



CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DABS – Diretoria de Ciências Agrárias, Biológicas e da Saúde
COGEC – Coordenação do Programa de Pesquisa em Gestão de Ecossistemas

Chamada MCTI/CNPq/FNDCT – Ação Transversal - nº 68/2013 – Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA

LINHA DE AÇÃO

Variabilidade Climática e Hidrológica

TÍTULO

The Clouds, Aerosols, Water vapour Network in the Amazon

COORDENADOR DA PROPOSTA

Henrique de Melo Jorge Barbosa, CPF 262.481.958-46, hbarbosa@if.usp.br

INSTITUIÇÃO EXECUTORA

Laboratório de Física Atmosférica, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, Rua do Matão, Travessa R, 187, CEP 05508-900, São Paulo, S.P.

INSTITUIÇÕES COLABORADORAS E PARCEIRAS

Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP

Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA

Universidade Federal do Acre - UFAC

Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT

Universidad Nacional Autónoma de México - UNAM

Embrapa Amazônia Ocidental

RESUMO

Neste projeto pretendemos estudar algumas propriedades macro físicas das nuvens na região amazônica, estimando o efeito das nuvens no clima e os possíveis efeitos dos aerossóis nas nuvens e na convecção. Queremos entender como é o ciclo diurno da distribuição vertical da cobertura de nuvens; como a convecção profunda está ligada a taxa de convergência de vapor; e qual é a relação entre espessura física, conteúdo de vapor e taxa de precipitação. As respostas, a princípio, serão diferentes em diferentes épocas do ano, em diferentes regimes de circulação e em diferentes regiões na Amazônia, mas também sob diferentes regimes concentrações de aerossóis.

Propomos, então, formar uma rede de observações de nuvens e aerossóis. Iremos instrumentar três sítios experimentais na Amazônia e operá-los por no mínimo 3 anos, sendo assim o primeiro experimento de nuvens e aerossóis do LBA que irá operar de maneira contínua por um longo período, para avaliar a variabilidade interanual, e em três locais diferentes, para avaliar a variabilidade espacial dos efeitos das nuvens no clima. Os sítios serão montados onde o Laboratório de Física da Atmosfera, do IF-USP, já mantém em operação fotômetros da rede Aeronet há vários anos. As cidades escolhidas foram Manaus, Rio Branco e Cuiabá. Estes sítios contarão com (1) ceilômetro, para medida da distribuição vertical de nuvens e aerossóis (2) fotômetro integrado a rede Aeronet operando em “cloud mode”, para medida da profundidade óptica de nuvens e aerossóis (3) estação GNSS para determinar a coluna integrada de vapor de água e (4) estação meteorológica para determinar a taxa de precipitação, além de vento, umidade e temperatura.

Espera-se, como resultado deste trabalho, seja gerado o primeiro conjunto de dados de longo prazo de propriedades de nuvens em três regiões diferentes incluindo Amazônia e Cerrado. As aplicações destes resultados estão relacionadas principalmente com as ciências atmosféricas. Neste caso, o resultado mais óbvio é a aplicação imediata na melhoria dos modelos numéricos, e no conhecimento melhor do ciclo hidrológico e distribuição vertical das nuvens e possíveis efeitos dos indiretos ou semi-direto dos aerossóis. Além disso, se avançará no conhecimento do papel das nuvens no clima que, conforme os relatórios do IPCC (tanto o AR4 quanto AR5) ainda é a maior fonte de incerteza com relação a cenários futuros do clima. A comparação das características das nuvens medidas nas regiões perturbadas e não perturbadas trará informações úteis na compreensão dos efeitos humanos (seja desmatamento ou queimadas) nas propriedades das nuvens e, portanto, no clima.

1. IDENTIFICAÇÃO DA PROPOSTA

A proposta sendo submetida se insere na chamada MCTI/CNPq/FNDCT - Ação Transversal No 68/2013, Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia - LBA. Ela é coordenada pelo Prof. Henrique de Melo Jorge Barbosa (IF-USP) e tem como participantes uma equipe de pesquisadores e estudantes de várias instituições das regiões sudeste e norte, inclusive com pesquisadores estrangeiros. Todos estes pesquisadores estão envolvidos a vários anos com as pesquisas realizadas no LBA, particularmente em Manaus-AM.

A linha de ação em que nosso projeto se insere é a “Variabilidade Climática e hidrológica”.

2. JUSTIFICATIVA E CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICAS

As nuvens são umas das características mais marcantes da atmosfera terrestre (figura 1). Elas ocorrem desde a superfície, na forma de *fog*, até a mesosfera, na forma de nuvens noctilucuentes e formam-se através do resfriamento do vapor de água, seja pelo levantamento de uma parcela de ar ou por esfriamento radiativo. Uma vez que este resfriamento pode ocorrer em qualquer altitude e em uma miríade de circunstâncias meteorológicas, a forma que as nuvens tomam é muito variada, indo desde *cumulus* massivos que dominam o céu, até nuvens cirrus tão finas que mal podem ser vistas com o olho nu. Podem formar-se tanto em temperaturas maiores que 0°C, as assim chamadas nuvens quentes, ou abaixo de 0°C, chamadas mistas ou frias. Podem existir por longos períodos de tempo como gotas super-resfriadas ou gelo ou dissipar-se em poucos minutos (Heintzenberg e Charlson, 2009).



Figura 1 – Foguetes V-2 alemães capturados no final da segunda guerra foram levados para os Estados Unidos e testados no Novo México. Esta imagem histórica de 24 de outubro de 1946 é a primeira fotografia tirada do espaço (altitude 65 milhas) e a característica mais notável são as nuvens.

A figura abaixo mostra o balanço radiativo médio do planeta. Nota-se que com relação à radiação de onda curta, as nuvens refletem cerca de 23% da radiação solar incidente, o que lhes confere um papel de resfriamento do planeta. Por outro lado, na faixa espectral de onda longa as nuvens têm efeito de aquecimento da atmosfera através da absorção e subsequente reemissão de radiação infravermelha. Barbosa and Chagas (2008) usaram dados de satélite e estimaram que o efeito radiativo das nuvens que é de -52 W m^{-2} para onda curta e $+27 \text{ W m}^{-2}$ para onda longa, resultando em um resfriamento. Alterações das propriedades médias das nuvens podem, portanto, ter um

vínculos dinâmicos são fracos (e.g. Coriolis) e perturbações devido ao aquecimento diabático são rapidamente redistribuídas em largas distâncias [Bretherton and Smolarkiewicz, 1989]. A concentração do vapor de água nos trópicos é altamente variável temporal e espacialmente. A sua distribuição vertical acima da camada limite depende de processos advectivos lentos e também da própria convecção profunda, que serve como a fonte de umidade para a troposfera livre. Ao mesmo tempo, a convecção profunda é sensível a distribuição de umidade na troposfera livre, se desenvolvendo mais vigorosamente em ambientes úmidos, o que significa um feedback positivo [Tompkins, 2001b; Grabowski WW, 2004; Holloway and Neelin, 2009].

O vapor de água também tem um papel importante na energia disponível para a convecção (convective available potential energy, CAPE). O CAPE depende essencialmente da umidade presente na camada limite, mas também do nível de origem da parcela, do caminho termodinâmico, da presença ou não de uma fase de gelo, e do conteúdo de vapor de água na troposfera livre, através de efeitos na temperatura virtual (Williams and Rennó, 1993; Adams and Souza, 2009). Até a organização de nuvens cumulonimbus em linhas e clusters está associada a distribuição espacial de umidade. Modelos numéricos capazes de resolver nuvens (CRM) indicam que quando a forçante dinâmica é fraca, a subsidência e a formação de piscinas frias atuam de maneira proeminente na transição entre a convecção rasa e profunda e na organização de meso escala (Tompkins, 2001a; Khairoutdinov and Randall, 2006). A intensidade da subsidência e da piscina fria, por sua vez, depende do perfil vertical de umidade (Tompkins, 2001b,a), que também é crítico na modulação da transição entre a convecção rasa e profunda (Derbyshire et al., 2004), outro mecanismo de retroalimentação.

Ao mesmo tempo, estudos observacionais recentes abriram uma nova fronteira de pesquisa ao relacionar a dinâmica da convecção com as concentrações dos aerossóis (Williams et al., 2002; Andreae et al., 2004; Khain et al., 2005; Rosenfeld, 2006; Rosenfeld et al., 2008). Há grandes implicações climáticas ao se considerar esta relação, indo desde a modulação da precipitação até a modificação do padrão de circulação de grande escala e do transporte de energia associados com regimes de convecção.

2.2. Transporte de umidade na América do Sul

Os trabalhos discutidos acima sugerem um impacto grande das mudanças de uso do solo na Amazônia, ou melhor, das emissões de aerossóis pelo uso indiscriminado de queimadas no manejo agrícola nesta região, na convecção local e potencialmente para a precipitação nos subtrópicos da América do Sul. Isto porque é a interação entre o fluxo de umidade tropical e a incursão de distúrbios sinóticos originados em latitudes médias que determina o tempo e o clima dos subtrópicos sulamericanos, que são bastante úmidos em comparação ao restante do cinturão subtropical, geralmente secos por estarem no ramo descendente da célula de Hadley.

Garreaud e Wallace (1998) mostrou que este fluxo de umidade se intensifica antes da incursão de ar frio, em resposta ao aprofundamento da baixa do noroeste da Argentina (NAL), umedecendo as planícies subtropicais. Salio et al. (2002) estudaram os eventos do jato do Chaco durante o verão e encontraram que o fluxo de umidade para os subtrópicos era dez vezes maior que a média climatológica, promovendo intensa precipitação, responsável por uma fração importante do total sazonal. Siqueira e Machado (2004) estudaram sistemas convectivos associados a incursões frontais e encontraram um aumento do transporte de umidade da Amazônia na maioria dos casos. Salio et

al. (2007) mostraram que complexos convectivos de meso escala (CCM) subtropicais são 3.5 vezes mais comuns em dias quando o jato do Chaco esta presente do que em outros dias. Também foi observado que a atmosfera sobre a floresta Amazônica é mais umidade do que o oceano Atlântico adjacente durante o verão (Nobre et al., 1991) e também em outras estações do ano, exceto pelo inverno austral (Arraut et al. 2012), como mostra a figura abaixo.

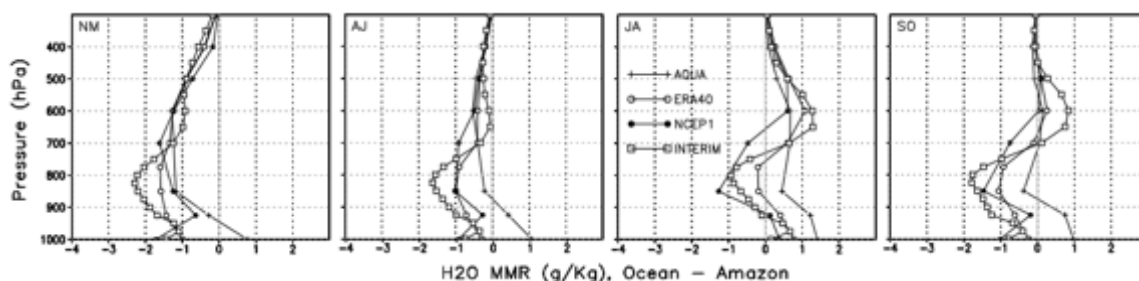


Figura 3 – Diferenças entre as médias sazonais dos perfis verticais de vapor sobre o Atlântico (50W-30W EQ-10N) e a Amazônia (70W-50W 10S-EQ) são mostrados para Nov-Mar (NM), Abr-Jun(AJ), Jul-Ago (JA), Set-Out(SO). Dados do NCEP (•) e ERA-40 (o) foram considerados entre 80-01, enquanto do ERA-Interim (□) entre 89-08 e os dados de satélite do AIRS (+) entre 03-09.

Os pontos ora levantados iniciaram um interessante debate científico sobre o papel da Amazônia como fonte de umidade para a atmosfera e para a precipitação mais ao sul. Métodos numéricos já foram utilizados para investigar a relação entre o transporte de umidade e a precipitação continental. Por exemplo, Gimeno et al. (2010), a partir de dados de reanálise ERA-40 e do modelo lagrangeano Flexpart, mostraram que durante o inverno, a região que os autores chamaram de Amazônia contribui com 0.5 a 1 mm/dia de precipitação durante o inverno nos subtrópicos da América do Sul. Barbosa e Nobre (2008, 2010) utilizaram o modelo global atmosférico CPTC-COLA para acompanhar a dispersão da evapotranspiração da floresta Amazônica. Os autores encontraram que até 30% da precipitação de verão nos subtrópicos da América do Sul dependem diretamente da evapotranspiração da floresta amazônica.

Estes estudos não fecharam o problema. Particularmente, ainda não podemos avaliar com precisão como as emissões de aerossóis pelo uso indiscriminado de queimadas no manejo agrícola na Amazônia altera a formação de nuvens, a convecção local, a reciclagem do vapor de água e a precipitação nos subtrópicos da América do Sul.

2.3. A Amazônia em transformação: o laboratório ideal

A Amazônia está sob contínuas e constantes mudanças, com importantes implicações climáticas (Davidson et al., 2012). A floresta tropical é muito importante tanto para o ciclo hidrológico global (Arraut et al, 2012) quanto para o balanço de carbono global (Davidson e Artaxo, 2004). Além disso, as concentrações de aerossol variam largamente, correspondendo àquelas de condições pristinas até muito poluídas, seguindo o ciclo sazonal do desflorestamento e das queimadas (Artaxo et al, 2013). Estas altas concentrações tem um papel importante na modificação da composição química da atmosfera (Bowman et al., 2009) mas também na convecção, formação de nuvens e no regime de precipitação (Andreae et al., 2004, Koren et al., 2008). Estes aerossóis de queima de biomassa também já foram relacionados a um atraso no início da estação chuvosa na Amazônia (Bevan et al., 2009, Butt et al., 2011). Durante esta estação, quando a região é considerada pristina, há relatos de intrusão de poeira do Saara (Talbot et al., 1990) as vezes misturada com aerossol de queima de

biomassa da África (Kaufman et al, 2005), que agem como núcleos de condensação de gelo e potencialmente contribuem para o aumento da convecção local. Este transporte de longa distância foi recentemente confirmado por observações com um sistema LIDAR em um sítio próximo a Manaus (Baars et al, 2011 e 2012). Por fim, a Amazônia também sobre o impacto de poluição urbana, como é o caso das regiões próximas às grandes cidades como Belém, Santarém, Manaus e Porto Velho.

Esta enorme variação dos efeitos das atividades humanas na atmosfera da Amazônia fez da região um grande laboratório a céu aberto, onde é possível estudar tanto o sistema climático em condições pristinas, quanto em condições muito perturbadas. Exatamente por isso é que será realizado em 2014-15 na região vento abaixo de Manaus o experimento GoAmazon, que buscará compreender como a pluma de poluição da cidade interage com as partículas biogênicas, alterando a composição do aerossol natural. Durante o mesmo período, o projeto CHUVA, que tem uma forte componente observacional para entender a microfísica de nuvens, sua relação com a precipitação e como esta precipitação é vista por instrumentos a bordo de satélites, realizará sua última campanha de campo em Manaus. Os dados produzidos por estes experimentos permitirão o estudo de nuvens, aerossóis e suas interações com o clima. Deverá ser possível, por exemplo, estudar os efeitos indiretos dos aerossóis, i.e. os efeitos radiativos devido a modificações que estes podem causar nas nuvens. Estes efeitos dependem de propriedades das nuvens, como fração de cobertura, altitude, espessura, distribuição de tamanho das gotículas e dos cristais de gelo, tipo de cristal, mas também da distribuição de aerossóis, suas propriedades físicas e químicas, etc. Para tanto, estes experimentos irão contar com diversos tipos de radares de precipitação e de nuvens, instrumentos em solo medindo radiação, fluxos turbulento e aerossóis, dentro outros.

2.4. Medidas de nuvens e radiação em escalas relevantes para o clima

Estes projetos discutidos acima, entretanto, são baseados em campanhas de campo intensivas, assim como foram outros importantes projetos na Amazônia que exploraram alguns dos aspectos da convecção profunda, sistemas de mesoescala e a microfísica de nuvens (e.g., WETAMC e TRMM/LBA [Silva-Dias et al., 2002]) ou aerossóis, radiação e composição química da atmosfera (e.g. SCAR-B [Kaufman et al, 1998], LBA-SMOCC [Andreae et al, 2004b] e AMAZE-8 [Martin et al, 2010]). Ainda que tenham contribuído significativamente para o avanço do conhecimento, **estas campanhas de curta duração não permitiram uma perspectiva climatológica.** Para cobrir esta lacuna, um sítio experimental foi montado próximo a Manaus. O principal propósito é, pela primeira vez na Amazônia, prover uma longa série de medidas experimentais de nuvens, aerossóis e radiação com alta resolução temporal, buscando avançar na compreensão das complexas interações e mecanismos de feedback entre convecção e umidade que ocorrem em escalas meso ou menores, e como estes mecanismos são influenciados pelos aerossóis. Para isso, o experimento ACONVEX (Aerosols, Clouds, Convection Experiment) começou em 2011 e continuará operando pelos próximos 10 anos uma série de instrumentos para observação de nuvens e aerossóis em um sítio experimental dentro do campus da Embrapa Amazônia Ocidental, em 2.89°S 59.97°W. A Figura abaixo mostra uma visão geral da área.



Figura 4 - O ponto azul marca a localização do sítio ACONVEX. O ponto vermelho mostra a localização do aeroporto militar, onde são feitas sondagens meteorológicas operacionalmente. A direita pode-se ver a torre com a o fotômetro em cima.

Este sítio experimental conta com um subconjunto dos instrumentos que serão utilizados nas campanhas intensivas discutidas acima, escolhidos buscando um equilíbrio entre a facilidade de operação por um longo período e a obtenção de parâmetros físicos importantes para a caracterização das nuvens numa escala relevante para o clima. A tabela a seguir mostra os instrumentos permanente instalados, bem como aqueles que serão operado em 2014 para as campanhas intensivas do projeto CHUVA, além das propriedades medidas, instituição responsável e início de operação.

Tabela 1 – Abaixo apresentamos os instrumentos instalados e em funcionamento (sem cor), instrumentos temporários (vermelho) e aqueles que ainda serão instalados na Embrapa (verde).

Instrumento – Fabricante Propriedade medida	Responsável	Início
16. Skyimager – YESinc Fração de cobertura de nuvens	IFUSP	2014-01
15. Multiangle Absorption Photometer (MAAP) – Thermo Coeficiente de absorção dos aerossóis	IFUSP	2014-01
14. Eddy covariance system - Campbell Fluxo de calor sensível e latente	INPE	2013-11 até 2014-12
13. Radiômetro de micro ondas – Radiometrics Perfil vertical de temperatura, umidade e água líquida	INPE	2013-11 até 2014-12
12. Nephelometer – Aurora Coeficiente de espalhamento de aerossóis	IFUSP	2013-06
11. Met. Station – Gill T, V, U, Precip	UEA-AM	2013-03
10. Micro rain radar – Metek Distribuição de tamanho de gotas de chuva (perfil vertical)	MPI-M	2012-05
9. Ceilômetro – Jenoptics Altura de topo e base de até 3 camadas de nuvem	MPI-M	2012-05 até 2013-05
8. Met. Station – Thies T, V, U, Radiação	IFUSP	2012-04
7. Disdrômetro – Thies Distribuição de tamanho de gotas e precipitação	IFUSP	2012-04
6. Micro rain radar – Metek	INPE	2011-08

Distribuição de tamanho de gotas de chuva (perfil vertical)		até 2011-09
5. Met. Station – Davis T, V, q, Precip	UEA-AM	2011-07
4. GNSS Receiver – Trimble Conteúdo de vapor de água integrado	INPE/UEA	2011-07
3. Multi filter shadow band radiometer – YESinc Radiação direta e difusa em 7 comprimentos de onda	IFUSP	2011-07
2. Sun photometer – Cimel Profundidade óptica de aerossóis em 5 comprimentos de onda	IFUSP	2011-02
1. UV Raman LIDAR – Raymetrics Perfil vertical de aerossóis e perfil vertical de vapor de água (noite)	IFUSP	2011-02

2.5. Resultados em Manaus são válidos em outras regiões da Amazônia?

As medidas de longo prazo do experimento ACONVEX complementam muito bem as medidas intensivas e com muito mais instrumentos que serão realizadas pelos experimentos CHUVA e GoAmazon nos próximos anos. Em particular, estas medidas de longo prazo permitirão avaliar se os resultados das campanhas intensivas são particularidades dos anos que foram realizados os experimentos, ou se representam um comportamento médio. Entretanto, essa longa série temporal proposta pelo experimento ACONVEX ainda não nos permite responder a uma pergunta muito simples: **os resultados obtidos nesta região central da Amazônia são válidos em outras regiões da Amazônia?**

3. OBJETIVOS

O principal objetivo deste projeto é estudar algumas propriedades macro físicas das nuvens em diferentes sítios experimentais na região amazônica, estimando o efeito das nuvens no clima e os possíveis efeitos dos aerossóis nas nuvens e na convecção. Isso será feito em três locais, para avaliar a variabilidade espacial, e por um longo período, para avaliar a variabilidade interanual. Em particular, os resultados servirão de subsídio para um “*upscaling* espacial” dos resultados obtidos no ACONVEX, que por sua vez servirão de subsídio para um “*upscaling* temporal” dos resultados obtidos CHUVA em 2014.

Dentre as perguntas científica que propomos atacar estão:

- Como é o ciclo diurno da distribuição vertical da cobertura de nuvens?
- Como a convecção profunda está ligada a taxa de convergência de vapor?
- Qual é a relação entre espessura física, conteúdo de vapor e taxa de precipitação?

As respostas, a princípio, serão diferentes em diferentes épocas do ano, em diferentes regimes de circulação e em diferentes regiões na Amazônia, mas também sob diferentes regimes concentrações de aerossóis.

4. MÉTODOS

Para cumprir os objetivos acima, propomos instrumentar três sítios experimentais na Amazônia e operá-los por no mínimo 3 anos. Estes sítios contarão com (1) ceilômetro, (2) fotômetro integrado a

rede Aeronet operando em “cloud mode”, (3) estação GNSS e (4) estação meteorológica. Estes sítio serão montados onde o Laboratório de Física da Atmosfera, do IF-USP, já mantém em operação fotômetros da rede Aeronet há vários anos. A figura abaixo mostra a distribuição destas estações no painel da esquerda e uma imagem do MODIS da pluma de queimada sendo transportada em escala continental. Como as estações Rio Branco, Ji Parana e Alta Floresta são parecida do ponto de vista de concentrações e características do aerossóis (e portanto possíveis perturbações dos aerossóis nas nuvens), escolhemos Rio Branco cujo fotômetro já esta operando no modo de nuvens. **Assim, os três sítios experimentais propostos são Cuiabá, Rio Branco e Manaus.**

Nossa proposta é comprar 3 ceilômetros da Vaisala modelo CL31, uma para cada sítio. Isto será necessário pois, o ceilômetro que se encontra no sítio ACONVEX, fruto de colaboração com o Dr. Bjorn Stevens do Instituto Max Planck, está quebrado e não pode ser consertado pois o fabricante Jenoptik tirou o instrumento de linha. Propomos comprar 2 estações meteorológicas Vaisala WXT, porque o sítio de Manaus já conta com estação meteorológica. Propomos comprar uma estação GNSS com o sistema Vaisala PTU303, pois Manaus já conta com um sistema emprestado pelo projeto SIPEG do INPE, dono das estações que compõe a rede densa de GNSS de Manaus, que irá emprestar mais um sistema completo.

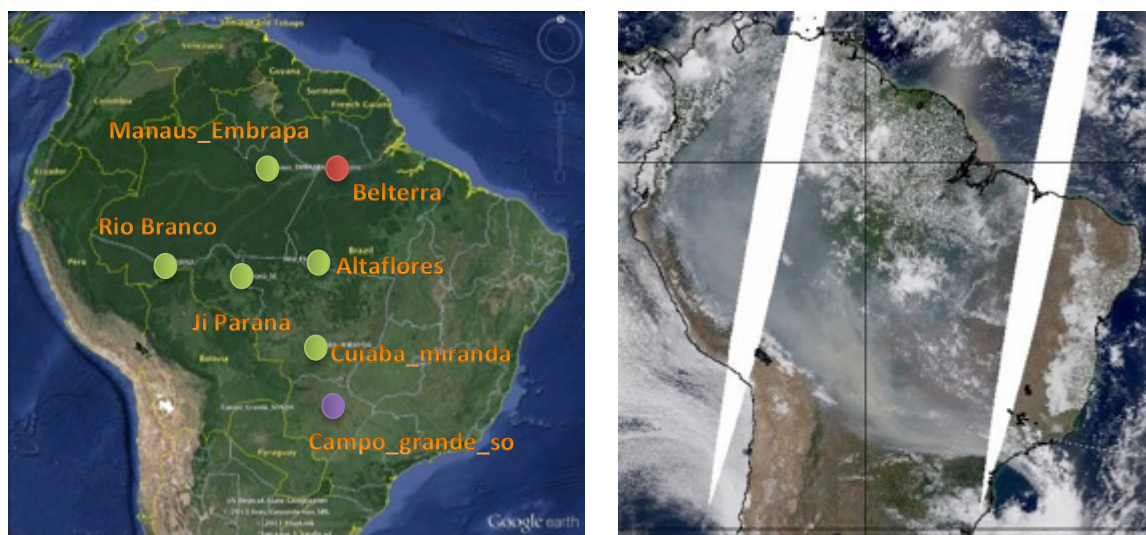


Figura 5 – Estações Aeronet sob responsabilidade do LFA-IFUSP (verde), do INPE (roxo) e desativadas (vermelho) são apresentada a esquerda. Uma imagem do MODIS com a dispersão da pluma de queimada sobre a América do Sul é mostrada a direita.

Com estes instrumentos básicos, mediremos as seguintes propriedades atmosféricas:

1. Distribuição vertical do campo de nuvens utilizando o ceilômetro;
2. Distribuição vertical de aerossóis utilizando o ceilômetro;
3. Propriedades ópticas dos aerossóis, distribuição de tamanho, vapor de água total na coluna e profundidade óptica das nuvens utilizando fotômetro solar (durante o dia e sem chuva);
4. Vapor de água total na coluna atmosférica a cada 5-min em qualquer condição de tempo utilizando um sensor GNSS;
5. Taxa de precipitação, temperatura, umidade e vento com a estação meteorológica.

Estas medidas serão integradas com informações derivadas de satélites, em particular o tipo de nuvem (produto *cloud classification* do CPTEC) e temperatura de topo de nuvem como indicadores de convecção profunda, e taxa de precipitação do TRMM/GPM. Também serão utilizados dados EUMETSAT para avaliação da situação meteorológica. Isto ficará a cargo da equipe em Rio Branco, que já tem permissão de acesso a estes dados via chave física, faltando apenas comprar o hardware de recepção.

A abordagem experimental a ser adotada nesta proposta segue os seguintes preceitos:

- Medidas de longo prazo, visando construir séries climatológicas, com estatística suficiente, para caracterização do que se pode chamar de “comportamento típico das nuvens” sob várias condições meteorológicas e de poluição;
- Uso de equipamentos robustos, confiáveis, que operem sob condições climáticas adversas, típicas da região amazônica, tais como altos índices de umidade, precipitação, radiação UV;
- Apoio local na manutenção e operação dos equipamentos, a partir de forte atuação de pessoal local em parceria que tem funcionando muito bem a vários anos.

4.1. Medidas da espessura ótica de aerossóis através da rede AERONET

AERONET é um acrônimo para Aerosol Robotic Network. Essa rede de radiômetros solares forma um sistema de base terrestre para monitoramento de aerossóis na atmosfera oferecendo um padrão de monitoramento e análises em escala regional a global. Estes radiômetros têm um campo de visão de aproximadamente 1.2° e dois detectores que medem a radiação direta do Sol e a radiação difusa da região da auréola solar e do céu (Holben et al., 1998). Na frente destes sensores há uma janela de quartzo. O instrumento possui ainda colimadores de 33 centímetros de comprimento que rejeitam a luz difusa refletida em suas paredes. O instrumento possui até oito canais de medidas utilizando filtros de interferência de 340, 380, 440, 500, 675, 870, 940 e 1020 nm. As larguras de banda desses filtros variam de 2,5 nm para os comprimentos de onda de 340 e 380 nm e 10 nm para os demais canais. A Figura mostra o fotômetro instalado na Embrapa.

Há dois tipos de medidas, aquelas na qual o fotômetro solar é apontado diretamente para o Sol e aquelas onde é apontado para o céu. As medidas apontando diretamente para o Sol são realizadas nos oito canais espectrais a cada quinze minutos, levando aproximadamente 10 segundos em cada canal. Em dois horários distintos do dia, pela manhã e durante o período da tarde, são realizadas três dessas medidas consecutivas a cada 15 minutos para cada comprimento de onda, com duração de 30 segundos. Essas medidas permitem o monitoramento da contaminação dos dados com sinal de nuvens, ajudando assim avaliar a qualidade dos dados para atmosfera livre de nuvens, uma vez que o tempo de variação da cobertura de nuvens é tipicamente maior que aquele das camadas de aerossóis. As medidas de radiação do céu são feitas utilizando os canais 440, 670, 870 e 1020 nm e são realizadas em duas sequências diferentes, a Almucantar e Plano Principal (Holben et al., 1998; Yamasoe, 1999). A sequência Almucantar é uma série de medidas tomadas no ângulo zenital solar, fazendo um círculo completo no ângulo azimutal. As sequências Almucantar são realizadas em um intervalo de tempo de 40 segundos para cada um dos quatro comprimentos de onda. Entre 9 da manhã até às 15 horas local são realizadas sequências a cada hora, e fora destes horários, as medidas correspondem aos horários com massa óptica igual a 4, 3, 2 e 1,7. A sequência plano principal é realizada com o ângulo azimutal solar e variando o ângulo zenital de 0° a 180° . Essa

medida se inicia com a observação direta do Sol, e então é iniciada a varredura, que dura cerca de 30 segundos para cada comprimento de onda. Essa sequência é feita a cada hora sempre que a massa óptica da atmosfera for menor que 2, evitando assim a variação da radiância devido às mudanças de massa óptica.



Figura 6 - Fotômetro solar da rede AERONET instalado na Embrapa. A direita aparecem as janelas de quartzo que ficam entre a cabeça óptica e os colimadores.

O fotômetro solar fornece diversas informações das propriedades ópticas dos aerossóis presentes na atmosfera (Holben et al., 1998; Yamasoe et al., 1999; Dubovik et al., 2000; Dubovik e King, 2000), e nesse projeto serão utilizadas informações de profundidade óptica dos aerossóis (AOD), do expoente de Ångström, da função de fase de espalhamento, do albedo de espalhamento simples, e a distribuição de tamanho dos aerossóis. A rede AERONET possui mais de 240 fotômetros no mundo dos quais atualmente cinco estão em operação na Amazônia: Alta Floresta (MT), Cuiabá (MT), Ji Paraná (RO), Rio Branco (AC), Manaus (AM). O IFUSP opera a rede desde 1998.

A figura abaixo mostra a espessura óptica de aerossóis medida para vários locais no Sul da Amazônia com AERONET e MODIS. Observamos a forte variabilidade das concentrações e os altíssimos valores de AOD, de até 5 em 550nm, observados frequentemente em áreas impactadas por emissões de queimadas.

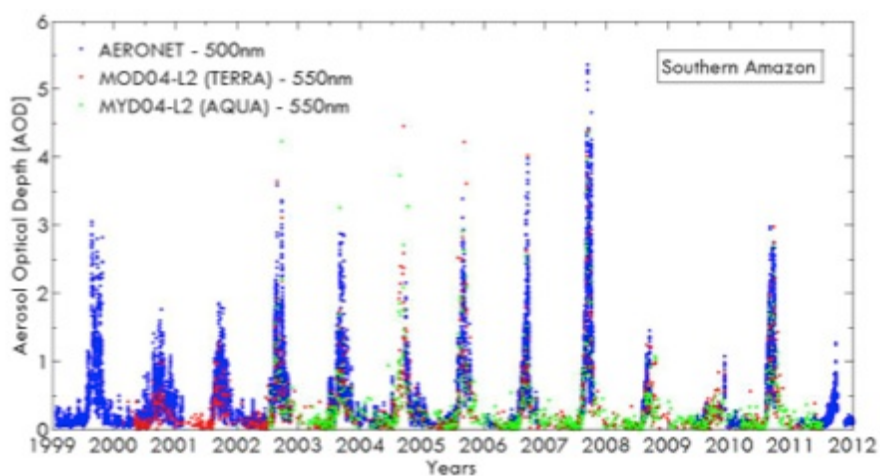


Figura 7— Profundidade óptica de aerossóis em Ji Parana e Porto Velho medido por fotômetros da rede AERONET ou estimados pelo MODIS.

4.2. Medidas de vapor de água com GNSS

O projeto Dense GNSS network [Adams et al., 2011] operou uma rede densa de receptores GNSS por mais de um ano na Amazônia, na região em torno de Manaus. A distribuição de estações é mostrada na figura abaixo. Receptores GNSS são usados a mais de uma década, sob todas as condições de tempo e com um custo relativamente barato, para medir o conteúdo total de água na atmosfera. Isso é feito usando a técnica de ocultamento de satélite [Bevis et al., 1992; Duan et al., 1996] e pode-se obter medidas com alta frequência temporal (5 a 30 minutos) e alta acurácia. A aplicação é vasta na meteorologia e atualmente dados de GNSS são assimilados em modelos numéricos [Gutman and Benjamin, 2001], são usado em estudos sinóticos [Champollion et al., 2009] e estudos sobre vapor de água [Kursinski et al., 2008].

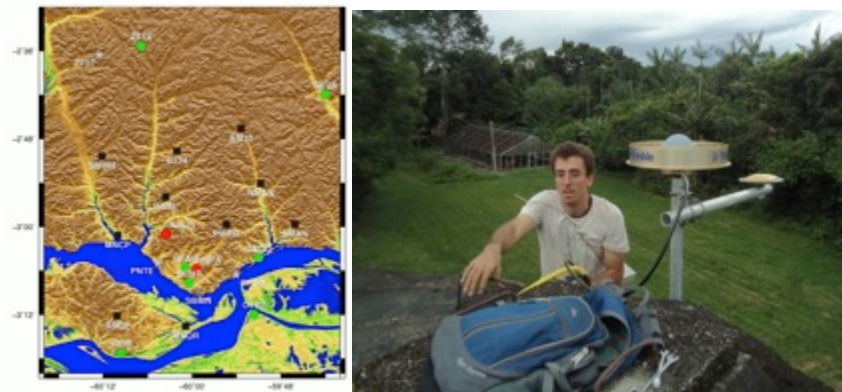


Figura 8 – Esquerda: mapa de Manaus e arredores mostrando os locais onde já há estações GNSS instaladas, com as cores indicando diferentes estágios da instalação da rede. Direita: pesquisador Henrique Barbosa instalando uma das estações GNSS no experimento ACONVEX.

De maneira simplificada, a água precipitável

$$PWC = \frac{1}{g\rho_w} \int_{P_T}^{P_S} q \frac{dP}{g}$$

é derivada a partir o atraso no sinal de rádio emitido pelo satélite e detectado pela estação de superfície. A acurácia dos valores de PWV derivados com estações GNSS é da ordem de 1 a 2 kg m⁻² [Sapucci et al, 2007]. Um dos resultados mais importantes já obtidos por este tipo de medida foi a construção de uma nova métrica, um tempo de escala da convergência de vapor sobre regiões tropicais continentais. A partir de 320 eventos convectivos observados por 3.5 anos, observaram-se dois tempos característicos de escala de tempo: um de 8 horas, de convergência fraca, e outro de 4 horas, de intensa convergência de vapor associada a conversão da convecção rasa em convecção profunda.

A figura abaixo mostra o padrão típico observado para água precipitável (PWV), temperatura de topo de nuvem (CTT) e ocorrência de precipitação. Os triângulos mostram a escala de tempo de 8 e 4 hs. Nota-se que há um padrão no qual há uma aceleração da convergência no período de 4 horas, acompanhada de um rápido resfriamento do topo de nuvem (CTT) para cerca de 225K, quando ocorre então o evento de precipitação. Estes resultados foram publicados em Adams et al. (2013), e o artigo foi *highlight* do mês da American Geophysical Union.

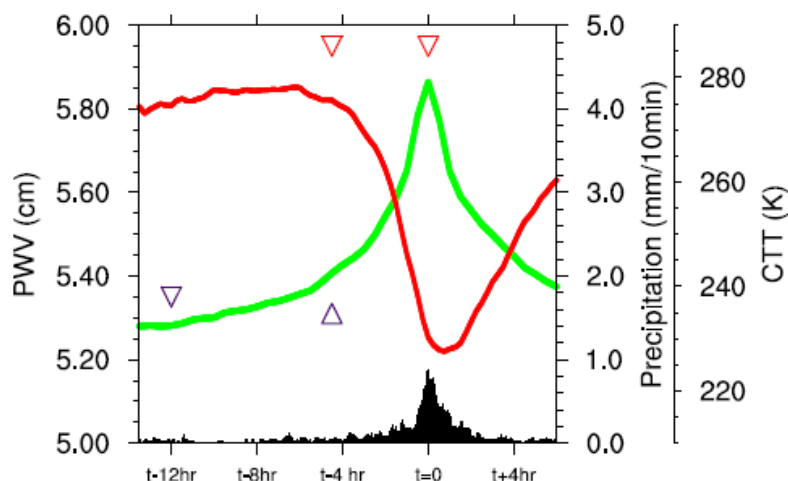


Figura 9 – padrão típico de desenvolvimento de eventos de convecção profunda observados na Amazônia Central do ponto de vista da convergência de vapor, derivados de medidas de vapor de água integrado na coluna atmosférica com sensores GPS/GNSS.

4.3. Medidas de cobertura de nuvens com ceilômetro

O instrumento opera com princípio idêntico ao Lidar, porém com maior penetrabilidade em nuvens. Isto permite derivar perfis verticais de aerossóis, altura de base de nuvem, altura da camada limite, visibilidade vertical e quantidade de nuvens. O modelo Vaisala CL31 tem alcance de 7 km, e consegue detectar múltiplas camadas de nuvens. A figura abaixo mostra alguns detalhes técnicos e uma fotografia do instrumento.

A figura seguinte um exemplo de medida obtida com este instrumento. Nota-se que mesmo camadas de nuvens finas atrás de uma camada de nuvens espessas foi detectada, o que está associado com a alta resolução espacial do instrumento ($dz = 5$ m) e razão sinal ruído mesmo a 5 km de altitude e tendo detectado três camadas de nuvens abaixo desta.

Performance	
Measurement range	0 ... 25,000 ft. (7.6 km)
Reporting cycle	programmable, 2 ... 120 s
Reporting resolution	5 m/10 ft., units selectable
Distance measurement accuracy against hard target	greater of $\pm 1\%$ or ± 5 m
Laser	InGaAs diode, 910 nm
Eye safety	Class 1M IEC/EN60825-1
Electrical	
Power (*)	100/115/230 VAC $\pm 10\%$, 50 ... 60 Hz max. 310 W including heating
Interfaces	RS232 / RS485 / Modem
data	RS232
maintenance	RS232
baud rate	300 ... 57,600
RS232 / RS485	300 ... 2400
modem V.21, V.22, V.22bis	Internal, 2 Ah
Back-up battery	
Environmental	
Temperature range	-40 ... +60 °C (-40 ... +140 °F)
Humidity	0 ... 100 % RH
Wind	55 m/s
Housing classification	IP65
Vibration	Lloyd Register / IEC60068-2-6 5 ... 13.2 Hz ± 1.0 mm 13.2 ... 100 Hz ± 0.79 mm
EMC	IEC/EN 61326
Electrical Safety	IEC/EN 60950



Figura 10 - Características técnicas do ceilômetro Vaisala CL31

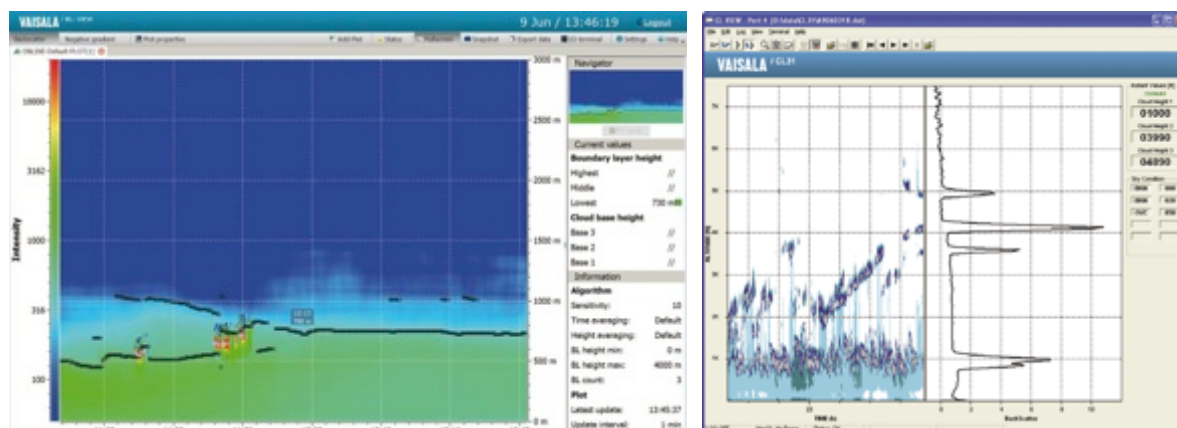


Figura 11 – Esquerda: evolução da camada limite em um dia de medidas. Direita: intensidade das nuvens e perfil vertical de retro espalhamento até 7.5 km de altitude.

5. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS OU TECNOLÓGICAS

Espera-se, como resultado deste trabalho, seja gerado o primeiro conjunto de dados de longo prazo de propriedades de nuvens em três regiões diferentes incluindo Amazônia e Cerrado. As aplicações destes resultados estão relacionadas principalmente com as ciências atmosféricas. Neste caso, o resultado mais óbvio é a aplicação imediata na melhoria dos modelos numéricos, e no conhecimento melhor do ciclo hidrológico e distribuição vertical das nuvens e possíveis efeitos dos indiretos ou semi-direto dos aerossóis. Além disso, se avançará no conhecimento do papel das nuvens no clima que, conforme os relatórios do IPCC (tanto o AR4 quanto AR5) ainda é a maior fonte de incerteza com relação a cenários futuros do clima. A comparação das características das nuvens medidas nas regiões perturbadas e não perturbadas trará informações úteis na compreensão dos efeitos humanos (seja desmatamento ou queimadas) nas propriedades das nuvens e, portanto, no clima.

6. ORÇAMENTO DETALHADO

Itens de dispêndio (Capital) – Taxa de conversão 1 Euro = 3.00 Reais

Descrição	Justificativa	Subtotal
Ceilômetro Vaisala CL31, cabeamento e software de aquisição	Os três sítios experimentais que serão equipados precisarão de um ceilômetro Vaisala CL31 para medidas das propriedades microfísica das nuvens e determinação do perfil de aerossóis. O valor de cada instrumento para importação direta via CNPq – Importa Fácil é de € 38.502,71, segundo cotação fornecida pela empresa Hobeco, representante exclusiva da Vaisala no Brasil.	R\$346.524,39
Estação meteorológica Vaisala WXT com data logger, cabeamento necessário e software de aquisição	Dos três sítios experimentais, dois ainda não possuem uma estação meteorológica para determinação de T, P, umidade, vento e precipitação. O valor de cada instrumento para importação direta via CNPq – Importa Fácil é de €9.877,99	R\$ 59.267,94

Estação GNSS Trimble NetR8 com antena, cabeamento acoplado a sensor vaisala PTU300	Dos três sítios experimentais, apenas um irá precisar da estação GNSS Trimble NetR8 pra obtenção do conteúdo integrado de vapor de água. O valor de cada instrumento para importação direta via CNPq – Importa Fácil é de €17110.29	R\$51.330,87
Estação de recepção dos dados EUMETSAT com antena, placa de aquisição de dados e armazenamento	Para a recepção dos dados EUMETSAT será necessário comprar o hardware de recepção dos dados. Este será instalado em Rio Branco, onde o grupo de pesquisa já tem permissão de acesso a estes dados via chave física e irá operar o sistema.	R\$2.500,00
Total		R\$459.623,20

Item de dispêndio (Custeio)

Descrição	Justificativa	Subtotal
Serviços de terceiros eventuais	Serviços de operação local das estações, com visitas semanais aos sites de medidas. Locação de veículos para deslocamento durante as campanhas de medidas nos vários sites. Este valor será repartido com outros projeto já aprovados, por isso o valor apresentado aqui é menor do que seria necessário.	20.000,00
Despesas com importação	Despesas de importação no valor de 18% de acordo com os valores discriminados na tabela acima.	82.282,18
Total		R\$102.282,18

Item de dispêndio (Passagens e Diárias)

Descrição	Justificativa	Subtotal
Diárias para manutenção da rede de medidas nos 3 locais de medidas na Amazônia	A operação contínua dos quatro instrumentos que serão operados em cada sítio requer visitas frequentes a cada site para limpeza, checagem e manutenção. Programamos 1 visita a cada tres meses para cada um dos 3 sites site por 3 anos. Número de visitas: 36 visitas aos sites. Número de diárias de cada visita: 3 dias. Total de diárias: 108 diárias. Valor de cada diária: R\$300,00.	R\$32.400,00
Diárias para a reunião da equipe científica	O funcionamento de um rede de medidas, que se baseia em uma rede de instituições e pesquisadores só pode funcionar se a equipe científica se reunir para analisar dados, discutir os resultados e preparar trabalhos científicos. Programamos 1 reunião anual por dois anos com 8 cientistas. Número de diárias de cada visita: 5 dias. Total de diárias: 80 diárias. Valor de cada diária: R\$300,00.	R\$24.000,00

Passagens aéreas nacionais para manutenção dos 3 locais de medidas do projeto.	Aquisição de passagens para visitas a cada três meses a cada um dos 3 sites de medidas, por 3 anos. As viagens serão agrupadas para reduzir o custo. Número total de passagens: 18 passagens aéreas. Valor médio de cada passagem: R\$1800,00.	32.400,00
Passagem aéreas nacionais para reunião da equipe científica	O funcionamento de um rede de medidas, que se baseia em uma rede de instituições e pesquisadores só pode funcionar se a equipe científica se reunir para analisar dados, discutir os resultados e preparar trabalhos científicos. Programamos 1 reunião anual por dois anos com 8 cientistas. Número total de passagens: 16 passagens aéreas. Valor médio de cada passagem: R\$1800,00.	R\$28.800,00
Total		R\$ 117.600,00

Item de dispêndio (Custeio)

Descrição	Justificativa	Subtotal
Bolsa DTI-A	Bolsista para trabalhar com o Dr. Luiz Machado para estudar da variação do vapor d'água em vista de nowcasting e balanço de energia. Estamos pedindo 2 anos de bolsa.	Calculado pelo CNPq
Bolsa DTI-B	Bolsista para trabalhar com o Dr. Marcelo Banik e com o Dr. Henrique Barbosa (coordenador) no processamento dos dados de vapor de água das 3 estações GNSS. Estamos pedindo 2 anos de bolsa.	Calculado pelo CNPq
Bolsa ATP-A	Bolsista para trabalhar com o prof. Alejandro Duarte, na UFAC, com os dados dos instrumentos instalados em Rio Branco e com os dados do EUMETSAT. Estamos pedindo 3 anos de bolsa.	Calculado pelo CNPq
Total		

Quadro resumo do orçamento	Subtotal (R\$)
Despesas de capital	
Material permanente importado	457.123,00
Material permanente nacional	2.500,00
Sub-total capital	459.623,20
Despesas de custeio	
Serviços de terceiros nacionais	20.000,00
Despesas de importação	82.282,18
Sub-total custeio	102.282,18
Diárias nacionais	56.400,00
Passagens nacionais	61.200,00
Total geral	R\$679.505,38

7. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

Dividimos o projeto em uma sequência de atividades como discriminado na tabela a seguir, onde os números são os trimestres.

Atividades	Trimestres Ano 1, Ano 2 e Ano 3											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Importação do material permanente importado												
Instalação dos 3 sítios experimentais												
Operação contínua												
Viagens para manutenção da rede												
Reuniões da equipe para discussão dos resultados												
Preparação de trabalhos científicos												
Elaboração de relatório e prestação de contas.												

O desembolso dos recursos financeiros e a implementação das bolsas solicitadas seguirão o cronograma abaixo.

Alínea	1.º Ano	2.º Ano	3.º Ano	Total (R\$)
Capital: material permanente importado	457.123			457.123
Capital: material permanente nacional	2.500			2.500
Custeio: Diárias nacionais	18.800	18.800	18.800	56.400
Custeio: Passagens aéreas nacionais	20.400	20.400	20.400	61.200
Custeio: Serviços de terceiros nacionais	10.000	10.000		20.000
Custeio: Despesas com importação	82.282,18			82.282,18
Bolsa DTI-A	6 meses	12 meses	6 meses	24 meses
Bolsa DTI-B	6 meses	12 meses	6 meses	24 meses
Bolsa ATP-A	12 meses	12 meses	12 meses	36 meses
Total	R\$ 591.105,18	R\$ 49.200	R\$ 39.200	R\$ 679.505,38

8. IDENTIFICAÇÃO DOS DEMAIS PARTICIPANTES

A equipe deste projeto trabalha coordenada em parcerias científicas na região Amazônica a 5 anos na maioria dos casos. O **Prof. Theotônio Pauliquevis** (UNIFESP) será responsável pelo processamento e interpretação dos dados de nuvens do ceilômetro, instrumento que também será processado pelo **Prof. Michel Grutter de la Mora** (UNAM/México) para a obtenção do perfil de aerossóis. Os dados dos fotômetros solares serão processados pela aluna do IFUSP **Bruna Amorim**

Holanda e interpretados pelo **Prof. Alexandre Correia** (IFUSP). A instalação e manutenção da rede de fotômetros ficará a cargo do **Sr. Fernando Gonçalves Moraes** (IFUSP). O processamento cruzado entre os dados de nuvens e aerossóis será responsabilidade do **coordenador do projeto** que, em parceria com o **Prof. Paulo Artaxo** avaliarão o efeito indireto dos aerossóis. Os dados das estações GNSS serão processados pelo **Dr. Marcelo Banilk** (INPE) para obtenção de vapor de água integrado na coluna, dados que serão interpretados e validados pelo **Dr. Luis Sapucci** (INPE). Os dados das estações meteorológicas serão processados pelo aluno de doutorado da UEA **Glauber Cirino**. Ficarão a cargo do **Prof. David Adams** (UNAM/México) a análise conjunta dos dados GOES e eventos convectivos. O **Prof. Rodrigo Souza** será o responsável local pelo sítio em Manaus e fará a sinergia com os dados de satélite. A coleta dos dados GNSS em Manaus ficará por conta da aluna de doutorado da UEA **Ludmila Silva**. O **Dr. Luiz A. T. Machado** (INPE) irá combinar modelagem com observação para estudo da variação do vapor d'água em vista de nowcasting e balanço de energia. O **Prof. José de Souza Nogueira** (UFMT) será o responsável local pelo sítio em Cuiabá e trabalhará com os dados AERONET dos quatro sítios. O **Prof. Alejandro A. Fonseca Duarte** (UFAC) será responsável localmente pelos instrumentos em Rio Branco e trabalhará com a sinergia entre dados Eumetsat e as medidas nos três sítios. A secretária do grupo, **Simara Lima de Oliveira Moraes**, ajudará nas questões administrativas.

9. IDENTIFICAÇÃO DE COLABORAÇÕES JÁ ESTABELECIDAS

O Laboratório de Física da Atmosfera do IFUSP já mantém estreita colaboração científica com os grupos da UEA e do INPA, além da Universidade Federal do Acre (UFAC) e Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT). Em Manaus, onde teremos o super sítio da Embrapa, um acordo de cooperação foi firmado entre o escritório do LBA/INPA-AM e a Embrapa para que pudéssemos dispor da área, de eletricidade e de internet. Acordos similares foram feitos com a UFAC e UFMT, onde estão os pesquisadores responsáveis pela estação Aeronet naquele estado.

O coordenador deste proposta de pesquisa começou a realizar pesquisas no LBA em 2010, quando liderou a instalação de um novo sítio experimental vento acima de Manaus, o já mencionado sítio da Embrapa. Esta atividade teve grande apoio do Dr. Theotonio Pauliquevis (UNIFESP) e Dr. David Adams (UEA-AM/UNAM-Mexico). O ACONVEX (Aerosols, Clouds cONvection EXperiment) iniciou a partir parcerias com outros projetos, dentre eles: Temático Fapesp AEROCLIMA (proc. 2008/58100-2), coordenado pelo pesquisador do LBA Prof. Dr. Paulo Artaxo; temático Fapesp CHUVA (proc. 2009/15235-8) e projeto Amazonian Dense GNSS Meteorological Network [Adams K. et al., 2011]. Além disso, uma parceria foi firmada com o Max Planck Institute de Munich, através do Prof. Bjorn Stevens, e com a Universidade do Estado do Amazonas, através do Prof. Rodrigo Souza.

O IEA-ITA e o INCT de Mudanças Climáticas também deram apoio a este site, principalmente durante a primeira campanha intensiva realizada em 2011, que ficou sob a coordenação local da Dra. Rosa dos Santos da Universidade Estadual do Amazonas (UEA). Naquela época, um grupo de alunos da UEA participou da campanha, como forma de estágio de pesquisa, e foram treinados no lançamento das sondagens. Os referidos pesquisadores participam deste projeto.

10. DISPONIBILIDADE DE INFRA-ESTRUTURA E PESSOAL

A infraestrutura no sítio experimental ACONVEX estará totalmente disponível a este projeto, não sendo necessário nenhum aporte financeiro exceto pela aquisição e manutenção do ceilômetro que será instalado em Manaus. Nos sítios de Rio Branco e Cuiabá, já existe um acordo entre as universidades para a instalação de equipamentos científicos. Os instrumentos ceilômetro, gnss e estação meteorológica serão instalados usando o mesmo acordo científico. Nos três sítio, acesso a energia e internet são contrapartidas dos pesquisadores locais e não representarão custos para o projeto.

O Laboratório de Física da Atmosfera do Instituto de Física da USP tem quatro técnicos de laboratório, dos quais dois estarão envolvidos neste projeto:

- Fernando Morais – responsável pelas 5 estações de fotômetros Aeronet operados pelo nosso grupo. É ele quem faz a manutenção periódica nos instrumentos e realiza o treinamento do pessoal local. Dedicção ao projeto: 8hs semanais
- PhD. Fabio Jorge – Especialista em eletrônica, é o responsável por consertar os instrumentos do grupo e cuidará da instalação dos instrumentos nos sítio de Rio Branco e Cuiabá.

Além disso, os alunos de doutorado Glauber Cirino e Ludmila Silva, ambos do programa de CLIAMB-INPA, são os responsáveis em Manaus por visitas semanais e manutenção dos instrumentos envolvidos nestes projeto. Em Rio Branco e em Cuiabá, isto é feito alunos da UFAC e UFMT sob a coordenação dos professores Alejandro A. Fonseca Duarte e José de Souza Nogueira respectivamente.

11. RECURSOS FINANCEIROS DE OUTRAS FONTES

O sítio da Embrapa é mantido por um projeto Fapesp coordenado pelo Dr. Paulo Artaxo, bem como as cinco estações Aeronet operadas pelo LFA-IFUSP nos três sites que iremos usar. Durante os três anos de vigência deste projeto, prevemos alguns aportes financeiros desta e outras fontes, como listado abaixo.

Descrição	Valor por unidade	Valor mensal
Visitas semanais para manutenção em Manaus	R\$ 2000,00 em diárias + R\$500,00 em combustível	R\$2500,00
Visitas bimestrais para manutenção em Manaus por um dos técnicos do IFUSP	R\$ 1000,00 em diárias + R\$ 1500,00 em passagem	R\$ 1250,00
Envio dos fotômetros para calibração na NASA, feita uma vez por ano	R\$ 6000,00 x 3	R\$ 1500,00
Total médio por mês		R\$ 5250,00
Total em 3 anos		R\$189.000,00

12. REFERÊNCIAS

Adams and Souza, 2009: Cape and convective events over the southwest u.s. during the north american monsoon. *Mon. Weath. Rev.*, 137, pp. 83.

- Adams K. et al., 2011: A dense GNSS meteorological network for observing deep convection in the Amazon *Atmos. Sci. Lett.*, doi: 10.1002/asl.312.
- Andreae, M. O. et al, 2002: Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. *Journal of Geophysical Research* 107, D20, 10.1029/2001JD000524.
- Andreae, M., D. Rosenfeld, P. Artaxo, A. Costa, G. Frank, K. Longo, and M. Silva-Dias, 2004: Smoking rain clouds over the amazon. *Science*, 303, 1342–1345.
- Arraut, J.M., C.A. Nobre, **H.M.J. Barbosa**, J.A. Marengo and G. Obregon. Aerial Rivers and Lakes: looking at large scale moisture transport, its relation to Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America, *J. Climate*, doi: 10.1175/2011JCLI4189.1, 2012
- Barbosa, H.M.J** e C.A. Nobre, 2008: Modelando a contribuição da evapotranspiração da floresta Amazônica para o fluxo de umidade que deixa a região em direção ao sul durante a estação seca, Conferência LBA 2008 - Amazônia em Perspectiva, Manaus, 17 a 20 Novembro. <http://www.lbaconferencia.org>, ID=276
- Barbosa, H.M.J**; C. A. Nobre, 2010: Contribution of Amazons Evapotranspiration To the Moisture Flux Over South America, in: AGU 2010 - Meeting of the Americas. *Eos Trans. AGU*, 91(26), Meet. Am. Suppl., Abstract A33C-14
- Barbosa, H.M.J**; D. Gouveia; T. Pauliquevis; D. Adams; P. Artaxo, 2012: Intercom. of water vapor calibration constants derived from in-situ and distant soundings for a Raman-Lidar operating in the Amazon Forest, 26th International Laser Radar Conference, Athens, Greece.
- Bevis, M. et al, 1992: Gps meteorology: sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system. *J. Geo. Res.*, 97, 15 787–15 801.
- Bretherton and Smolarkiewicz, 1989: Gravity waves, compensating subsidence and detrainment around cumulus clouds. *J. Atmos. Sci.*, 46, pp. 740.
- Champollion, C. et al, 2009: Mesoscale gps tomography applied to the 12 june 2002 convective initiation event of ihop 2002. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 135, 645–662.
- Cutrim, E., Martin, D.W., Rabin, R. Enhancement of cumulus clouds over deforested lands in Amazonia. *Bulletin of the American Meteorological Society*, n. 10, v. 76, p. 1801-1805. Ano: 1995.
- Dai, Trenberth and Karl, 1999: Effects of Clouds, Soil Moisture, Precipitation, and Water Vapor on Diurnal Temperature Range. *J. Climate*, 12, pp. 2451
- Duan et al., 1996: Gps meteorology: Direct estimation of the absolute value of precipitable water. *J. Appl. Meteo.*, 35, 830–838.
- Dubovik, O. et al., 2000: Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from aerosol robotic network (aeronet) sun and sky radiance measurements. *J. Geophys. Res.*, v. 105, n. D8, p. 9791–9806.
- Dubovik, O.; King, M. D., 2000: A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from sun and sky radiance measurements. *J. Geophys. Res.*, v. 105, n. D16, p. 20673–20696.
- Garreaud, R. D., and J. M. Wallace, 1998: Summertime incursions of mid-latitude air into tropical and subtropical South America. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 2713-2733.
- Gutman, S. and S. Benjamin, 2001: The role of ground-based gps meteorological observations in numerical weather prediction. *GPS Solutions*, 4, 16–24, doi: 10.1007/PL00012860.
- Holben, B. N. et al., 1998: Aeronet - A Federal Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization. *Remote Sens. Environ.*, v. 66, p. 1–16.
- Holloway and Neelin, 2009: Moisture vertical structure, column water vapor, and tropical deep convection. *J. Atmos. Sci.*, 66, pp. 1665.
- Khain, A., D. Rosenfeld, and A. Pokrovsky, 2005: Aerosol impact on the dynamics and microphysics of deep convective clouds. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 131 (611), 2639–2663.
- Khain, A., M. Ovtchinnikov, M. Pinsky, A. Pokrovsky, and H. Krugliak, 2000: Notes on the state-of-the-art numerical modeling of cloud microphysics. *Atmos. Res.*, 55, 159-224.
- Kinter III, J. et al., 1997: The COLA atmosphere-biosphere general circulation model. Vol. 1: Formulation. Report n°51. Center for Ocean-Land Atmosphere Studies. 44pp.
- Kuo, H. L., 1965: On the formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. *J. Atmos. Sci.*, 22, 40-63.

- Kursinski, E. et al., 2008: Water vapor and surface observations in northwestern Mexico during the 2004 name enhanced observing period. *Geo. Res. Let.*, 25 (L03815), doi: 10.1029/2007GL031404.
- Lacis A. and J. E. Hansen, 1974: A parameterization of the absorption of solar radiation in the Earth's atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, 31, 118-133.
- Le Marshall, J., et al., 2006: Improving global analysis and forecasting with AIRS. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87 (7), 891–894, doi:10.1175/BAMS-87-7-891.
- Marengo, J.A. et al., 2003: Ensemble simulation of regional rainfall features in the CPTEC/COLA atmospheric GCM. Skill and Predictability assessment and applications to climate predictions. *Clim. Dyn.*, 21, p. 459-475.
- Martins, J. A., Silva Dias, M. A. F. & Gonçalves, F. L. T. Impact of biomass burning aerosols on precipitation in the Amazon: A modelling case study. *J. Geophys. Res.* 114, D02207 (2009).
- Melfi, 1972: Remote measurements of the atmosphere using Raman scattering *Appl. Opt.*, 11, pp. 1288.
- Mendes, D., E. P. Souza, I. F. Trigo, and P. M. A. Miranda, 2007: On precursors of South American cyclogenesis
- Meyers, M.P., R.L. Walko, J.Y. Harrington, and W.R. Cotton, 1997: New RAMS cloud microphysics parameterization. Part II: The two-moment scheme. *Atmos. Res.*, 45, 3-39.
- Newell, R. E., N. E. Newell, Y. Zhu, and C. Scott, 1992: Tropospheric rivers? - a pilot study. *Geophys. Res. Let.*, 19, 2401–2404.
- Nobre, C. A., P. Sellers, and J. Shukla, 1991: Amazonian deforestation and regional climate change. *J. Climate*, 4 (10), 957–988.
- Oliveira, G. S., 2008: Consequências climáticas da substituição gradual da floresta tropical amazônica por pastagem degradada ou por plantação de soja: um estudo de modelagem. Tese de doutorado. INPE.
- Onogi, K. et al., 2007: The JRA-25 reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 369–432.
- Peixoto, J. and A. Oort, 1992: *Physics of climate*. Springer-Verlag, New York.
- Rosenfeld, D., 2006: Aerosols, clouds, and climate. *Science*, 312, 1323–1324, doi: 10.1126/science.1128972.
- Rosenfeld, D., U. Lohmann, G. Raga, et al., 2008: Flood or drought: How do aerosols affect precipitation? *Science*, 321 (5894), 1309–1313.
- Salio, P., M. Nicolini, and C. Saulo, 2002: Chaco Low-Level Jet events characterization during the austral summer season. *J. Geophys. Res.*, 107 D (24), 32 1 – 17.
- Salio, P., M. Nicolini, and E. Zipser, 2007: Mesoscale convective systems over southeastern South America and their relationship with the South American Low-Level Jet. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 1290–1310.
- Sapucci, L., L. Machado, M. JFG, and A. Plana-Fattori, 2007: Intercomparison of integrated water vapor estimates from multisensors in the Amazonian region. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 24, 1880–1894.
- Saulo, C., J. Ruiz, and Y. G. Skabar, 2007: Synergism between the Low-Level Jet and organized convection in its exit region. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 1310–1326.
- Saulo, C., M. E. Seluchi, and M. Nicolini, 2004: A case study of a Chaco Low-Level Jet event. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 2669–2683.
- Seluchi, M. E., C. Saulo, M. Nicolini, and P. Satyamurty, 2003: The Northwestern Argentinean Low: A study of two typical events. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 2361–2378.
- Sestini, M.F. ; Alvalá, R.C.S.; Valeriano, D.M ; Chan, C. S. ; Mello, E.M.K. ; Reimer, E., 2002: Integração e atualização de dados de uso/cobertura do terreno da Amazônia Legal para utilização em modelos de superfície (SSiB). In: 2o Conferência Científica Internacional do Experimento do LBA, Manaus.
- Sherwood et al., 2009: Tropospheric water vapor, convection and climate: a critical review. *Review of Geophysics*, 48, pp. RG2001.
- Siqueira, J. R. and L. A. T. Machado, 2004: Influence of frontal systems on the day-to-day convection variability over South America. *J. Climate*, 17, 1754–1766.
- Tiedtke, M., 1983: The sensitivity of the time mean large scale flow to cumulus convection in the ECMWF model. *Workshop on Convection in Large Scale Numerical Models*. ECMWF, 297-316
- Trenberth, K.E., Fasullo, J.T. & Kiehl, J., 2009. Earth's global energy budget. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 90(3), pp.311–323.
- Uppala, S. et al., 2005: The ERA-40 re-analysis. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, 2961-3012.

- Whiteman et al., 1992: Raman Lidar system for the measurement of water vapor and aerosols in the Earth's atmosphere *Appl. Opt.*, 31(16), pp. 3068.
- Williams and Rennó, 1993: An analysis of the conditional instability of the tropical atmosphere. *Mon. Weath. Rev.*, 121, pp. 21.
- Williams, E. et al., 2002: Contrasting convective regimes over the amazon: Implications for cloud electrification. *J. Geo. Res.*, 107 (D20).
- Xue, Y., P. J. Sellers, J. L. Kinter III, and J. Shukla, 1991: A simplified biosphere model for global climate studies. *J. Climate*, 4, 345-364.
- Yamasoe, M. A., 1999: Estudo das propriedades ópticas de partículas de aerossóis a partir de uma rede de radiômetros. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Zhu, Y. and R. E. Newell, 1998: A proposed algorithm for moisture fluxes from atmospheric rivers. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 725–735.