

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente – Cliamb

**Estabilidade e estrutura da turbulência sob a influência de Jatos de Baixos Níveis  
Noturnos no sudoeste da Amazônia**

Raoni Aquino Silva de Santana

Manaus – Amazonas  
Abril, 2013

Raoni Aquino Silva de Santana

Estabilidade e estrutura da turbulência sob a influência de Jatos de Baixos Níveis Noturnos no  
sudeste Amazônia

Orientador: Dr. Julio Tóta

Co-orientadora: Dra. Rosa Maria Nascimento dos Santos

Fonte Financiadora: CNPq – INPA/UEA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente – INPA/UEA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Clima e Ambiente.

Manaus – Amazonas  
Abril, 2013

S231 Santana, Raoni Aquino Silva de  
Estabilidade e estrutura da turbulência sob a influência de jatos  
de baixos níveis noturnos no sudoeste da Amazônia / Raoni Aquino  
Silva de Santana. --- Manaus : [s.n.], 2013.  
38 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) --- INPA / UEA, Manaus, 2013.

Orientador : Julio Tóta

Coorientadora : Rosa Maria Nascimento dos Santos

Área de concentração : Interações Clima-Biosfera na Amazônia

1. Turbulência – Estrutura. 2. Turbulência – Estabilidade. 3. Jatos  
de baixos níveis noturnos – Intensidade. 4. Blindagem por  
cisalhamento. 5. Camada limite invertida. 6. Camada limite noturna.  
I. Título.

CDD 19. ed. 551.55

**Sinopse:**

Este trabalho apresenta um estudo observacional da ocorrência Jatos de baixos níveis e como estes podem influenciar a estrutura da turbulência e a estabilidade em uma área de pastagem no sudoeste Amazônia. Para tanto, utilizou-se dados coletados por radiossondagem e pelo sistema de correlação de vórtices turbulentos durante o experimento WetAMC-LBA de 1999.

**Palavras chaves:** Blindagem por Cisalhamento; Camada Limite Invertida; Camada Limite Noturna; Intensidade do jato.

*Dedico este trabalho ao meu pai e  
minha mãe que com seu esforço e  
dedicação pavimentaram o caminho que  
possibilitou a minha chegada até aqui.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus,

Agradeço aos meus orientadores Dr. Julio Tóta e Dra. Rosa Maria Nascimento dos santos por seus ensinamentos, paciência, apoio constante e pela amizade,

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e a Universidade do Estado do Amazonas, pela oportunidade de formação,

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida,

Aos professores do Programa de pós-graduação CLIAMB-INPA/UEA pelo empenho em repassar e orientar seus alunos da melhor forma possível,

Aos meus colegas de mestrado Bruno Takeshi, Paula Fonseca e Polari Batista, com quem compartilhei muitos momentos, sejam aqueles mais descontraídos e outros de maior aflição.

Aos alunos de doutorado, especialmente, Cleo Quaresma, Elisa Amijos e Paulo Coutinho pelos momentos de descontração e por muitos dias em que ficamos estudando no INPA, não importando se era domingo ou feriado.

Sou especialmente grato à minha esposa Márcia Tais por estar sempre do meu lado todos esses anos e por me acompanhar nessa nova empreitada.

Agradeço a toda minha família, especialmente a meus pais e meus irmãos que sempre me incentivaram a estudar.

*Ao contrário de suas características conhecidas atualmente, a Camada Limite Noturna sobre grandes planícies é frequentemente contemplada com uma variedade de fenômenos geradores de turbulência (Poulos et al., 2002).*

## RESUMO

Os Jatos de Baixos Níveis (JBNs) são definidos como valores máximos que ocorrem no perfil vertical de velocidade do vento nos primeiros metros da atmosfera, dentro da Camada Limite Atmosférica (CLA). Tais jatos são relativamente comuns na fase noturna da CLA; no entanto, não há consenso na literatura sobre como sua ocorrência e intensidade podem afetar a estabilidade e a turbulência próxima à superfície. Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi avaliar como a ocorrência de JBNs pode influenciar a estrutura da turbulência e a estabilidade à superfície em uma área pastagem no sudoeste da Amazônia. Utilizando-se dados coletados por meio de radiossondagem e pelo sistema de covariância de vórtices turbulentos durante a campanha WetAMC-LBA, realizada nos meses de janeiro e fevereiro de 1999, os JBNs foram identificados em 60% dos perfis de vento analisados, sendo que destes, 53% foram classificados como JBNs fracos e 15% como JBNs fortes. A grande maioria dos casos de jatos fracos ocorreu em alturas menores e, possivelmente, aparecem devido à diminuição do atrito entre a superfície e o escoamento atmosférico. Por outro lado, jatos fortes estão ligados a alturas mais elevadas, o que provavelmente resulta de efeitos de grande e meso escala. Com base nos dados de turbulência, três regimes de estabilidade atmosférica à superfície foram definidos: Fracamente Estável; Transição e Muito Estável. Em relação à estrutura da turbulência, valores maiores de velocidade de fricção e de Energia Cinética Turbulenta foram observados durante eventos de JBNs fortes, quando comparados com aqueles calculados durante eventos de JBNs fracos. Notou-se também uma boa relação entre jatos fortes e a condição de estabilidade de transição. Porém, não há uma tendência clara entre a ocorrência de jatos fracos e qualquer regime de estabilidade. De modo geral, os resultados deste estudo sugerem que a presença de JBNs, de acordo com sua intensidade, pode gerar turbulência em níveis superiores da atmosfera e propagá-la até a superfície. Isto pode influenciar tanto a estabilidade quanto a estrutura da turbulência, indicando que a teoria de Blindagem por Cisalhamento não se aplica ao sítio experimental estudado.

## ABSTRACT

Low level jets (LLJs) are wind-speed maxima in the vertical profile within the Atmosphere Boundary Layer (ABL). Such jets are common above the ABL during night time; however, how LLJs influence turbulence and stability near the surface is still widely debated. This study aims at evaluating how the occurrence of LLJs could influence turbulence structure and stability above a pasture area in the southwest Amazon. Using data collected by radiosondes and by Eddy Covariance Systems during the WetAMC-LBA campaign, (January and February 1999), LLJs were identified in 60% of all analyzed wind profiles, of which 53% were classified as weak and 15% classified as strong. The majority of cases of weak jets occurred at low heights, probably due to the reduction of friction between the surface and the atmospheric flow. On the other hand, strong jets occurred at greater heights, most likely resulting from large and meso scale effects. Based on the turbulence data, three atmosphere stability regimes to surface were defined: weakly stable; transition and very stable. In relation to the structure of turbulence, higher values of the friction velocity and of the Turbulent Kinetic Energy were showed during strong LJJ's than weak LJJ's. There was also a good relationship between strong jets and transition regime. However there was no a clear tendency between the occurrence of weak jets and any stability regime. In general, the results from this study suggest that the occurrence of LLJs, depending on their intensity, could generate turbulence at higher levels in the atmosphere and propagate it downward towards the surface. This could influence both stability and the structure of turbulence indicating that the theory of *Shear Sheltering* does not apply to the experimental site studied.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	X
<b>1. APRESENTAÇÃO</b> .....	12
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	13
2.1. OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>CAPÍTULO 1: Estabilidade e estrutura da turbulência sob a influência de Jatos de Baixos Níveis Noturnos no sudoeste da Amazônia</b>	
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	18
2.1. ÁREA DE ESTUDO.....	18
2.2. DADOS.....	19
2.3. METODOLOGIA.....	19
<b>3. RESULTADOS</b> .....	21
3.1. JATOS DE BAIXOS NÍVEIS.....	21
3.2. REGIMES DE ESTABILIDADE.....	23
3.3. ESTABILIDADE E TURBULÊNCIA SOB A INFLUÊNCIA DE JBNs.....	24
<b>3.3.1. Características Gerais</b> .....	24
<b>3.3.2. Estudo de Caso</b> .....	25
<b>4. DISCUSSÕES</b> .....	28
4.1. JATOS DE BAIXOS NÍVEIS.....	28
4.2. REGIMES DE ESTABILIDADE.....	29

4.3. ESTABILIDADE E TURBULÊNCIA SOB A INFLUÊNCIA DE JBNs.....	30
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>31</b>
<b>6. AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>31</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>32</b>
<b>8. CONCLUSÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>10. APÊNDICE.....</b>	<b>36</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Amostragem dos Perfis de velocidade do vento obtidos a partir de dados de radiossondagem, exemplificando casos de JBNs de diferentes intensidades.....	22
<b>Figura 2.</b>	Velocidade do núcleo do jato em relação à altura do núcleo do jato, para todos os casos de jatos identificados na FNS.....	22
<b>Figura 3.</b>	Parâmetro de estabilidade de Monin-Obukov em relação ao fluxo cinemático de calor sensível. ....	23
<b>Figura 4.</b>	Dispersão do Parâmetro de Monin-Obukov e velocidade do núcleo do jato em relação à velocidade de fricção e Energia cinética Turbulenta calculados para o período de 30 minutos.....	24
<b>Figura 5.</b>	Evolução do perfil vertical da velocidade do vento para a noite 01/02 de fevereiro (A), onde ocorreram JBNs fortes, e para a noite 04/05 de fevereiro (B), na qual a velocidade do vento não ultrapassou $7 \text{ ms}^{-1}$ ....	26
<b>Figura 6.</b>	Evolução temporal noturna da Temperatura do ar em 6 m para a noite com atividade jato forte (curva azul) e para a noite com atividade de jato fraco (curva vermelha).....	27
<b>Figura 7.</b>	Evolução temporal noturna da velocidade de fricção (A) e fluxo cinemático de calor sensível (B) para a noite com atividade de jato forte e para noite com atividade de jato fraco .....	27
<b>Figura 8.</b>	Visão panorâmica da Fazenda Nossa Senhora, mostrando a torre micrometeorológica e a cobertura vegetal.....	36
<b>Figura 9.</b>	Anemômetro sônico tridimensional Gill (A) e um analisador infravermelho de gás LI-6262 IRGA (‘‘Infrared Gas Analyser’’, B).....	36

- Figura 10.** Fotografia ilustrando o lançamento de balão cativo e radiossonda na FNS..... 37
- Figura 11.** Exemplos de Arquivos de dados de 30 min obtidos a partir do sistema de covariância de vórtices turbulentos que foram excluídos, seja por falha no sistema elétrico ou picos irreais..... 37
- Figura 12.** Parâmetros de JBNs:  $Z_j$  é a altura do jato; e  $V_j$  é a velocidade do vento do núcleo do jato. A figura ilustra os critérios de seleção dos perfis de ventos que apresentaram Jatos de Baixos Níveis..... 38

## APRESENTAÇÃO

Este trabalho apresenta um estudo observacional da ocorrência Jatos de Baixos Níveis (JBNs) e como estes, de acordo com sua intensidade, podem influenciar a estrutura da turbulência e a estabilidade à superfície em uma área de pastagem no sudoeste da Amazônia. Os JBNs são relativamente comuns na Camada Limite Noturna (CLN) e muitos trabalhos indicam que tais jatos podem provocar aumento da mistura em superfície (Banta *et al.*, 2002; 2003;2006; Karipot *et al.*, 2006;2008; Duarte *et al.*, 2012 ). No entanto, depois do trabalho teórico de Hunt e Durbin (1999), onde estes autores desenvolveram a chamada teoria de blindagem por cisalhamento, em que vórtices de corrente livre, viajando para uma zona de cisalhamento, podem ser completamente bloqueados, resultados aparentemente divergentes foram encontrados quando aplicados a estudos de interação superfície-atmosfera: se Smedman *et al.* (2004) e Prabha *et al.* (2008) encontraram diminuição de turbulência à superfície durante a ocorrência de JBNs, fato que corrobora com a teoria citada acima, os resultados encontrados por Karipot *et al.* (2008) e Duarte *et al.* ( 2012) indicam que a teoria de blindagem por cisalhamento pode não ser aplicável. Mesmo em regiões extratropicais a questão de como JBNs podem influenciar estabilidade e trocas turbulentas em superfície não está totalmente respondida, fato que se agrava ainda mais quando se trata de regiões tropicais, especialmente na Amazônia, onde foram poucos os trabalhos desenvolvidos sobre este tema (Santos, 2005; Nogueira, 2008).

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho é avaliar a estabilidade e estrutura da turbulência à superfície durante a ocorrência de JBNs com diferentes intensidades em uma área de pastagem no sudoeste da Amazônia, determinando sua relação com os regimes de estabilidade e intensidade da turbulência na CLN.

### **OBJETIVOS EPECÍFICOS**

1. Identificar e classificar JBNs ocorridos na Fazenda Nossa Senhora de acordo com critérios pré-estabelecidos;
2. Entender quais mecanismos físicos podem ter gerado os JBNs;
3. Verificar os regimes de estabilidade à superfície e sua relação com a ocorrência de JBNs de diferentes intensidades;
4. Avaliar as variáveis micrometeorológicas que indicam a intensidade da turbulência à superfície e verificar sua relação com a ocorrência de JBNs de diferentes intensidades;
5. Analisar detalhadamente um estudo de caso;

# Capítulo 1

---

Santana, R. A. S; Tóta, Julio; Santos, R. M. N. 2013.  
Estabilidade e estrutura da turbulência sob a influência de  
Jatos de Baixos Níveis Noturnos no sudoeste da  
Amazônia. Submetido a *Acta Amazônica*.

## **Capítulo 1. Estabilidade e estrutura da turbulência sob a influência de Jatos de Baixos Níveis Noturnos no sudoeste da Amazônia**

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar como a ocorrência de Jatos de Baixos Níveis (JBNs) noturnos podem influenciar a estrutura da turbulência e a estabilidade à superfície em uma área de pastagem no sudoeste da Amazônia. Utilizando-se dados coletados por radiossondagem e pelo sistema de covariância de vórtices turbulentos durante a campanha WetAMC-LBA, JBNs foram identificados em 60% dos perfis de vento analisados, sendo que destes, 53% foram classificados como fracos e 15% como fortes. Os JBNs fracos possivelmente aparecem devido à diminuição do atrito entre a superfície e o escoamento atmosférico. Por outro lado, jatos fortes, provavelmente, resultam de efeitos de grande e meso escalas. Com base nos dados de turbulência, três regimes de estabilidade atmosférica à superfície foram definidos: fracamente estável; transição e muito estável. Em relação à estrutura da turbulência, valores maiores de velocidade de fricção e de Energia Cinética Turbulenta foram observados durante eventos de JBNs fortes, quando comparados com aqueles calculados durante eventos de JBNs fracos. Notou-se também uma boa relação entre jatos fortes e o regime de transição. Porém, não houve tendência clara entre a ocorrência de jatos fracos e qualquer regime de estabilidade. De modo geral, os resultados deste estudo sugerem que a presença de JBNs, de acordo com sua intensidade, pode gerar turbulência em níveis superiores da atmosfera e propagá-la até a superfície. Isto pode influenciar tanto a estabilidade quanto a estrutura da turbulência, indicando que a teoria de Blindagem por Cisalhamento não se aplica ao sítio experimental estudado.

**Palavras chave:** Blindagem por Cisalhamento; Camada Limite Invertida; Camada Limite Noturna; Intensidade do jato.



## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate how the occurrence of nocturnal Low Level Jets (LLJs) can influence the structure of turbulence and stability over a pasture area in the southwestern Amazon. Using data collected from both radiosondes and Eddy Covariance Systems during the WetAMC-LBA campaign, LLJs were identified in 60% of all analyzed wind profiles, of which 53% were classified as weak and 15% were classified as strong. Weak jets probably occurred due to the reduction in friction between the surface and the above atmospheric flow. On the other hand, strong jets most likely result from large and mesoscale effects. Based on the turbulence data, three atmosphere stability regimes to surface were defined: weakly stable; transition and very stable. In relation to the structure of turbulence, values of the friction velocity and of Turbulent Kinetic Energy were observed to be higher during strong LLJs than weak LLJs. There was also a strong relationship between strong jets and the transition regime. However, there was no clear tendency between the occurrence of weak jets and any stability regime. In general, the results from this study suggest that the occurrence of LLJs, depending on their intensity, could generate turbulence at higher levels in the atmosphere and propagate it downward towards the surface. This could influence both stability and the structure of turbulence indicating that the theory of *Shear Sheltering* does not apply to the experimental site studied.

**Keywords:** Shear Sheltering; Upside-down boundary layer; Nocturnal boundary layer; Intensity of the jet.

## 1. INTRODUÇÃO

Fundamentalmente, o conceito de Camada Limite Atmosférica (CLA) está ligado a trocas que ocorrem entre a superfície terrestre e os primeiros metros da atmosfera (Arya, 2001), sendo que a turbulência é um dos principais mecanismos físicos responsáveis pelo transporte e mistura vertical de escalares nessa camada, originada pelo aquecimento da superfície e pela interação do escoamento com elementos de rugosidade. Contudo, Mahrt (1985), estudando a estrutura vertical da Camada Limite Noturna (CLN) sob forte estratificação térmica, encontrou que a principal fonte de turbulência na camada é o cisalhamento do vento próximo ao topo da camada de inversão de superfície, o qual pode ser resultado da ocorrência de fenômenos tipicamente noturnos, tais como Jatos de Baixos Níveis (Mahrt, 1999), que aumentam a mistura turbulenta em superfície (Banta *et al.*, 2002; 2003;2006; Karipot *et al.*, 2006;2008; Duarte *et al.*, 2012 ).

Embora o termo Jatos de Baixos Níveis (JBNs) seja usado de forma ambígua na literatura, em micrometeorologia, estes jatos são tratados como máximos que ocorrem no perfil vertical de velocidade do vento nos primeiros metros da atmosfera, dentro da CLA. Tais jatos são relativamente comuns na CLN, no entanto, há uma grande discussão sobre como sua ocorrência e intensidade podem afetar a estabilidade e a turbulência próxima à superfície (Duarte *et al.*, 2012). Resultados aparentemente divergentes foram encontrados em regiões extratropicais.

Karipot *et al.*, (2008) encontraram que a atividade de JBNs fortes (definido como sendo aqueles em que a velocidade do núcleo do jato é maior do que  $10 \text{ ms}^{-1}$ ) contribuiu para fraca estabilidade atmosférica e alta velocidade fricção em uma floresta conífera, na Florida, Estados Unidos. Em contraposição, Prabha *et al.* (2008) pontuaram que eventos turbulentos de baixa de frequência são suprimidos durante a ocorrência de JBNs fortes, sendo isso atribuído ao efeito de “Shear Sheltering” (traduzido por Nogueira, 2008, como: Blindagem por Cisalhamento).

A teoria de Blindagem por Cisalhamento foi desenvolvida por Hunt e Durbin (1999) e baseia-se no fato de que vórtices de corrente livre, viajando para uma zona de cisalhamento, podem ser completamente bloqueados, desde que este tenha um tamanho e velocidade adequada. Duarte *et al.*, (2012) avaliaram a aplicabilidade desta teoria para dados obtidos em Oklahoma, Estados Unidos, em um sítio experimental quase ideal e não encontraram

resultados que mostrasse a presença de Blindagem por Cisalhamento. Em suas conclusões os autores acreditam que tal teoria não é normalmente aplicada em estudos atmosféricos, dada a complexidade de seu escoamento, principalmente se tratando da CLN.

Mesmo em regiões extratropicais a questão de como JBNs podem influenciar estabilidade e trocas turbulentas em superfície não está totalmente respondida, fato que se agrava ainda mais quando se trata de regiões tropicais, e principalmente na Amazônia, onde poucos trabalhos foram desenvolvidos sobre este tema específico (Santos, 2005; Nogueira, 2008).

Baseado nisso, o objetivo deste trabalho é avaliar a estabilidade e estrutura da turbulência à superfície durante a ocorrência de JBNs com diferentes intensidades em uma área de pastagem no sudoeste da Amazônia, determinando sua relação com os regimes de estabilidade e intensidade da turbulência na CLN.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo compreende uma área desmatada na Amazônia, com terreno relativamente plano, localizada no município de Ouro Preto do Oeste, estado de Rondônia, Brasil (10° 46' S, 62° 20' W, altitude de 293 m). A Fazenda Nossa Senhora (FNS) é uma área de pastagem estabelecida há aproximadamente 20 anos, coberta por gramínea (*Brachiaria brizantha*) e que tem sido utilizada em diversos estudos de campo, desde o projeto ABRACOS na década de 90. Apesar de ser um trabalho voltado para a Amazônia optou-se por uma área desmatada para evitar interferências que surgem devido à presença de elementos de rugosidade robustos, tais como vórtices coerentes (Raupach et al., 1996; Dias Júnior, 2008).

De acordo com Fisch (1995), a região onde está localizada a FNS apresenta uma forte sazonalidade na distribuição de precipitação, com totais pluviométricos superiores a 200 mm/mês durante os meses de Novembro a Abril (estação chuvosa) e abaixo de 20 mm/mês entre os meses junho a agosto (estação seca). A temperatura do ar também apresenta uma sazonalidade, influenciada pelo regime de precipitação. O mês mais quente e o mais frio são, respectivamente, Outubro (25,5 °C) e julho (22,6°C).

## 2.2. DADOS

Os dados utilizados foram coletados durante a Campanha de Mesoescala Atmosférica da Estação Úmida (“Wet Season Atmospheric Mesoscale Campaign”) do experimento LBA – WetAMC-LBA, realizada nos meses de janeiro e fevereiro de 1999. Embora estes dados sejam um pouco antigos, até hoje, esta campanha foi a mais completa em relação à coleta de dados micrometeorológicos na Amazônia. Nesse estudo foram utilizados, basicamente, perfis verticais da velocidade e direção do vento, coletados por radiossondagens, e medidas das três componentes do vento (zonal, meridional e vertical), temperatura sônica e umidade, coletadas por um sistema de covariância de vórtices turbulentos.

Durante o experimento, oito radiossondas em intervalos de 3 horas (no período intensivo) e seis radiossondas em intervalos de 4 horas (no período não intensivo) foram lançadas, cobrindo 24 horas. Aqui apenas perfis de 17 hora local (HL) as 08 HL foram utilizados, totalizando um máximo de 5 perfis por noite. Estes dados estão disponíveis em <<http://www.lba.iag.usp.br>> em diversos níveis de controle de qualidade. Neste trabalho utilizou-se dados consistidos (“fase d”), os quais foram submetidos a um controle de qualidade baseado em métodos de inspeção visual, verossimilhança e consistência espacial e física (ver Longo *et al.*, 2002). As medidas de covariância de vórtices turbulentos foram realizadas por um anemômetro sônico tridimensional Gill (“Gill Instruments Sonic Anemometer”) e um analisador infravermelho de gás LI-6262 IRGA (Infrared Gas Analyser), instalados em uma torre micrometeorológica a 6 m de altura. Os dados foram amostrados a uma taxa de 10 Hz e passaram por inspeção visual para remoção de arquivos que apresentassem inconsistência, devido à falta de energia ou picos irrealis.

## 2.3. METODOLOGIA

Na literatura não há consenso sobre critérios de classificação de JBNs. No entanto, a grande maioria dos trabalhos científicos atuais utilizam o método de Andeas *et al.* (2000), na íntegra, ou com algumas modificações. Estes autores definiram JBNs como o primeiro máximo no perfil de velocidade do vento, chamado de núcleo do jato, onde a velocidade deve ser maior em pelo menos  $2 \text{ ms}^{-1}$  tanto abaixo quanto acima desse núcleo.

Santos (2005), estudando JBNs em três áreas com diferentes coberturas vegetais na Amazônia (incluindo a área de estudo deste trabalho), adicionou outras três condições ao

método de Andreas *et al.* (2000), a saber: a autora considerou que JBNs ocorrem apenas se a altura do núcleo do jato,  $Z_j$ , ocorresse abaixo de 1000 m; que a velocidade do núcleo do jato ( $V_j$ ) fosse maior que  $5 \text{ ms}^{-1}$  e a velocidade do vento acima e abaixo do núcleo do Jato seja, no mínimo, na ordem de  $1,5 \text{ ms}^{-1}$ . Estes critérios foram adaptados, pois os ventos são relativamente fracos na Amazônia e, portanto, necessitam de uma nova definição (ou critérios/limites).

Neste trabalho foi utilizado o método de Andreas *et al.* (2000), juntamente com as condições adicionais proposta por Santos (2005) para seleção de JBNs. No entanto, devido à análise aqui pretendida, considerou-se JBNs, casos em que  $V_j$  foi maior ou igual a  $4 \text{ ms}^{-1}$ , e a velocidade acima e abaixo do núcleo do jato foi no mínimo  $1 \text{ ms}^{-1}$ . A partir dos critérios estabelecidos, Jatos foram classificados de acordo com Karipot *et al.* (2008), da seguinte forma: Fracos ( $4 \text{ ms}^{-1} \geq V_j < 7 \text{ ms}^{-1}$ ); Intermediários ( $7 \text{ ms}^{-1} \geq V_j < 10 \text{ ms}^{-1}$ ); e Fortes ( $V_j > 10 \text{ ms}^{-1}$ ).

Para estudar estabilidade atmosférica e turbulência à superfície, cerca de 250 horas de dados, obtidos a partir do sistema de covariância de vórtices turbulentos, foram analisados. Os fluxos cinemáticos de *momentum* e calor sensível, bem como a Energia Cinética Turbulenta foram calculados a cada 5 minutos e, a partir de 30 minutos foi retirada a média, dessa maneira reduzindo o erro de amostragem de fluxo aleatório (Vickers and Mahrt, 2003). A temperatura, necessária para o cálculo do fluxo de calor sensível, foi obtida a partir da temperatura sônica estimada pelo anemômetro e corrigida com a umidade do analisador infravermelho de gás.

A velocidade de fricção (1), o parâmetro estabilidade de Monin-Obukov (2) e Energia Cinética Turbulenta (3) foram calculados de acordo com a seguinte formulação matemática (Stull, 1988):

$$(1) \quad u_* = (\overline{u'w'} + \overline{v'w'})^{1/4} \quad (2) \quad \zeta = Z/L \quad (3) \quad ECT = \frac{1}{2} [(\overline{u'})^2 + (\overline{v'})^2]$$

Sendo,

$u'$  e  $v'$  as partes turbulentas do vento zonal e meridional, respectivamente;

$w'$  a parte turbulenta da velocidade vertical; Z a altura onde foi realizada a medida;

L o comprimento de Obukhov, dado por:

$$L = -\frac{u_*^3}{k \frac{g}{T_0} \theta' w'}$$

Em que,

$T_0$  é a temperatura média do ar na altura  $z$ ;

$k$  é a constante de Von Kármán;

$\theta'$  é a parte turbulenta da temperatura potencial;

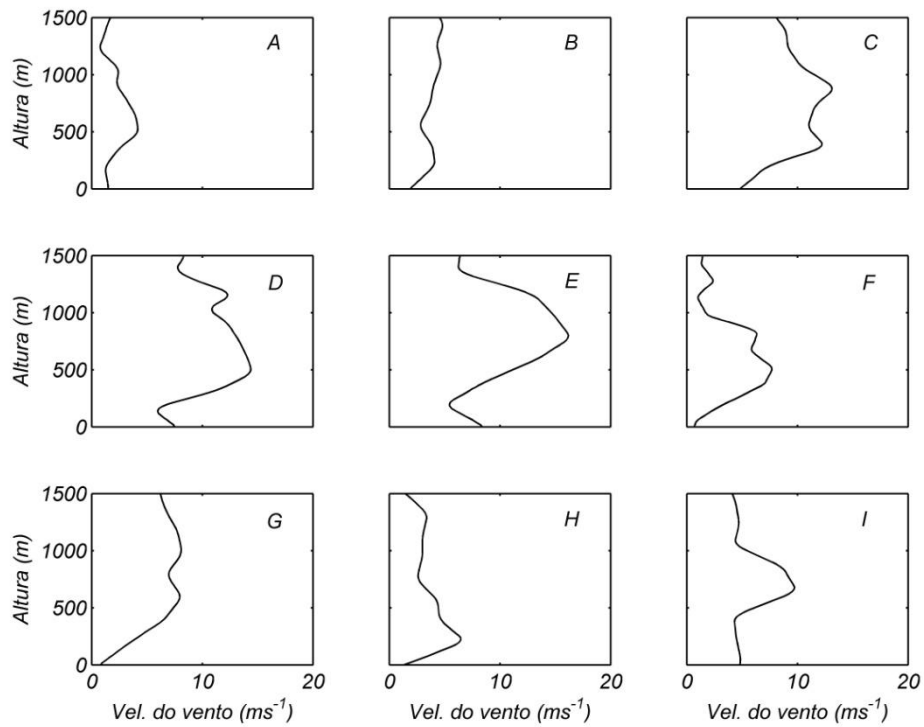
Para definir regimes de estabilidade atmosférica, seguiu-se a metodologia proposta por Mahrt *et al.* (1998), que relaciona  $\zeta$  e o fluxo cinemático de calor. Os autores definiram a ocorrência de três regimes de estabilidade para a Camada Limite Estável: Fracamente Estável ( $0 < z/L < \varepsilon \ll 1$ ), o qual é caracterizado pelo aumento do fluxo de calor a medida que  $\zeta$  aumenta; Transição ( $\varepsilon < z/L < 0$ ), onde o fluxo de calor decai rapidamente com o aumento de  $\zeta$ ; e Muito Estável, no qual o fluxo de calor é muito pequeno e continua a decair lentamente com o aumento da estabilidade.

### 3. RESULTADOS

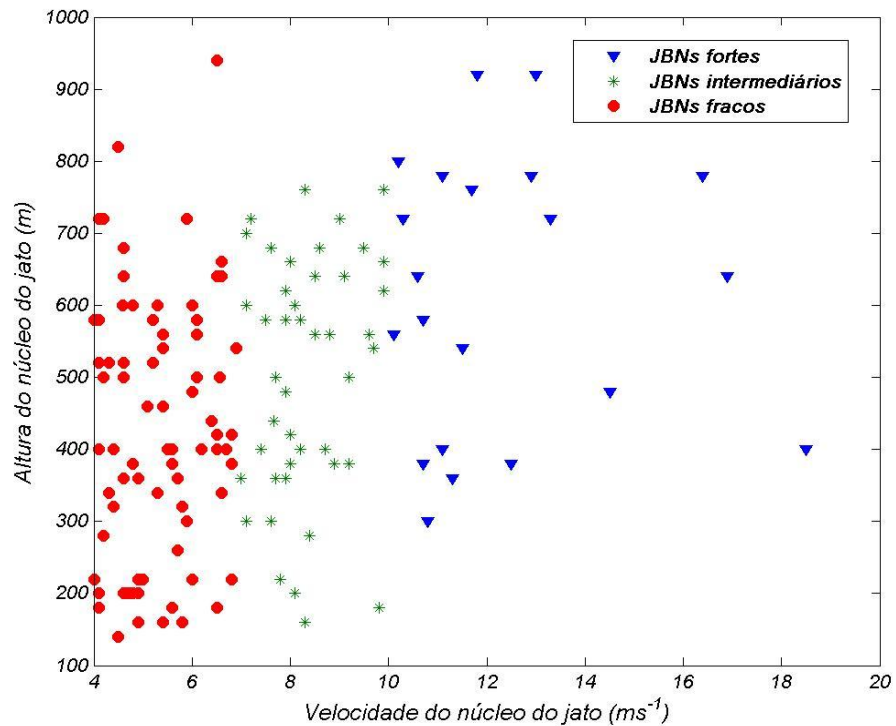
#### 3.1. JATOS DE BAIXOS NÍVEIS

Os JBNs foram presença constante nas noites estudadas. Cerca de 60% dos perfis de vento analisados apresentaram tais características, ou seja, 142 perfis de um total de 235 perfis, foram considerados como JBNs, sendo que 76 foram classificados como casos de JBNs fracos (53%), 45 como JBNs intermediários (32%) e 21 com JBNs fortes (15%).

A Figura 1 mostra alguns perfis de vento que apresentaram JBNs. São exemplos de jatos fracos os perfis das figuras 1 A e B, com  $V_j$  de  $4,2 \text{ ms}^{-1}$  e  $4,1 \text{ ms}^{-1}$  e  $Z_j$  de 500 m e 200 m. Jatos intermediários estão representados nos perfis das Figuras 1 F, G, H e I, com  $Z_j$  entre 220 e 660m. Os perfis de vento das Figuras 1 C, D, e E exemplificam jatos fortes, os quais apresentam características bem distintas: enquanto nos dois primeiros casos a altura  $Z_j$  está abaixo de 500 m, no último, a altura  $Z_j$  ocorre em 780 m e tem um valor de  $V_j$  de  $16,4 \text{ m/s}$ . É importante notar também a presença de mais de um máximo em muitos dos perfis amostrados, ficando mais evidente nas figuras 1 C, D, F e H.



**Figura 1.** Amostragem dos Perfis de velocidade do vento obtidos a partir de dados de radiossondagem, exemplificando casos de JBNs de diferentes intensidades.

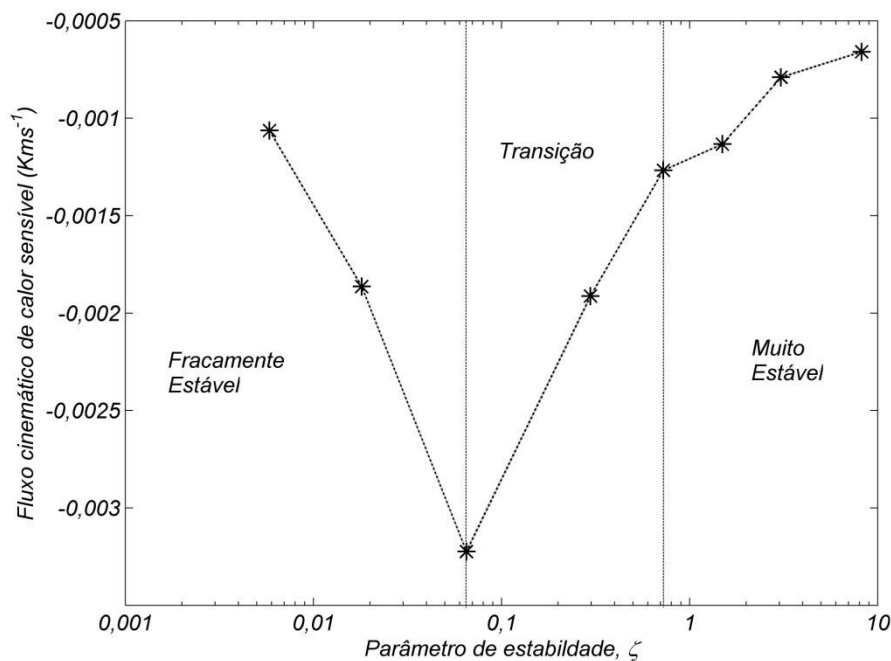


**Figura 2** Velocidade do núcleo do jato em relação à altura do núcleo do jato, para todos os casos de jatos identificados na FNS.

Apesar de JBNs de diferentes intensidades poderem ocorrer, *a priori*, em qualquer nível, houve uma boa relação (ou uma concordância) de jatos mais fracos ocorrerem em alturas menores e de jatos fortes estarem presentes em alturas mais elevadas. Cerca de 80% dos jatos fracos aconteceram em  $Z_j$  menor que 600 m, por outro lado, aproximadamente 67% dos jatos fortes apresentaram  $Z_j$  maior que 500 m. Para os jatos intermediários, estes tendem a apresentar um valor de  $Z_j$  maior à medida que  $V_j$  aumenta (Figura 2).

### 3.2. REGIMES DE ESTABILIDADE

Com intuito de verificar a relação entre estabilidade atmosférica à superfície e a ocorrência de JBNs de fracos e fortes, primeiramente buscou-se identificar os regimes de estabilidade atmosférica sob os quais a CLN da área de estudo se encontrava. Aqui, como em Mahrt (1998), três regimes foram estabelecidos (Figura 3), a saber: Fracamente Estável ( $\zeta \leq 0,065$ ); Transição ( $0,065 < \zeta \leq 0,73$ ); e Muito Estável ( $\zeta > 0,73$ ).



**Figura 3.** Parâmetro de estabilidade de Monin-Obukov em relação ao fluxo cinemático de calor sensível. As Linhas verticais tracejadas indicam limiares para cada regime de estabilidade.

No regime fracamente estável o fluxo cinemático de calor aumenta com o aumento  $\zeta$ . Segundo Mahrt (1998; 1999), isso acontece devido às amplificações nas flutuações da temperatura. Analisando o conjunto de dados, verificou-se que a partir de  $\zeta = 0,065$ , o fluxo

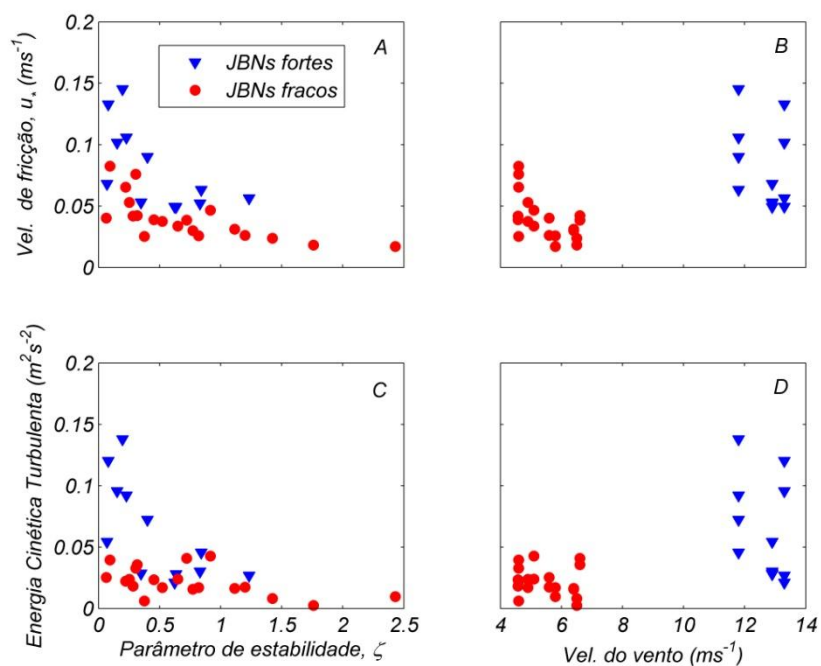


cinemático de calor decaiu. Inicialmente essa queda foi relativamente rápida, o que caracteriza o regime de Transição. No entanto, quando  $\zeta$  atingiu um valor igual a 0,73, o decaimento foi mais suavizado e o fluxo de calor muito pequeno quando comparado com seu máximo, uma vez que a estabilidade restringe a turbulência. Assim diz-se que se está em regime de estabilidade Muito Estável. Neste estudo a maioria dos períodos noturnos se encontraram no regime muito estável (aproximadamente 52%).

### 3.3. ESTABILIDADE E TURBULÊNCIA SOB A INFLUÊNCIA DE JBNs

#### 3.3.1. Características gerais

Karipot *et al.* (2008), estudando em floresta conífera na Flórida, Estados Unidos, utilizou o valor do Número de Richardson (Ri) como parâmetro de estabilidade e mostraram que a presença de JBNs fortes introduzem fraca estabilidade à superfície, enquanto que JBNs fracos resultam em condições atmosféricas de moderada a muito estáveis. Aqui um estudo similar foi feito, mas utilizando os regimes de estabilidade supracitados, definidos pelo parâmetro de estabilidade de Monin-Obukhov.



**Figura 4.** Dispersão do Parâmetro de Monin-Obukhov e velocidade do núcleo do jato em relação à velocidade de fricção (A e B, respectivamente) e Energia cinética Turbulenta (C e D, respectivamente) calculados para o período de 30 minutos.

Durante 10 eventos de JBNs fracos e 3 de JBNs fortes (Figuras 4 B e D), os valores de  $\zeta$ ,  $u_*$  e ECT foram avaliados. No caso de JBNs fracos, estas variáveis foram calculadas para o período de 1 hora, ou seja, durante os 30 minutos correspondente e posterior ao horário de lançamento da radiossonda, totalizando 20 períodos de 30 minutos. Já em relação aos JBNs fortes as mesmas variáveis foram calculadas de maneira semelhante aos casos de jatos fracos, mas para o período 2 horas, devido à baixa disponibilidade de dados de superfície para essa categoria de jato (Veja figura 4 B e D, em que o JBN forte de menor intensidade, apresenta 4 valores distintos de  $u_*$  e ECT ). As Figuras 4 A e C indicam que JBNs fortes estão relacionados com o regime de transição. Em 75% dos casos de jatos fortes, o parâmetro  $\zeta$  esteve abaixo de 0,73, por outro lado, não é possível observar qualquer relação entre JBNs fracos e algum regime de estabilidade. Em geral períodos noturnos no regime fracamente estável são raros na FNS, o que refletiu nessa análise, na qual em apenas um caso de JBN fraco, a atmosfera esteve neste regime de estabilidade.

Já em relação à turbulência, duas variáveis foram analisadas ( $u_*$  e ECT) e apresentaram comportamento mais ou menos semelhante (Figura 4). Tomando um limiar para velocidade de fricção ( $u_*$ ) igual a  $0,05 \text{ ms}^{-1}$ , é possível notar, que em 83% dos casos de JBNs fortes,  $u_*$  esteve acima deste valor, enquanto que em 80% dos casos de JBNs fracos ela esteve abaixo. Se o mesmo valor numérico for mantido como limiar para a Energia Cinética Turbulenta (ECT), 100% dos casos de fracos ocorrem abaixo deste limiar, contra 50% de casos de jatos fortes que acontecem acima de  $0,05 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ .

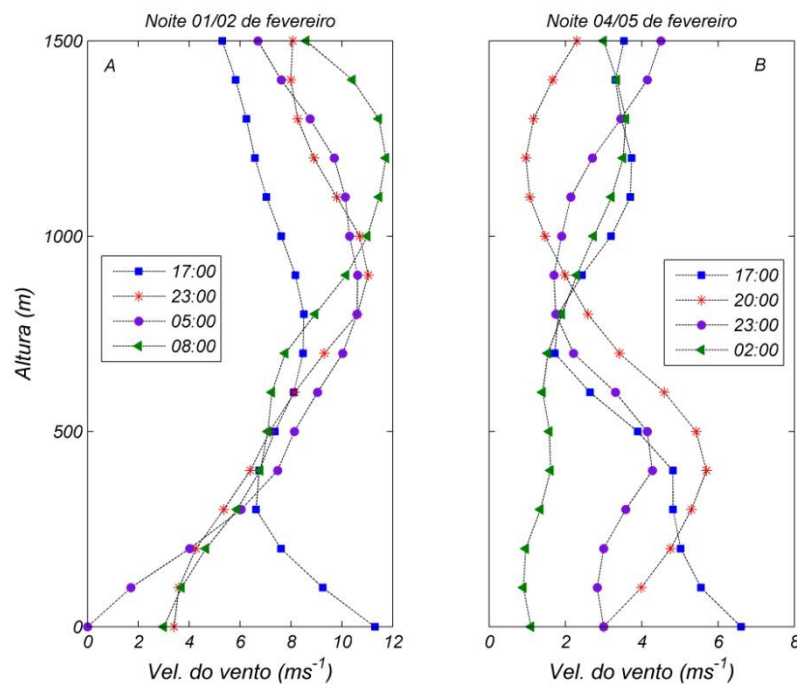
### 3.3.2. Estudo de caso

Para tentar entender melhor, como correntes de ar aceleradas que acontecem em níveis mais altos da atmosfera podem afetar medidas realizadas em superfície pelo sistema de covariância de vórtices turbulentos, foram escolhidas e analisadas a estrutura de duas noites, com JBNs de fraca e forte intensidade (Figura 5). O critério para escolha baseou-se unicamente na disponibilidade de dados, uma vez que a noite 01/02 de fevereiro foi a única onde JBNs fortes ocorreram e, simultaneamente, dados de superfície estavam completos. Arelado a isso, a outra noite foi escolhida por ser a aquela com atividade de JBN fraco mais próxima da anterior.

A Figura 5 mostra a evolução temporal de perfis verticais de velocidade do vento obtidos com dados de radiossondagem para as duas noites selecionadas. Na Figura 5 A apenas

os perfis de 23 e 05 horas se encaixaram nos critérios de JBNs fortes, no entanto, perfis de vento obtidos com balão cativo (não mostrado aqui) realizados em horários intercalados aos de radiossonda mostraram forte cisalhamento do vento durante toda a noite abaixo de 700 m (altura até onde o perfilamento foi realizado). Em contraposição, JBNs fracos e perfis sem jatos são observados na noite 04/05 de fevereiro.

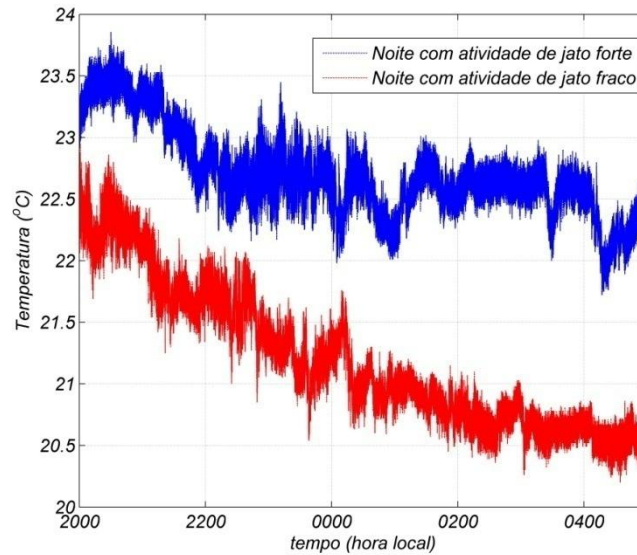
Comparando a evolução temporal da temperatura do ar em 6 m de altura das duas noites (Figura 6), diferenças significativas podem ser notadas. Tipicamente, a temperatura decai durante a noite, devido ao saldo de radiação negativo, todavia, a variação da temperatura entre 20 horas da noite e 05 da manhã ( $\Delta T$ ) é mais que o dobro maior, na noite com atividade de jato fraco ( $\Delta T = 1,81\text{ }^\circ\text{C}$ ) em relação àquela com jato forte ( $\Delta T = 0,67\text{ }^\circ\text{C}$ ). É importante destacar ainda, que no período de maior mistura turbulenta, entre 22 e 00 hora na noite 01/02 de fevereiro,  $\Delta T$  é aproximadamente zero, indicando que ar mais quente é transferido de camadas superiores para a superfície.



**Figura 5.** Evolução do perfil vertical da velocidade do vento para a noite 01/02 de fevereiro (A), onde ocorreram JBNs fortes, e para a noite 04/05 de fevereiro (B), na qual a velocidade do vento não ultrapassou  $7\text{ ms}^{-1}$ .

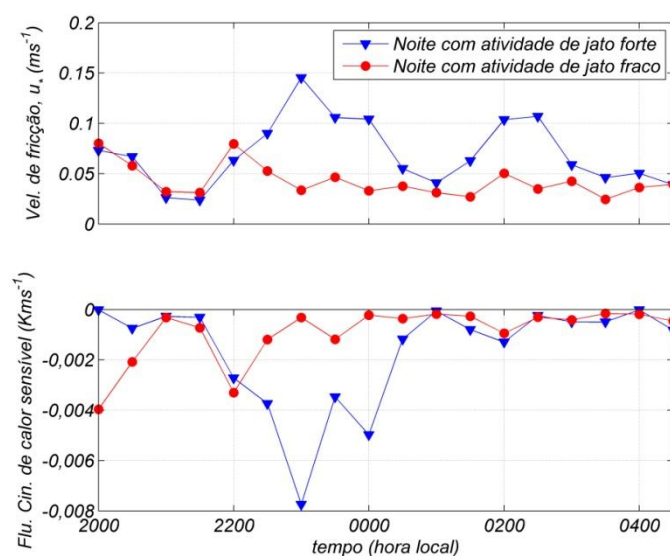
Como um resultado dessa mistura turbulenta e consequente aumento nas flutuações da temperatura, os maiores valores de fluxo cinemático de calor sensível são observados nesse

intervalo, quando comparados com o restante da noite e também com a noite em que ocorreram jatos fracos (Figura 7 B).



**Figura 6.** Evolução temporal noturna da temperatura do ar em 6 m para a noite com atividade jato forte (curva azul) e para a noite com atividade de jato fraco (curva vermelha).

A figura 7A mostra a comparação da evolução temporal de  $u_*$  durante as duas noites selecionadas para o estudo de caso. No período de 20 até 22 horas (horário local), as curvas apresentam um comportamento bem similar, entretanto após as 22 horas  $u_*$  se matem maior na noite com atividade de Jato forte até as 05 da manhã, com um pico às 23 horas.



**Figura 7.** Evolução temporal noturna da velocidade de fricção (A) e fluxo cinemático de calor sensível (B) para a noite com atividade de jato forte (triângulos sólidos) e para noite com atividade de jato forte (círculos sólidos).

## 4. DISCUSSÕES

### 4.1. JATOS DE BAIXOS NÍVEIS

Os JBNs são características comuns na atmosfera durante à noite, Karipot *et al* ( 2009) utilizando medidas de técnica de sensoriamento remoto (sodar) do perfil vertical do vento, durante 540 noites, encontraram JBNs em 62 % das noites estudadas. Este resultado está de acordo com aqueles encontrado neste trabalho, no que diz respeito à ocorrência de JBNs que, como era esperado, apresentou um percentual maior do aquele encontrado por Santos (2005) no valor de 20 %, uma vez que a autora não considerou JBNs com  $V_j$  e velocidade acima e abaixo do núcleo do Jato menor  $5 \text{ ms}^{-1}$  e  $1,5 \text{ ms}^{-1}$ , respectivamente.

Na Amazônia os JBNs vêm sendo documentados desde 1992 (Greco *et al.*, 1992), sempre tentando entender qual seria o mecanismo responsável pela formação do fenômeno. Oliveira e Fitzjarrald (1993) identificaram o fenômeno de Brisa de rio em uma área de floresta próximo a cidade de Manaus, sendo este um possível mecanismo para a formação de JBNs. Cohen *et al.*, (2006) mostraram que JBNs que ocorreram a leste do Pará, resultam de um fenômeno de “canalização” do escoamento a nordeste do Estado do Pará, havendo intensificação do vento quando a direção deste segue aquela dos grandes cursos d’água.

Os resultados apresentados na Figura 2 sugerem que JBNs fracos, com núcleo ( $Z_j$ ) mais próximo da inversão de superfície (em torno de 220 m, segundo Santos, 2005), aparecem provavelmente devido ao desacoplamento friccional do ar acima da inversão térmica (Blackadar, 1957). Já em relação a JBNs fortes, efeitos de meso e grande escala podem ser responsáveis pelo aparecimento dessa categoria de jato. Tal resultado está em consonância com o encontrado por Greco *et al.*, (1992) e Santos (2005).

### 4.2. REGIMES DE ESTABILIDADE

Obter informações a respeito do estado da CLA em condições de estabilidade não é uma tarefa fácil, dada a dificuldade de se fazer medições quando sinais atmosféricos são muito fracos. Mahrt (1999) idealizou a estrutura vertical da Camada Limite Estável em 5 camadas, variando de acordo com três regimes de estabilidade. À medida que estas camadas

vão se tornando mais estáveis, suas espessuras diminuem, aumentando deste modo ainda mais sua complexidade.

Kariopot et al., (2008) nomearam condições atmosféricas como fracamente estável, se o Número de Richardson (Ri) foi menor que 0,2, e moderada a muito estável, com Ri na faixa de 0,18 a 1,6. Porém tais limiares foram definidos de maneira quase arbitrária, se baseando apenas na ocorrência de JBNs fracos e fortes. Neste trabalho três regimes de estabilidade foram estabelecidos de acordo com Mahrt (1998), para estudar o que acontece com o fluxo de cinemático de calor sensível à medida que a estabilidade aumenta.

Os limiares aqui definidos se mostraram bastante próximos daqueles apresentados pelos autores supracitados. Principalmente no que diz respeito à passagem do regime muito estável para o de transição, em que os resultados foram iguais aos encontrados por Mahrt, 1998 ( $\zeta = 0,06$ ). No entanto, eles divergem dos encontrados por Santos (2005), talvez devido à forma de como o fluxo de cinemático de calor e parâmetro de estabilidade Monin-Obukhov foram calculados, utilizando médias tradicionais de 30 minutos.

#### 4.3. ESTABILIDADE E TURBULÊNCIA SOB A INFLUÊNCIA DE JBNS

Fitzjarrald e Moore (1990), estudando possíveis mecanismos que podem promover mistura turbulenta entre a floresta Amazônica e a atmosfera à noite, encontraram significantes trocas mesmo em condições de céu claro, concluindo assim que outros mecanismo poderiam ser capazes de acoplar esses dois ambientes. Os resultados encontrados nesta pesquisa parecem corroborar tais afirmações, e sugerem que a presença JBNs pode influenciar tanto a estrutura da turbulência quanto estabilidade à superfície, embora esta última não esteja tão claramente relacionada.

Os valores relativamente maiores de  $u_*$  e ECT observados durante eventos de JBNs fortes indicam que a turbulência pode estar sendo gerada em níveis mais altos da atmosfera e em seguida transportada para baixo, influenciando assim as medidas realizadas em superfície. Mahrt (1999) afirma que esse tipo de comportamento não é esperado para uma Camada Limite como tradicionalmente se conhece, em vez disso pode-se dizer que está presente uma Camada Limite Invertida (CLI), em que a principal fonte de turbulência está próximo ao topo da camada e não na superfície. A presença dessa CLI, também foram encontrados em regiões extratropicais por Banta *et al.* (2002), Karipot *et al.* (2008) e Duarte *et al.* (2012).

A injeção de turbulência de níveis mais altos da atmosfera para a superfície, no sítio experimental aqui estudado, aparentemente se manifesta de maneira intermitente, por meio de explosões turbulentas. Isso pode ser verificado nos resultados apresentados como estudo de caso, em que um período de maior mistura foi observado na noite com atividade de jato forte, que resultou em altos valores de fluxo cinemático de calor sensível. Além disso, a presença de uma Camada Limite Invertida é ainda mais enfatizada, quando se aprecia os resultados apresentados na Figura 6, mostrando que o desacoplamento da CLN foi menor na noite com atividade de JBN forte do que naquela com JBN fraco e, indicando que ar mais quente pode ter sido injetado de camadas superiores da atmosfera para a superfície.

Embora a teoria de Blindagem por Cisalhamento não tenha sido avaliada diretamente, como em Smedman *et al.* (2004), Prabha *et al.* (2008) e Duarte *et al.* (2012), os resultados sugerem que tal mecanismo não está presente na FNS, uma vez que mais mistura turbulenta foi observada em superfície, mesmo com a intensificação dos JBNs. Este resultado reforça o argumento de Duarte *et al.* (2012), que acreditam que o mecanismo de Blindagem por Cisalhamento não se aplica em estudos envolvendo trocas de energia e massa entre a superfície e a atmosfera.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho JBNs foram identificados em 60% dos perfis de vento analisados, dos quais 53% considerou-se de intensidade fraca e 15% como intensidade forte. Os JBNs Fracos provavelmente aparecem devido ao desacoplamento entre o escoamento atmosférico e a superfície, por outro lado, JBNs Fortes parecem estar ligados a efeitos de grande e meso escala.

Três regimes de estabilidade atmosférica foram estabelecidos para a CLN da área de estudo: Fracamente Estável ( $\zeta \leq 0,065$ ); Transição ( $0,065 < \zeta \leq 0,73$ ); e Muito Estável. Sendo este último o regime dominante nos períodos noturnos estudados.

A presença JBNs pode influenciar tanto a estrutura da turbulência quanto estabilidade atmosférica à superfície. Os resultados sugerem o aparecimento de uma Camada Limite Invertida durante eventos de jatos fortes, injetando turbulência, por meio de explosões, de maneira intermitente para a superfície.

As análises realizadas neste trabalho, com o conjunto de dados utilizados, poderia ser enriquecida se o desenho experimental da coleta das observações fosse mais voltado para este tipo de estudo (ou seja, estudos em microescala, no âmbito da Camada Limite Noturna). As limitações na disponibilidade de dados e a falta de uma melhor resolução na evolução temporal da velocidade do vento podem ter influenciado as análises e as conclusões alcançadas. Assim medidas da evolução temporal velocidade do vento realizadas por meio de SODAR, ou mesmo com Balão Cativo com uma maior amostragem, devem ser feitas em trabalhos futuros, visando aumentar o conhecimento da ocorrência de JBNs na Amazônia.

## 6. AGRADECIMENTOS

Esta Pesquisa foi financiada por meio de bolsa de mestrado concedida pelo CNPq, processo nº 133428/2011-7, através do programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente INPA/UEA. Os autores agradecem ao Programa LBA pelos dados concedidos e a UEA pelo apoio logístico.

## 7. REFERÊNCIAS

Andreas, E. L.; Claffey, K. J.; Makshtas, A. 2000. Low-level atmospheric jets and inversions over the western Weddell Sea. *Boundary-Layer Meteorology*, 97: 459-486.

Arya, S. P. Introduction to micrometeorology. 2001. 2da ed. San Diego, California, 2001, 307p.

Banta, R. M.; Newsom, R. K.; Lundquist, J. K.; Pichugina, Y. L.; Coulter, R. L.; Mahrt, L. 2002. Nocturnal low-level jet characteristics over Kansas during CASES-99. *Boundary-Layer Meteorology*, 105: 221-252.

Banta, R.M; Pichungina Y,L, Newsom R, K. 2003. Relationships between low-level jet properties and turbulence kinetic energy in the nocturnal stable boundary Layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 60: 2549-2555.



- Banta, R. M.; Pichugina, Y. L.; Brewer, W. A. 2006. Turbulent Velocity-Variance Profiles in the Stable Boundary Layer Generated by a Nocturnal Low-Level Jet. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 63: 2700-2719.
- Blackadar, A. K. 1957. Boundary Layer Wind Maxima and their Significance for the Growth of Nocturnal Inversions. *Bulletin American Meteorological Society*, 38: 283-290.
- Cohen, J. C. P.; Sá, L. D. A.; Nogueira, D. S.; Gandu, A. W. 2006. Jatos de baixos níveis acima da floresta amazônica em Caxiuanã. *Revista brasileira de meteorologia*, 21: 271-282.
- Dias Júnior, C. Q. 2008. Estudo Comparativo da Estrutura da Turbulência Atmosférica na Camada Limite Superficial Acima da Floresta Primária e Região Desmatada da Amazônia: análise de ondeletas aplicada à detecção de estruturas coerentes. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará/Museu Paraense Emílio Goeldi/Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará. 103p.
- Duarte, H. F.; Leclerc, M. Y.; Zhang, G. 2012. Assessing the shear-sheltering theory applied to low-level jets in the nocturnal stable boundary layer. *Theoretical and Applied Climatology*, 110: 359-371.
- Fisch, G. 1995. Camada limite amazônica: aspectos observacionais e de modelagem. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo. 171p.
- Fitzjarrald, D. R.; Moore, K. E. 1990. Mechanisms of nocturnal exchange between the rain forest and the atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 95: 16839-16850.
- Greco, S.; Ulansky, S.; Garstang, M.; Houston, S. 1992. Low level nocturnal wind maximum over the Central Amazonian Basin. *Boundary-Layer Meteorology*, 58: 91-115.
- Hunt, J. C. R.; Durbin, P. A. 1999. Perturbed vortical layers and shear sheltering. *Fluid Dynamics Research*, 24: 375-404.
- Karipot, A.; Leclerc, M. Y.; Zhang, G.; Martin, T.; Starr, G.; Hollinger, D.; Mccaughey, J. H.; Hendrey, G. R. 2006. Nocturnal CO<sub>2</sub> exchange over a tall forest canopy associated with intermittent low-level jet activity. *Theoretical and Applied Climatology*, 85: 243-248.

- Karipot, A.; Leclerc, M. Y.; Zhang, G.; Keith, F. L.; Nagy, J. J. H.; Hendrey, G. R. .; Starr, G. 2008. Influence of nocturnal low-level jet on turbulence structure e CO<sub>2</sub> flux measurements over a forest canopy. *Journal of geophysical research*, v113: 1-12.
- Karipot, A.; Leclerc, M. Y.; Zhang, G. 2009. Characteristics of Nocturnal Low-Level Jets Observed in the North Florida Area. *American Meteorological Society*, 137: 2605-2621.
- Longo, M.; Albrecht, R. I.; Machado, L. A. T.; Fisch, G.; Silva Dias, M. A. F. 2002. Controle de qualidade dos dados de radiossondagem da Campanha WET-AMC/LBA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17: 243-253.
- Mahrt, L. 1985. Vertical Structure and Turbulence in the Very Stable Boundary Layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 42: 2333–2349.
- Mahrt, L.; Sun, J.; Blumen, W.; Delany, T.; Oncley, S. Nocturnal boundary-layer regimes. 1998. *Boundary-Layer Meteorology*, 88: 255-278.
- Mahrt, L. 1999. Stratified atmospheric boundary layers. *Boundary-Layer Meteorology*, 90: 375-396.
- Nogueira, D, S. 2008. Aspectos observacionais e numéricos da interação floresta-atmosfera na Amazônia Oriental: fenômenos turbulentos noturnos, dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará/Museu Paraense Emílio Goeldi/Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará. 141p.
- Oliveira, A. P.; Fitzjarrald, D. R. 1993. The Amazon River breeze and the local boundary layer I: observations. *Boundary-Layer Meteorology*, 63: 141-162.
- Prabha, T. V.; Leclerc, M. Y.; Karipot, A.; Hollinger, D. Y.; Murschradlgruber, E. 2008. Influence of Nocturnal Low-level Jets on Eddy-covariance Fluxes over a Tall Forest Canopy. *Boundary-Layer Meteorology*, 126: 219-236.
- Raupach, M. R. Finnigan J. J; Brunet, Y. 1996. Coherent eddies and turbulence in vegetation canopies: The mixing-layer analogy. *Boundary-Layer Meteorology*, 78: 351-382.
- Santos, R. M. N. 2005. Estudos da camada limite noturna na Amazônia. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo. 177 p.

Santos, R. M. N.; Fisch, G.; Dolman, A. J; Waterloo, M. 2007. Modelagem da camada limite noturna (CLN) durante a época úmida na Amazônia, sob diferentes condições de desenvolvimento. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22: 387-407.

Smedman, A. S.; Högström, U.; Hunt, J. C. R. 2004. Effects of shear sheltering in a stable atmospheric boundary layer with strong shear. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 130: 31-50.

Stull, R. B. 1988. An introduction to boundary layer meteorology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988, 666p.

Vickers, D.; Mahrt, L., 2003. The cospectral gap and turbulent flux calculations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* . 20: 660-672.

## 8. CONCLUSÕES

Neste trabalho JBNs foram identificados em 60% dos perfis de vento analisados, dos quais 53% considerou-se fracos e 15% fortes. Jatos Fracos provavelmente aparecem devido ao desacoplamento entre o escoamento atmosférico e a superfície, por outro lado, Jatos Fortes parecem estar ligados a efeitos de grande e meso escala.

Três regimes de estabilidade foram estabelecidos para a CLN da área de estudo: Fracamente Estável ( $\zeta \leq 0,065$ ); Transição ( $0,065 < \zeta \leq 0,73$ ); e Muito Estável. Sendo este último o regime dominante nos períodos noturnos estudados.

A presença JBNs pode influenciar tanto a estrutura da turbulência quanto estabilidade à superfície. Os resultados sugerem o aparecimento de uma Camada Limite Invertida durante eventos de jatos fortes, injetando turbulência, por meio de explosões, de maneira intermitente para a superfície.

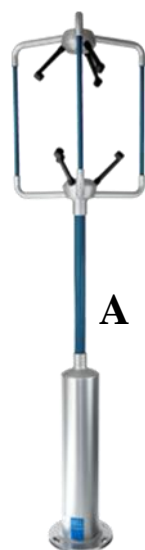
As análises realizadas neste trabalho, com o conjunto de dados utilizados, poderia ser enriquecida se o desenho experimental fosse mais voltado para este tipo de estudo (ou seja, estudos em microescala, no âmbito da Camada Limite Noturna). Limitações na disponibilidade de dados e falta de uma melhor resolução na evolução temporal da velocidade do vento, podem ter influenciado de alguma forma os resultados. Assim medidas da evolução temporal velocidade do vento realizadas por meio de SODAR, ou mesmo com Balão Cativo com uma maior amostragem, seriam indicadas para trabalhos futuros.

## 9. APÊNDICE

Este apêndice foi criado com o objetivo de exemplificar, por meio de figuras, algumas partes citadas no texto da dissertação, mas que não foram acrescentadas devido a Acta Amazônica permitir um número máximo de 7 figuras. A seguir estão dispostas figuras a respeito da área de estudo, instrumentação, limpeza de dados e critério de classificação de Jatos de Baixos Níveis, descritas de acordo com a legenda e enumeradas seguindo a sequência do artigo.



**Figura 8.** Visão panorâmica da Fazenda Nossa Senhora, mostrando a torre micrometeorológica e a cobertura vegetal. (fonte: disponível em <[http://www.lba.iag.usp.br/wetamc/fotos/a\\_abracos01.html](http://www.lba.iag.usp.br/wetamc/fotos/a_abracos01.html)>).

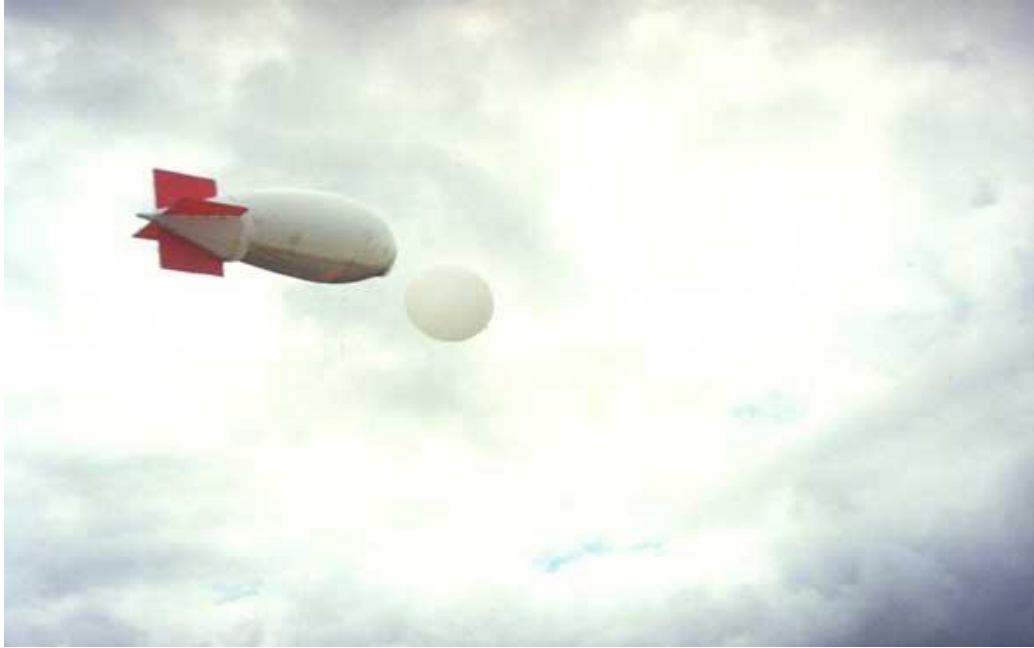


**A**

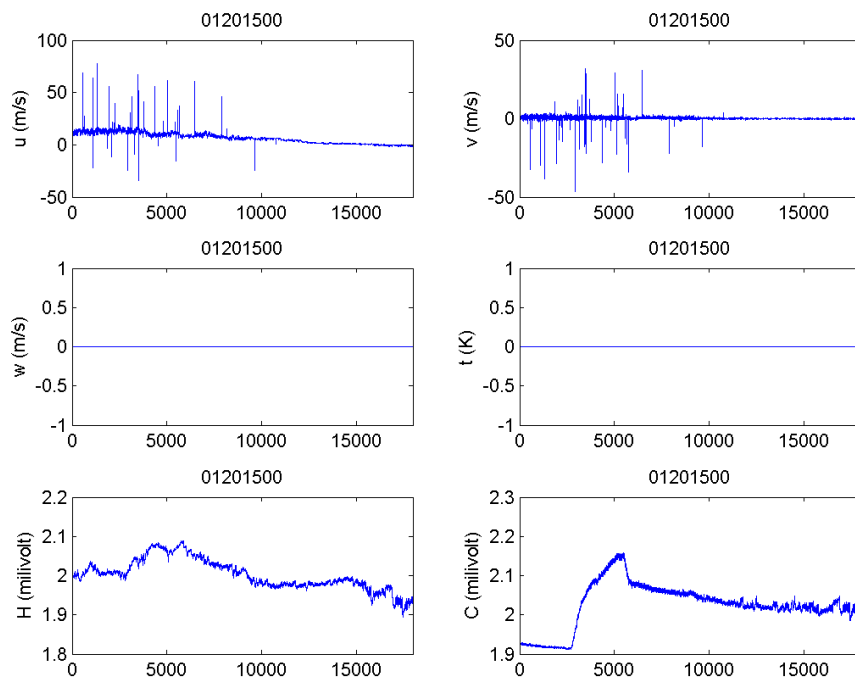


**B**

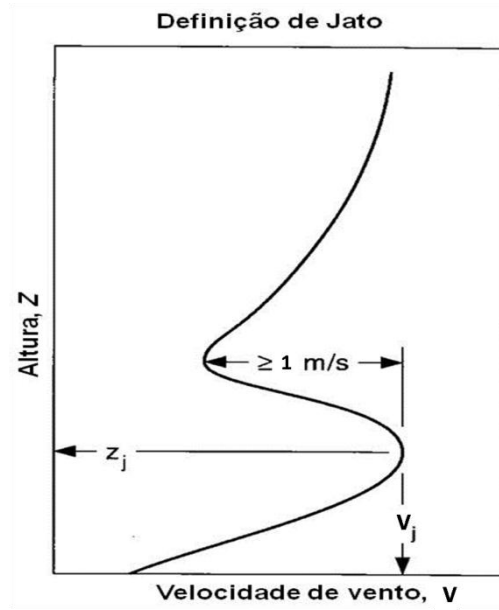
**Figura 9.** Anemômetro sônico tridimensional Gill (A) e um analisador infravermelho de gás LI-6262 IRGA (“Infrared Gas Analyser”, B).



**Figura 10.** Fotografia ilustrando o lançamento de balão cativo e radiossonda na FNS. (fonte: disponível em <[http://www.lba.iag.usp.br/wetamc/fotos/a\\_abracos03.html](http://www.lba.iag.usp.br/wetamc/fotos/a_abracos03.html)>).



**Figura 11.** Exemplos de Arquivos de dados de 30 min obtidos a partir do sistema de covariância de vórtices turbulentos que foram excluídos, seja por falha no sistema elétrico ou picos irreais.



**Figura 12.** Parâmetros de JBNs:  $Z_j$  é a altura do jato; e  $V_j$  é a velocidade do vento do núcleo do jato. A figura ilustra os critérios de seleção dos perfis de ventos que apresentaram Jatos de Baixos Níveis.