> Ref???

<sup>4</sup> Ref??

## Excluindo a chuva na Floresta Nacional do Tapajós



A Floresta Nacional do Tapajós (FLONA Tapajós), onde está montado o projeto de exclusão de chuva, recebe por ano entre 600 e 3000 mm de chuva (média anual de 2000 mm). Normalmente, a estação seca inicia-se em meados de junho e se estende até o início de dezembro. Durante este período a chuva é reduzida e não é incomum chover menos do que 100 mm por mês. O solo (latossolo) é ácido e argiloso e o lençol freático é profundo ( $> 100$  m).

Para avaliar os efeitos da seca prolongada sobre a floresta, foram estabelecidas duas parcelas de um hectare cada, sendo ambas similares quanto à estrutura da vegetação e a composição florística (Tabela 1). Em uma das parcelas, chamada de “parcela tratamento”, foi instalada a estrutura de exclusão de chuva. A outra parcela serviu de controle (Figura 2).

Cinquenta e quatro espécies de árvores são comuns às duas parcelas, cada uma representada por, pelo menos, dois exemplares por parcela. A floresta ao redor caracteriza-se por árvores altas, algumas atingindo 55 m de altura, e que formam uma copa contínua com altura variando entre 18 e 40 m. As parcelas estão localizadas em áreas onde a maior parte das árvores apresenta uma altura inferior a 30 m, o que facilitou o acesso à copa da floresta.

**Tabela 1. Características da vegetação contida nas duas parcelas de um hectare selecionadas para o experimento de exclusão de chuva na FLONA Tapajós.**

Parcela	Número de espécies <sup>1</sup>	Biomassa acima do chão <sup>1</sup> (Toneladas/ha)	Raízes grossas <sup>2</sup> (Toneladas/ha)	Raízes finas <sup>3</sup> (Toneladas/ha)
Tratamento	182	291	33	3.4
Controle	203	305	30	4.2

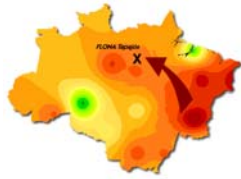
<sup>1</sup> Árvores  $\geq 10$  cm e lianas  $\geq 5$  cm DAP (diâmetro a altura do peito).

<sup>2</sup> Raízes vivas e mortas  $> 2$  mm diâmetro até 12 m de profundidade.

<sup>3</sup> Raízes vivas e mortas 0-2 mm diâmetro até 6 m de profundidade.



## O Experimento



Os efeitos da seca sobre a estrutura da floresta e seus processos ecológicos estão sendo estudados comparando-se as respostas da vegetação entre as duas parcelas de um hectare. Pelo fato dos estudos ecossistêmicos de larga escala que envolvem manipulação experimental impõem limitações práticas à replicação de tratamentos, ao longo de um ano, realizamos o que chamamos de “período de calibração”. Durante este período, que antecedeu ao início da exclusão de chuva, várias medidas foram realizadas em ambas as parcelas. Desta forma, foi possível avaliar as diferenças naturais entre ambas, de modo a permitir uma real avaliação dos efeitos da exclusão de chuva sobre a floresta.

Para evitar que a vegetação contida dentro da parcela tratamento fosse abastecida pela água armazenada no solo ao lado, uma trincheira (1 a 1.7 m de profundidade) foi escavada ao longo do seu perímetro. O mesmo foi feito na parcela controle. Ainda, uma rede de sub-parcelas (10 x 10 m) foi estabelecida, formando uma grade de pontos, os quais são utilizados como local tomada de medidas e amostragem (Figura 2).

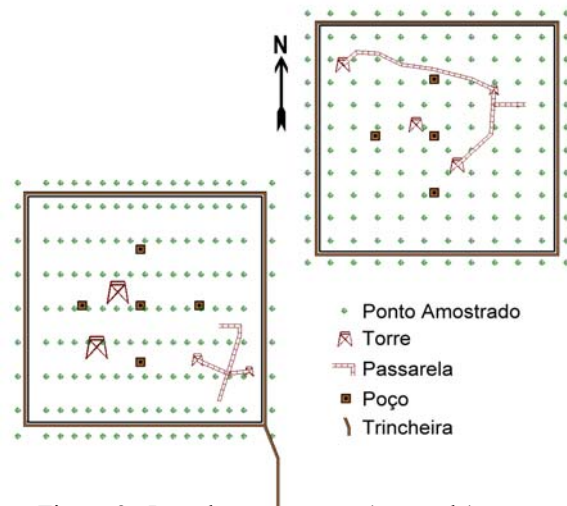
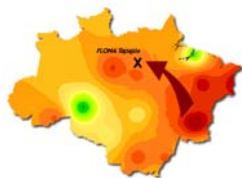


Figura 2. Parcelas tratamento (esquerda) e controle (direita). A distância entre as parcelas é de 25 m.

**A Infraestrutura** montada pelo experimento de exclusão de chuva, já conhecido por “Seca-Floresta”, permite aos pesquisadores o acesso tanto à porção subterrânea da floresta como as copas, facilitando uma série de medidas sobre o funcionamento do ecossistema.



Para excluir a chuva, um total de 5660 painéis (3 m X 0.5 m), revestidos com plástico transparente, são dispostos sobre suportes de madeira instalados na parcela tratamento (Figura 3). Estes painéis ficam expostos somente durante a estação de chuva (janeiro-maio). A serrapilheira acumulada sobre os painéis é diariamente removida e devolvida ao solo. A temperatura do ar abaixo dos painéis não tem sido significativamente elevada ( $< 0.3^{\circ}\text{C}$ ).



Fig. 4. Checando fluxo de água nas trincheiras.

As árvores, e da fenologia (Figura 5). Próximo as torres, uma variedade de dados climatológicos (p.e. radiação solar, precipitação e temperatura) estão sendo coletados. Algumas das torres estão interligadas por passarelas (8-12 m de altura - Figura 6) que permitem o acesso a copa das árvores de sub-bosque. As medidas realizadas em diferentes alturas permitem uma visão mais completa de como a floresta responde a exclusão de chuva.



Fig. 3. Técnico instalando painéis.

A água coletada pelos painéis é conduzida a uma calha que, por sua vez é direcionada para a trincheira que circunda a parcela e, então, segue para um canal de escoamento e é despejada a 220 m de distancia de onde foi coletada inicialmente (Figura 4). Os painéis e as calhas cobrem cerca de 75 % da parcela e excluem aproximadamente 50-80 % da água de cada evento de chuva.

Quatro torres por parcela (13-30 m de altura) dão acesso às copas das árvores, permitindo a realização de medidas de fotossíntese, do estresse hídrico das



Fig. 5. Vista do alto da torre.



Figura 7. Pesquisador tirando amostras do poço.

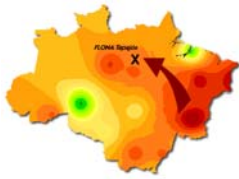
Ainda, em cada parcela, cinco poços (12 m de profundidade - Figura 7) foram escavados e, em cada um, realizou-se medidas da quantidade de água armazenada, registradas em sensores de TDR, e da biomassa de raízes, utilizando periscópios de solo.



Fig. 6. Passarela 12 metros acima do chão.



**Água do Solo Profundo** – As Florestas Úmidas da Amazônia são notadamente resistentes à seca. Elas resistem aos efeitos de estiagens severas retirando água do solo a profundidades maiores que 12 m. Através do “Seca Floresta” será possível saber qual a intensidade de seca que a floresta consegue tolerar, antes que ocorram danos significativos a sua estrutura e função.



O Conteúdo Volumétrico de Água no Solo (CVA) está sendo medido em poços escavados até 12 m de profundidade. Ao longo da parede destes poços, sensores de umidade são instalados e os dados são registrados em um computador portátil (Figura 8).

Na camada superior do solo (0-200 cm) o CVA é fortemente relacionado com a exclusão de chuva, e as diferenças entre as parcelas surgem e desaparecem rapidamente em resposta a colocação e retirada dos painéis (Figura 9). Por outro lado, as diferenças no CVA em profundidades de 200-1100 cm surgem mais lentamente, mas são mais duradouras. A hipótese neste caso é que secas prolongadas deverão provocar efeitos negativos naquelas espécies de árvores que dependem da água estocada em profundidade para superar os períodos de seca severa.



Figura 8. Registrando a umidade do solo através de sensores de umidade.

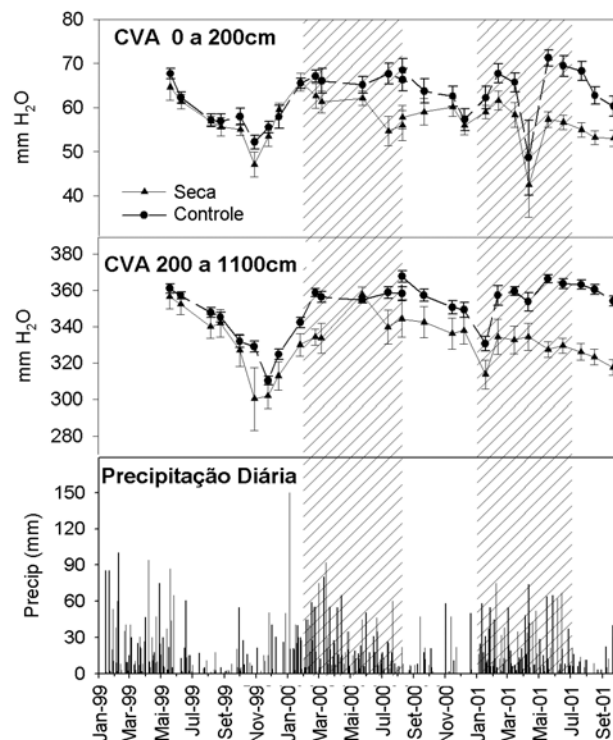
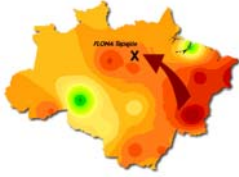


Figura 9. Perfis integrados de VWC.



**A resistência do Dossel Florestal à Seca.** *O dossel da floresta regula o fluxo de energia entre a floresta e a atmosfera. O alto sombreamento causado pela folhas das copas das árvores previne que o chão da mata seque e se torne inflamável. Isto só acontece porque este dossel é muito tolerante a seca e não perde folhas facilmente.*



Vários instrumentos e técnicas estão sendo utilizados para avaliar as mudanças no dossel da floresta em função das alterações nas condições hidrológicas promovidas pela exclusão de chuva. Por exemplo, o densiômetro (Figura 11) tem sido usado para medir a abertura do dossel. A percentagem de abertura ou de cobertura é calculada com base na área de folhas que é refletida no espelho côncavo do densiômetro.

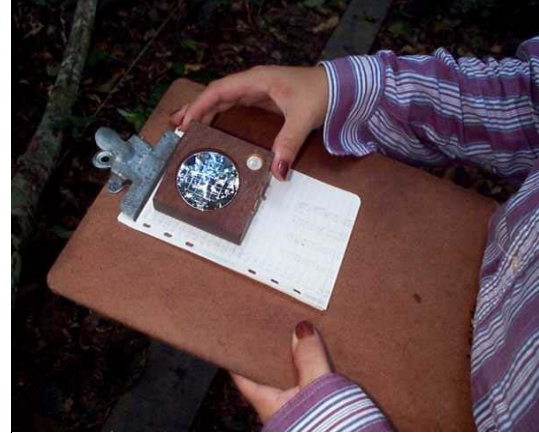


Figura 11. Estimando a abertura do dossel através do densiômetro de copa.



Figura 12. Instrumento para as medidas de LAI.

Já o índice de área foliar (LAI) é medido usando um analisador eletrônico da densidade da copa da floresta (Figura 12). Através de um programa de computador o sistema calcula o número de camadas de folhas que se sobrepõem para formar a copa. Este cálculo é baseado em um modelo teórico de transmissão de luz através do dossel da floresta.

Coletores de serrapilheira (0.5 m x 0.5 m) são usados para coletar folhas, frutos e sementes que são continuamente lançados pelo dossel da floresta. As amostras são coletadas, em intervalos de duas semanas. Existem 100 coletores em cada parcela (Figura 13).



Fig. 13. Bandeja de coleta de serrapilheira.

Os resultados indicam que a abertura do dossel aumentou ligeiramente em ambas as parcelas desde o início das medidas. O LAI mostrou uma redução correspondente, a qual foi menor na parcela tratamento nas datas mais recentes de amostragem. A produção de novas folhas aumentou durante a estação seca quando o estresse hídrico promove a queda de folhas. Houve também uma tendência de aumento da produção de folhas na parcela tratamento como indicado pelas últimas medidas realizadas (Figura 14).

A estrutura física do dossel da floresta tem sido bastante tolerante ao aumento do estresse hídrico imposto pelo tratamento de exclusão de chuva. Entretanto, algumas diferenças entre as parcelas já podem ser notadas quanto a sua resistência a seca. Espera-se que estas diferenças aumentem ao longo do tempo, especialmente quando a água do solo profundo se esgotar.

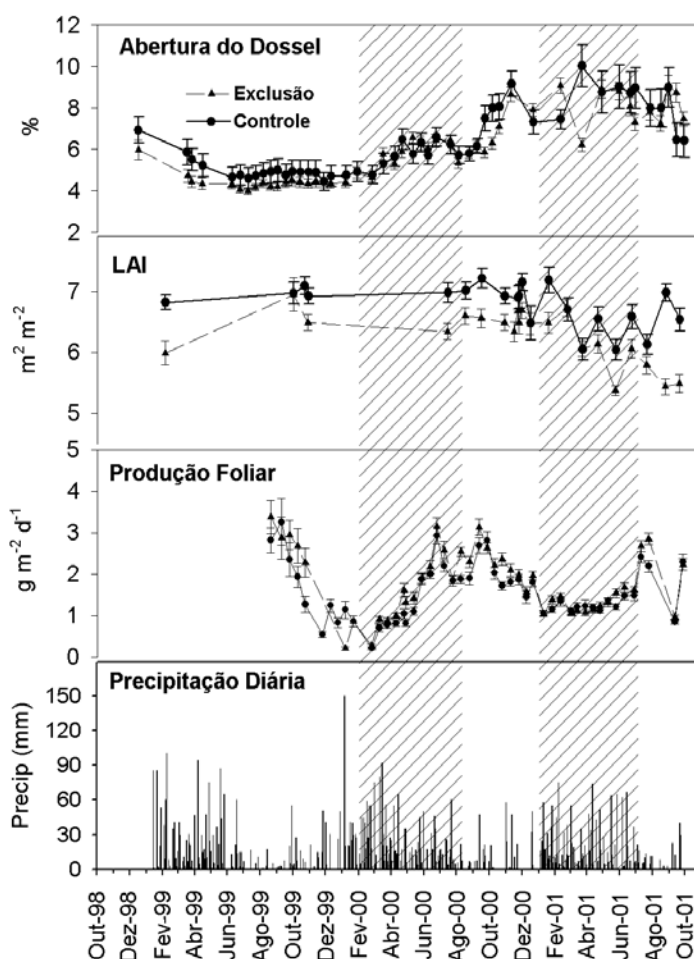
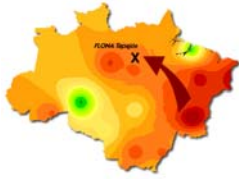


Fig. 14. Resistência do dossel à seca.

**A Resistência do Dossel Florestal à Seca.** Embora a exclusão de chuva não tenha provocado uma mudança nítida na estrutura do dossel da floresta já é possível detectar aumentos no estresse hídrico nas árvores.



O Potencial Hídrico Foliar (LWP), uma medida da falta de água uma planta está sofrendo, tem sido verificado através de uma câmara de pressão do tipo Scholander. Quanto maior o estresse, uma maior pressão é necessária para forçar a saída da água das folhas acondicionadas dentro da câmara. Neste estudo, um total de 14 espécies de árvores está sendo avaliado. Os resultados obtidos até o momento indicam que durante a estação seca o potencial hídrico permanece negativo, indicando que quantidade de água disponível para as árvores é reduzida, e diferenças neste potencial entre as parcelas já podem a ser observadas (Fig. 17, nov2001).



Fig. 15. Medindo o potencial hídrico foliar durante a madrugada.

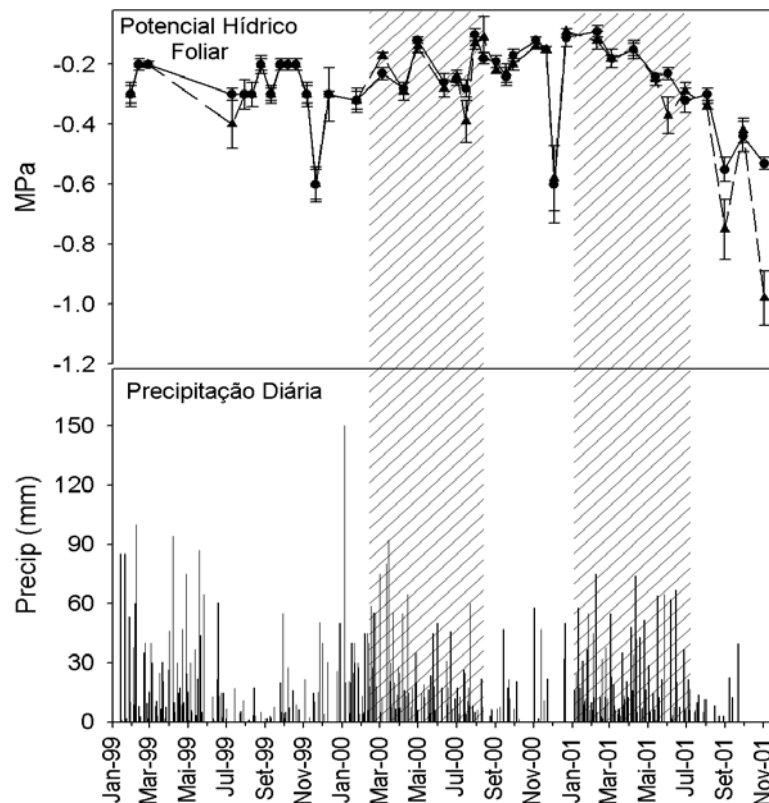
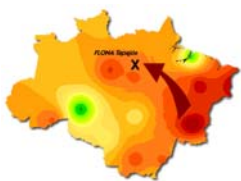


Fig. 17. Potencial hídrico foliar e precipitação.



Ainda para avaliar o estresse hídrico da vegetação, medidas do fluxo de seiva no interior dos trocos das árvores vêm sendo realizadas. Em cada tronco, são inseridos sensores do tipo Granier (Fig. 16).

Cada sensor é constituído de um par de hastes de metal, sendo que uma delas é aquecida e ambas são sensíveis a variações de temperatura. Como os sensores atingem os tecidos condutores (xilema) de seiva, eles são capazes de registrar, por diferenças de temperatura entre as hastes, as taxas de fluxo.

A taxa de fluxo de seiva do xilema para uma das espécies mais comuns do sub-bosque, a *Caferana* (*Coussarea racemosa* AC. Rich. ex DC.) mostrou-se afetada pela exclusão de chuva que aconteceu durante a estação chuvosa de 2001 (Fig. 18).



Fig. 16. Sensores Granier.

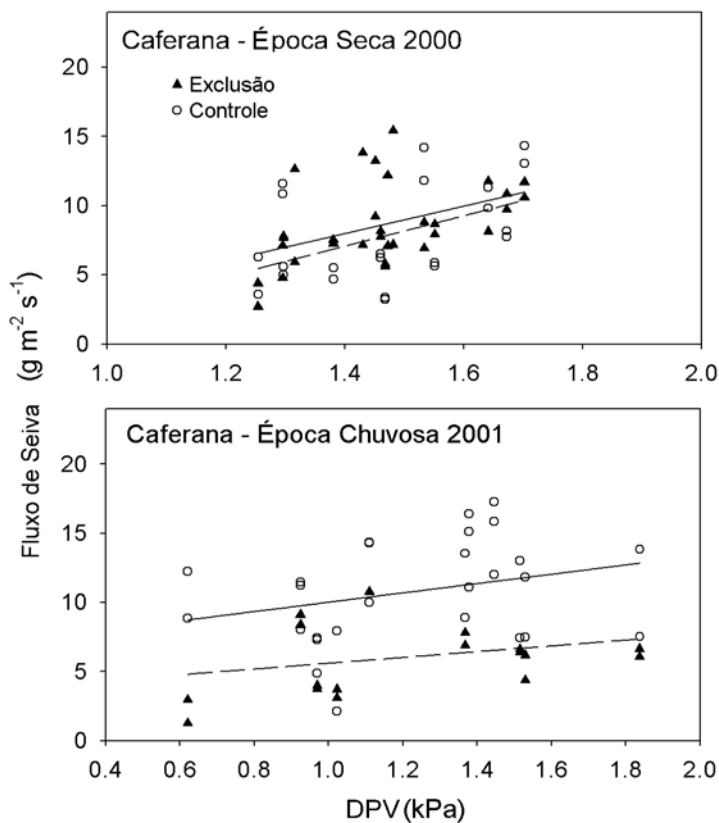
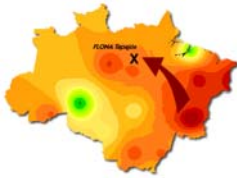


Fig. 18. O fluxo de seiva do xilema para a espécie de sub-bosque: *Caferana*. Déficit de pressão de vapor (VPD) é a principal força que dirige a perda de água das folhas do dossel.

Embora o fluxo de seiva da maioria das árvores não tenha sido ainda significativamente afetado pela exclusão de chuva, algumas espécies importantes como *Caferana* têm substancialmente lançado menos água para a atmosfera durante a estação chuvosa. Nós estamos atualmente buscando outras adaptações fisiológicas, como condutância foliar, para que seja possível desenvolver um retrato mais completo das respostas fisiológicas do dossel florestal.



**O colapso da reprodução das árvores** – a floração e a frutificação das árvores da Floresta Nacional do Tapajós vêm declinando desde 1985. Seria este fenômeno induzido por uma situação, já em curso, de secas mais pronunciadas na região?



A atividade de floração e frutificação de 35 espécies que vêm sendo monitorada na FLONA

Tapajós declinou substancialmente nos últimos. Tal fenômeno parece estar ligado aos eventos de El Niños intensos, especialmente a partir daquele ocorrido em 1991/92 (Figura 19). A percentagem de árvores produzindo flores e frutos a cada ano que era de 35% em 1985 chegou a 27% em 1991. De 1992 a 1999 esta redução se acentuou e a percentagem de árvores florindo chegou a níveis entre 10 e 15%.

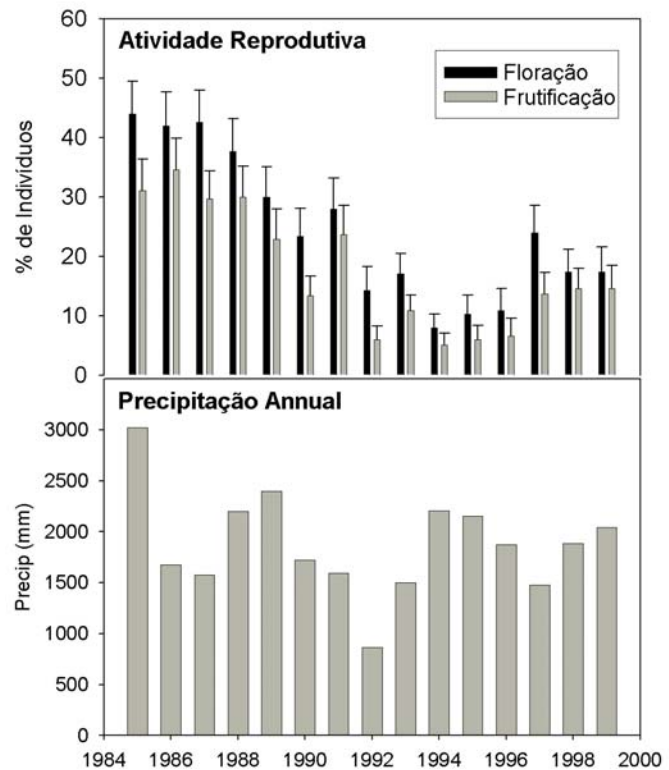


Fig. 19. Alterações de atividade reprodutiva e precipitação anual no 'parque fenológico', uma parcela de floresta de 400 hectares, estabelecida por Noemi Viana na FLONA



Fig. 20. Coletando folhas dos galhos marcados.

A fenologia quantitativa (produção e longevidade das folhas) também está sendo monitorada. As folhas de galhos marcados com pequenas placas são acompanhadas periodicamente para várias espécies comuns às duas parcelas (Fig. 20). Trabalhadores de campo visitam mensalmente cada uma das árvores e contam o número de folhas presentes nos galhos e avaliam em que condições se encontram.

Um outro indício de que a seca afeta o desempenho reprodutivo das árvores tem sido obtido das medidas da taxa de frutificação 43 espécies de árvores que são comuns as parcelas controle e tratamento. A taxa frutificação é elevada no final da estação seca e baixa no final da estação chuvosa em ambos as parcelas. Contudo, essa taxa foi 50 a 100% menor na parcela tratamento a partir da instalação dos painéis de exclusão.

Se esta tendência for confirmada ao longo da pesquisa, então a ocorrência de secas prolongadas no futuro devido a mudanças climáticas, poderão promover grandes impactos negativos sobre animais frugívoros e sobre os padrões de estabelecimento de sementes.

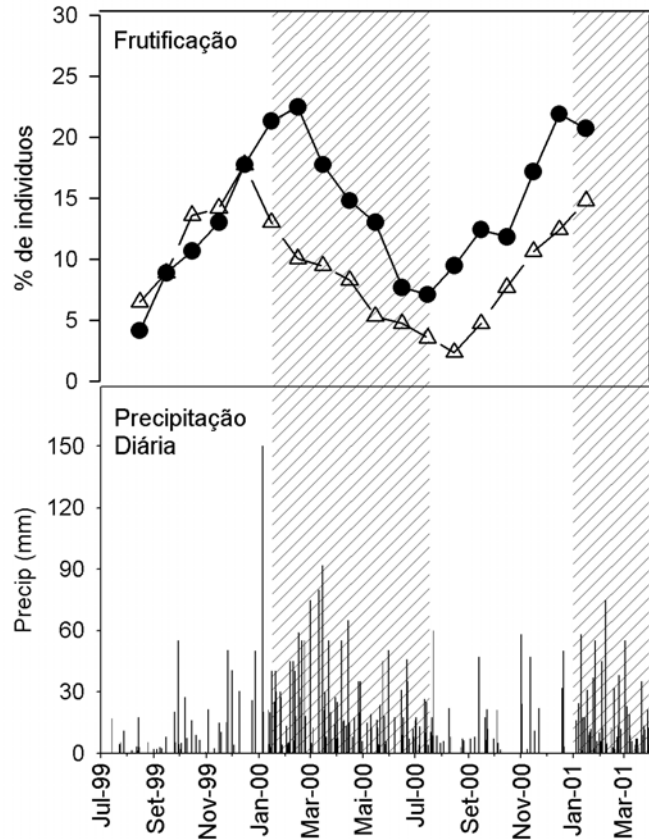
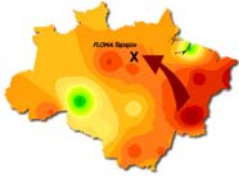


Fig. 21. Taxas de frutificação das parcelas experimentais.

**Redução do Crescimento Arbóreo** – *As árvores na parcela submetida à exclusão de chuva estão crescendo mais lentamente. A seca pode reduzir o papel da floresta na absorção de carbono da atmosfera e reduzir a produção de madeira em sistemas de manejo florestal.*



O crescimento do caule de árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 10 cm, esta sendo medido com o uso de cintas de metal

chamadas de dendrômetro (Fig. 22). Estas cintas são feitas de alumínio e podem se expandir ou contrair através de um sistema de molas em função das flutuações do diâmetro do caule das árvores. Desta forma é possível obter medidas do crescimento dos troncos em intervalos mensais.



Fig. 22. Dendrômetros.

As árvores com altura entre 5 e 10 m e entre 10 e 15 metros, estão crescendo mais

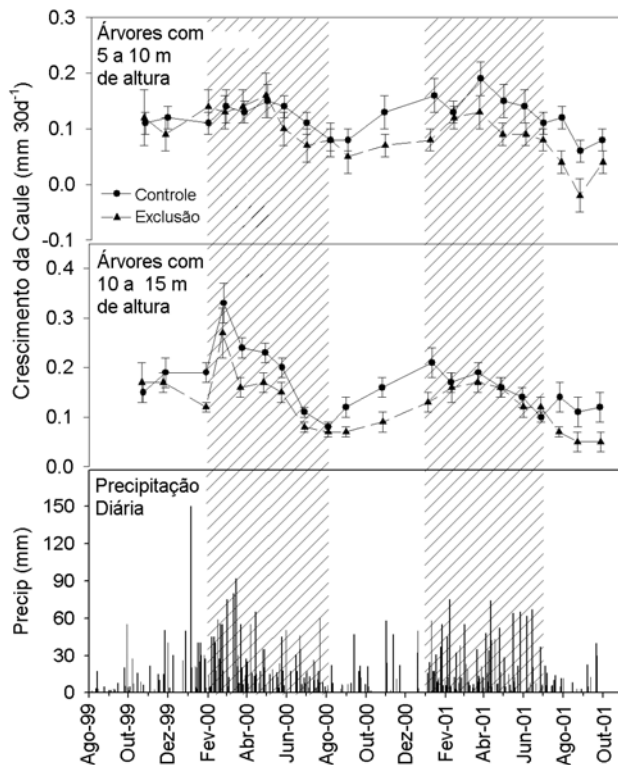
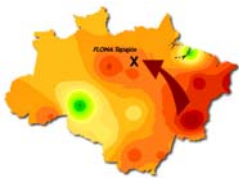


Fig. 23. Crescimento em diâmetro de árvores do experimento de exclusão de chuva.

lentamente na parcela sob exclusão de chuva (Fig. 22). Ambas as classes de tamanho de árvores demonstraram um retardamento do crescimento entre o período de exclusão e o aparecimento destas respostas. Isto talvez tenha acontecido devido ao fato que durante a estação seca, quando existe menos cobertura por nuvens, as taxas de crescimento são geralmente maiores.

O incremento do caule de árvores pequenas (< 15 m em altura) parece ser sensível ao início das condições de seca nesta floresta. Nós suspeitamos que estas árvores também tenham sistemas radiculares superficiais e, desse modo, deve faltar acesso às reservas de água de solos profundos. Para testar esta hipótese, nós continuaremos a monitorar as árvores grandes na parcela tratamento para verificar como elas deverão responder ao esgotamento da água estocada em camadas profundas do solo.

**Declínio na Produtividade e Aquecimento Global** – *O acúmulo de madeira nos troncos das árvores estabelecidas na parcela sob exclusão de chuva, declinou em aproximadamente 1 tonelada por ano (peso seco) e observou-se a diminuição da quantidade de serrapilheira. Caso o declínio em produtividade ocorra ao longo da Bacia Amazônica, isto poderia neutralizar grande parte da redução da emissão de gases do efeito estufa que seria obtida caso o Protocolo de Kyoto fosse implementado com sucesso.*



A redução no crescimento das árvores que nós temos observado em resposta à exclusão de chuva

(Fig. 22) tem implicações importantes para o aquecimento global. Tem sido observado a redução de aproximadamente 1 tonelada por ano no crescimento em madeira em uma das parcelas da floresta; caso a seca provoque uma redução semelhante ao longo da Bacia Amazônica, a absorção de carbono da atmosfera pela floresta poderia declinar em 250 milhões de toneladas/ano.

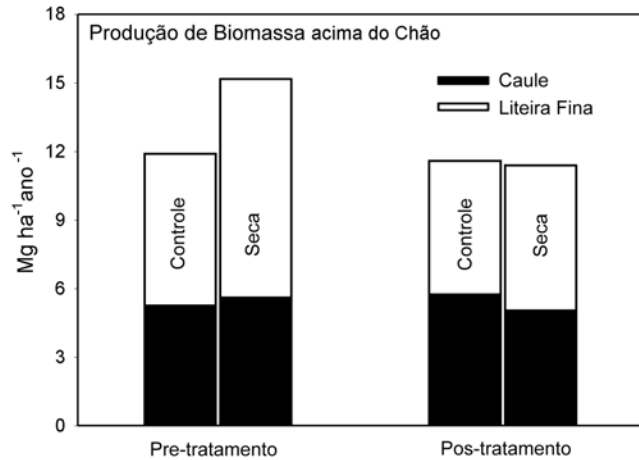


Fig. 24. Produção anual de biomassa acima do chão.

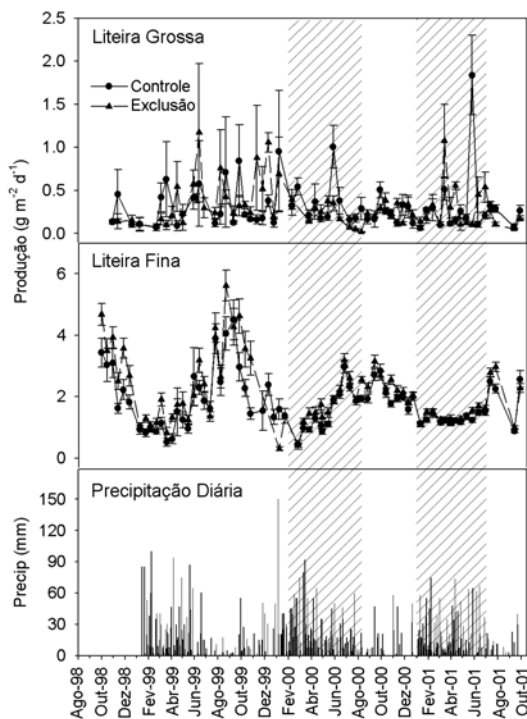


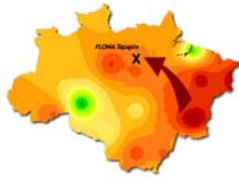
Fig. 25. Produção de serrapilheira.

A taxa de produção primária (ANPP) pode ser estimada pela soma do incremento do caule e a produção de serrapilheira. A taxa de produção primária no pre-tratamento (antes do início do experimento de exclusão) foi 28% maior na parcela tratamento, principalmente, devido as diferenças nas taxas de produção de serrapilheira (Fig. 24). No pós-tratamento, as taxas são praticamente idênticas entre as parcelas, como um resultado da redução no incremento do caule e das taxas de produção de serrapilheira fina na parcela tratamento.

A produção de serrapilheira fina (<1 cm dia) e grossa (<10 cm dia) não contribuem significativamente para o estoque de carbono na floresta, isto devido as suas altas taxas de decomposição. Contudo, se as condições de seca resultarem numa diminuição das taxas de decomposição na parcela tratamento, então o estoque de carbono no chão da floresta e no solo poderá aumentar (Fig. 25).



## Redução da capacidade fotossintética –Irão as árvores responder à exclusão de chuva através de reduções em suas taxas fotossintéticas?



A capacidade fotossintética das folhas no dossel da floresta está sendo avaliada através da construção de curvas

de fotossíntese obtidas de medições realizadas em folhas maduras e saudáveis, utilizando um analisador infravermelho de

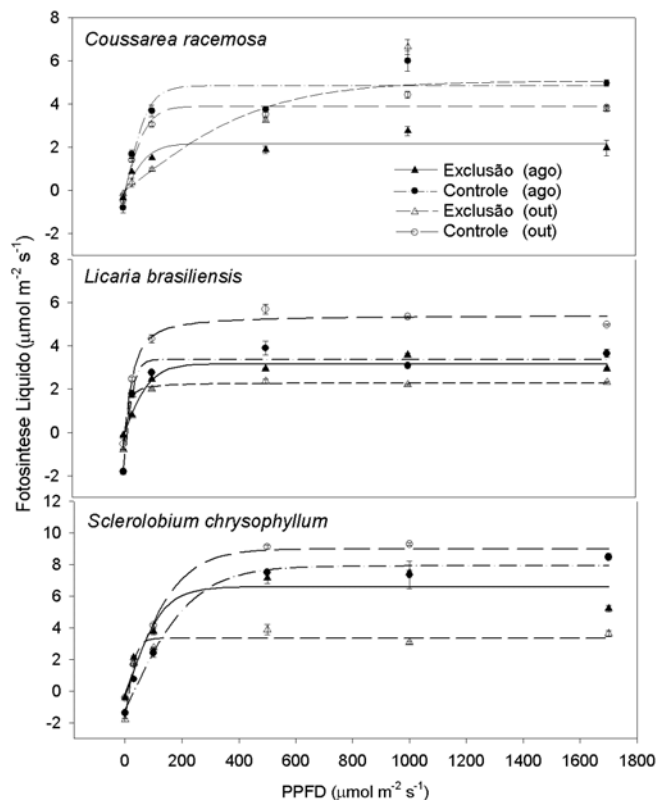


Fig. 27. Curvas de saturação de luz fotossintética. PPFD é Densidade de Fluxo de Fótons Fotossintéticos.

*Coussarea racemosa*, uma espécie do sub-bosque, também apresentaram declínio no início da estação seca, porém, esse efeito foi revertido com a progressão da estação seca. Espera-se que este efeito sobre a fotossíntese seja observado para outras espécies a medida que a exclusão promova um estresse hídrico mais intenso e persistente.

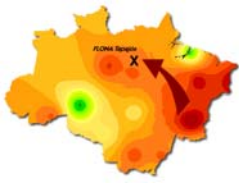


Fig. 26. Moacyr Dias-Filho e Benito Guerreiros medindo capacidade fotossintética.

gases, com uma câmara provida de controle de temperatura e fonte artificial de luz.

A taxa fotossintética de certas espécies tem se mostrado negativamente afetada pelo tratamento de exclusão de chuvas. Tanto *Licaria brasiliensis*, uma espécie não emergente, como *Sclerobium chrysophyllum*, uma espécie típica do dossel da floresta, mostraram redução nas taxas fotossintéticas durante o pico da estação seca (outubro de 2000) na parcela sob exclusão. As taxas fotossintéticas de

**Consumo de Metano pelo Solo** – A exclusão de chuva altera a emissão de importantes gases de efeito estufa proveniente do solo. Até o momento, contudo, observou-se somente uma redução na a emissão de metano.



Fluxos de gases oriundos da superfície do solo estão sendo mensurados no campo utilizando-se câmaras construídas com anéis e tampas em PVC.

Os anéis são enterrados no solo até a profundidade de 2 a 3 cm, onde permanecem durante todo o tempo do estudo. Amostras de ar são retiradas das câmaras através de seringas e levadas ao laboratório para análise por um método de cromatografia gasosa capaz de acusar a presença de determinados gases. Os fluxos de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), de óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ), e de metano ( $\text{CH}_4$ ) medidos durante o período de pré-tratamento (antes do início do experimento de exclusão) foram



Fig. 28. Câmara de PVC para coletar gases-estufa do solo.

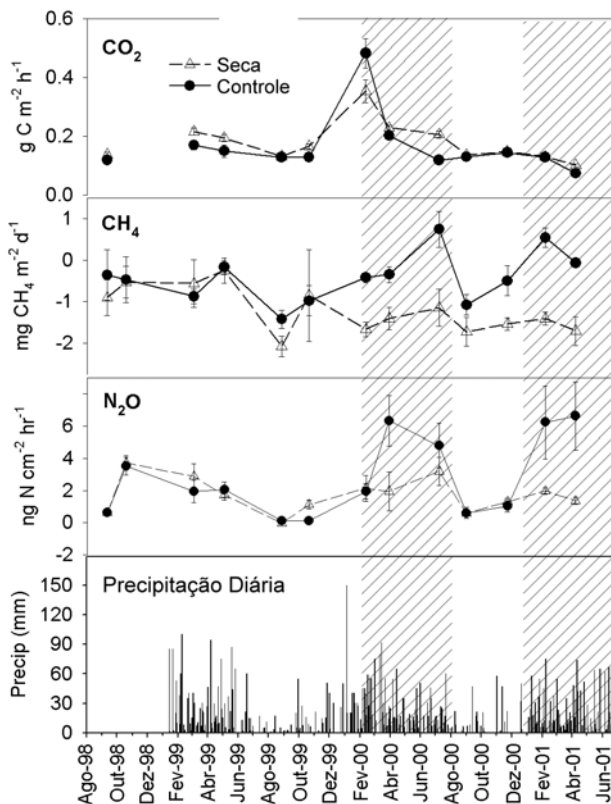
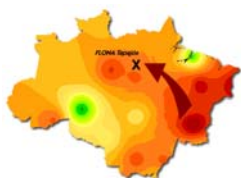


Fig. 29. Fluxos de gases no solo.

similares nas duas parcelas. O padrão das emissões seguiu aquele esperado para solos da Amazônia. Isto é, uma maior emissão de  $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$  durante a estação chuvosa e maior consumo de  $\text{CH}_4$  [fluxo negativo] durante a estação seca. Durante o período chuvoso, em resposta à exclusão de chuva, os fluxos de  $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$  diminuíram, e o consumo de  $\text{CH}_4$  aumentou na parcela de tratamento (Fig. 29).

A exclusão da chuva não-interceptada tem promovido um aumento imediato nas emissões de gases-estufa ( $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ ) e no consumo de  $\text{CH}_4$ . Esta resposta demonstra uma correlação direta entre as condições de seca inerentes ao El Niño e o progressivo aquecimento do planeta.

## O Filtro da Chuva da Floresta – De que maneira a concentração dos compostos químicos presentes na água da chuva é modificada quando esta interage com o dossel floresta?



O dossel das florestas úmidas tropicais é estruturado em multicamadas. Desta forma, a área foliar total obtida da soma da superfície de cada

folha e que interage com a atmosfera é muito grande (Fig. 30). A cada evento de chuva, a água interage primeiro com o dossel e em seguida com a camada da serrapilheira e o horizonte orgânico do solo, para chegar então ao solo mineral.

Enquanto atravessa o dossel, a chuva promove uma lavagem das folhas removendo os aerossóis ali depositados. Esta lavagem muda a química da água da chuva. Seus valores de pH, condutividade, e alcalinidade sofrem aumentos (Fig. 31). A medida que percorre o sistema florestal, os valores destes parâmetros vão se alterando. Por exemplo, a condutividade da água da chuva sofre um aumento substancial enquanto esta percola através da camada da serrapilheira e do solo mineral.

A elevada área de superfície foliar exposta para atmosfera nesta floresta captura

os aerossóis de maneira efetiva, os quais são depois lavados pela chuva e depositados no solo. Esta é uma importante fonte de nutrientes para os solos altamente intemperizados deste ecossistema. Uma vez que as condições de seca produzidas pelo experimento de exclusão de chuva deve diminuir a área foliar é possível que ocorra uma diminuição de da entrada de nutrientes na floresta o que poderá ocasionar uma produção menor de biomassa.



Fig. 30. Vista do dossel florestal de camadas múltiplas.

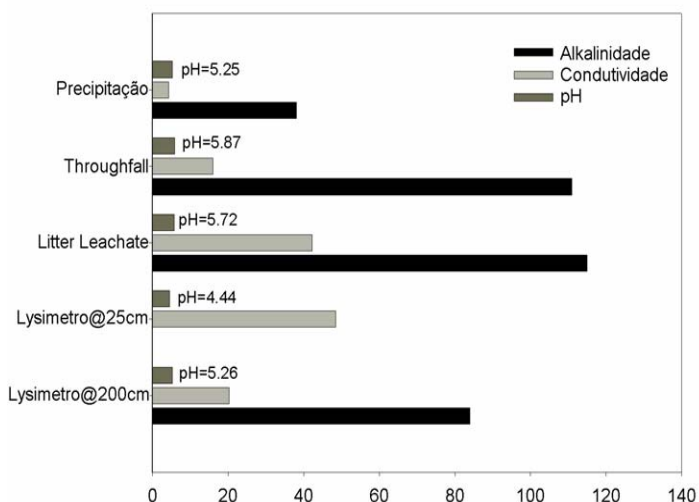
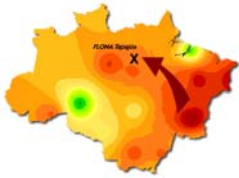


Figura 31. Mudanças químicas na água ao atravessar a floresta. ( $\mu\text{Eq.L}^{-1}$  para alcalinidade;  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  para condutividade)



**Floresta no ponto de queima** - *O prolongado estresse provocado pela seca sazonal deverá resultar no aumento da susceptibilidade das florestas da Amazônia oriental ao fogo? Uma vez que estas florestas já estão sob um regime sazonal de falta de água e estão sujeitas à exploração, especialmente pela indústria madeireira, espera-se que sua vulnerabilidade ao fogo deva aumentar.*



O interior da floresta é, geralmente, fresco e úmido, mesmo durante a estação de seca. Isto acontece devido a densa copa que não permite a penetração direta da luz solar. Com o aumento da queda de folhas devido a seca e uma conseqüente diminuição desta densidade de copa, a floresta torna-se quente e seca. Pequenas varetas de madeira (Figura 32), que armazenam a água do ar na mesma proporção que pequenos galhos encontrados no chão da floresta, é possível obter um índice de inflamabilidade florestal.



Fig. 32. Palitos de umidade de combustível.



Fig. 33. Monitorando um fogo experimental

Através dos experimentos com pequenos incêndios (Figura 33) os pesquisadores são capazes de avaliar como a umidade do material combustível, e outros fatores como a umidade do ar e aberturas na copa, determinam a inflamabilidade florestal.

Usando uma análise probabilística (Figura 34) tem sido possível calcular quais as chances do fogo se propagar no chão da floresta em função da abertura da copa e a umidade relativa do ar. Estes cálculos são baseados nos resultados obtidos de 460 incêndios experimentais conduzidos em três localidades na Amazônia, entre elas a FLONA Tapajós.



A pesquisa desenvolvida através do projeto Seca-Floresta e em outros locais na Amazônia indicam que a susceptibilidade da floresta ao fogo é positivamente correlacionada com a umidade e com um aumento na abertura do dossel. Onde estas condições acontecem combinadas com fontes de ignição disponíveis (p.e. fronteiras de ocupação recentes ou antigas) os incêndios florestais são mais prováveis.

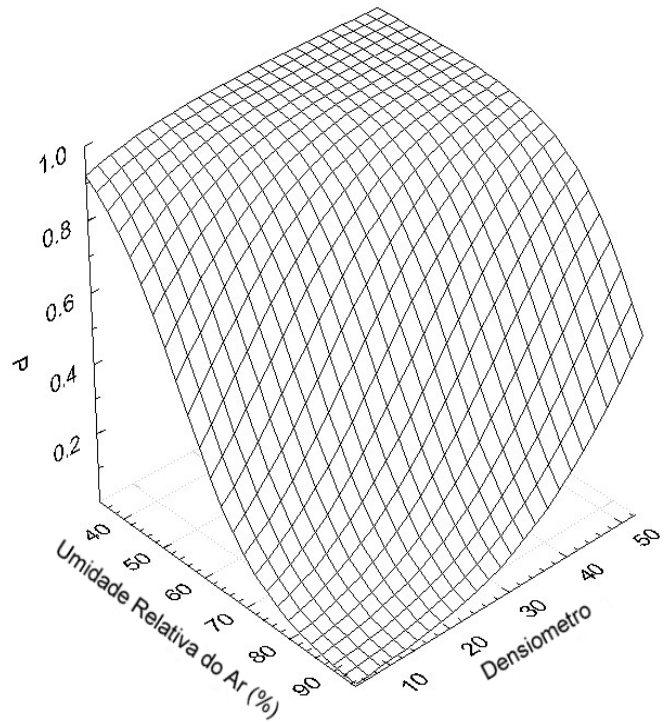


Fig. 34. Superfície de resposta do fogo.

**A seca e o desenvolvimento rural: uma combinação que aumenta a susceptibilidade da floresta ao fogo.** *Quando seca severas associadas a eventos de El Niño ocorrem os incêndios florestais podem ser devastadores, principalmente em área onde há condições propícias a ignição*

A pavimentação de rodovias pelo governo brasileiro através do programa Avança Brasil poderá dobrar a área florestada ao longo da fronteira agrícola. Estradas já pavimentadas (em branco) ou aquelas por pavimentar (em amarelo) funcionam como corredores de desmatamento com largura de até 100 km (Figura 35). Como um resultado do intenso El Niño ocorrido em 1997/98, estima-se que cerca de 1 milhão de km<sup>2</sup> de florestas encontravam-se sob risco elevado de incêndio devido ao redução da quantidade de água no solo armazenada até 10 m de profundidade. Para outros 0.5 milhões de km<sup>2</sup> este risco foi um pouco menor, mais ainda significativo (Figura 36).

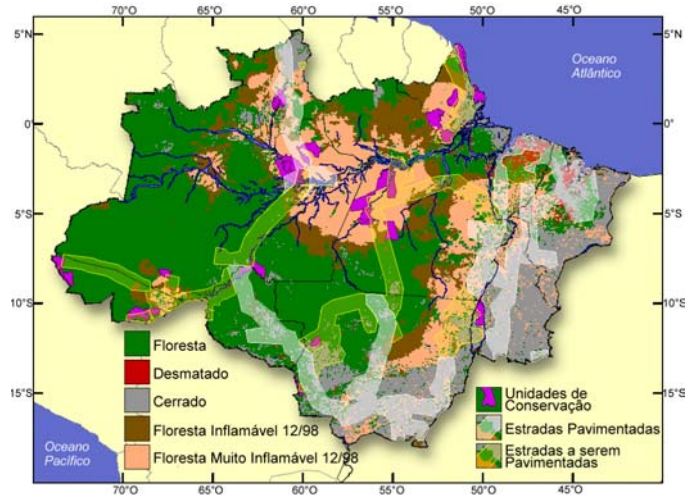


Fig. 35. Florestas inflamáveis, desmatamento, e estradas na Amazônia

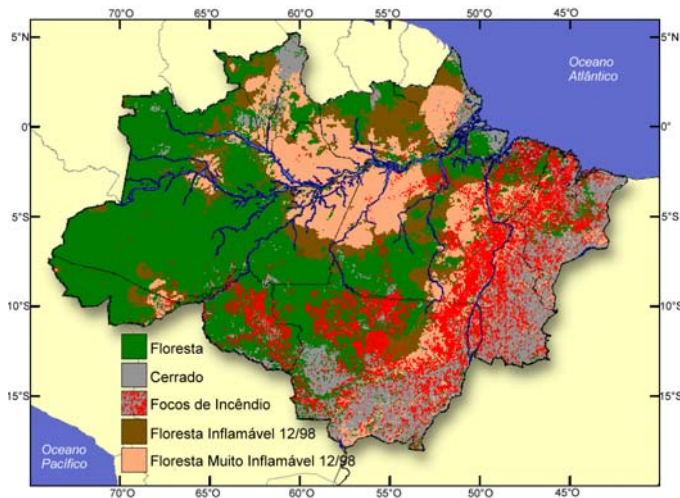


Fig. 36. Mapa de florestas inflamáveis, e focos de incêndio em 1998.

Na Amazônia, as florestas que se tornam inflamáveis durante períodos de seca têm sido submetidas a uma proteção passiva, uma vez que estão localizadas em áreas distantes das fontes de ignição. Com a pavimentação das estradas e o avanço da ocupação agrícola, estas condições mudam. Políticas de desenvolvimento que minimizem os riscos associados aos incêndios florestais são, portanto, necessárias para que se possa garantir investimentos em infraestrutura com riscos ambientais reduzidos.