

Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Análise do perfil vertical do Vento no Centro de Lançamento de Alcântara com uso de Análise de Componentes Principais

Bolsista: Paola do Nascimento Silva

Orientador(a): Cleber Souza Corrêa

Período a que se refere o relatório: Fevereiro de 2018 a Julho de 2018

Resumo

O objetivo deste projeto é fazer uma análise do comportamento do perfil vertical do vento no CLA, utilizando dados de radiossondagem realizadas no mesmo e, através da estatística multivariada de ACP, verificar se há presença de fluxos no perfil vertical do vento, estes fluxos podem caracterizar circulações locais como brisa e regionalmente estarem associados com circulações ao nível de mesoescala sinótica, como os JBN. Os JBN podem variar grandemente de escalas espaciais de dezena de metros de altura até estarem influenciando e associados a escalas continentais, com ventos apresentando altas velocidades abaixo de um ou dois quilômetros e com extensão horizontal de aproximadamente 500 km. Através de dados obtidos na estação meteorológica de Alcântara, foi possível compreender qual a quantidade média de nuvens no céu e o acumulado de precipitação para cada uma das cinco componentes principal. Os resultados apresentaram ocorrências de JBN apenas durante a noite, sendo eles classificados como JBN-Fraco e JBN-0 e, os maiores valores de velocidade do vento próximo a superfície foram registrados durante o dia. A quarta componente foi a que apresentou maior acumulado de precipitação e, para todas as componentes a quantidade de nuvens no céu variou, em média, de 3 a 5 oitavos.

1. Introdução

A região de interesse para o estudo é o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), localizado no município de Alcântara e, está a 2° 24' S de latitude e 44° 25' O de longitude, no estado do Maranhão, onde o clima predominante é o tropical úmido. O município de Alcântara possui características típicas, com uma região de superfície lisa (oceano) próximo a

uma superfície rugosa (continente). O relevo local lembra um degrau, pois o continente encontra uma relativa variação topográfica (falésia) com grande inclinação e altura de aproximadamente 50 m, sendo o topo uma região relativamente plana. Próximo a esta falésia, a uma distância da borda de 150 m, encontra-se a rampa de lançamento de foguetes do CLA (ROBALLO E FISCH, 2008) [1]. O CLA situa-se próximo ao Equador e recebe forte influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); das Linhas de Instabilidade da Costa Amazônica; dos ventos alísios; de contrastes térmicos locais entre o mar adjacente e o continente, caracterizado por forte presença da brisa marítima; entre outros fenômenos, que normalmente ou esporadicamente estão presentes sobre esta área (PEREIRA *et al.*, 2002) [2]. É necessário que se entenda o comportamento climatológico da região para que as realizações dos lançamentos de foguetes no CLA sejam seguras, evitando-se desta forma acidentes e prejuízos. Portanto é muito importante conhecer as diferentes escalas físicas que podem ser observadas no perfil vertical do vento próximo a superfície pois, neste perfil podem ser registrados diferentes estruturas que caracterizam uma dinâmica complexa, influenciando o comportamento resultante do vento próximo da superfície. Neste aspecto podem ser citados circulações do tipo brisa marítima e fluxos no perfil vertical e, os perfis podem ter características de fluxos com vento máximo ou até podem ocorrer algumas oscilações inerciais no campo do vento que, adicionadas ao mecanismo de desacoplamento da Camada Limite Planetária, estável e noturna, geram Jatos de Baixos Níveis (JBN). Os JBN são sistemas de vento com altas velocidades abaixo de um ou dois quilômetros, com uma extensão horizontal de aproximadamente de 500 km, dimensão comum de escala sub-sinótica e mesoescala (MARENGO E SOARES, 2002) [3]. Segundo Ferreira e Calbete (2002) [4], os JBN correspondem a um processo eficiente de transporte de calor e umidade das regiões tropicais para os extratropicais, tendo como consequência formação ou intensificação de tempestades severas. Estes eventos podem acontecer durante todo ano, porém são detectadas com maior frequência entre os meses de dezembro a fevereiro (MARENGO E SOARES, 2002) [3].

Em relação a climatologia do regime de precipitação no CLA, segundo Pereira *et al.* (2002) [2], a estação chuvosa ocorre entre janeiro e junho e, a estação seca entre julho e dezembro. Os maiores valores são registrados nos meses de março e abril, já os mínimos ocorrem entre setembro e novembro. Nos meses chuvosos a cobertura média de nuvens é maior e os ventos menos intensos.



Desta forma, o objetivo deste projeto é analisar o perfil vertical do vento e determinar se existem JBN através de Análise de Componentes Principais (ACP) e, verificar se a ocorrência da mesma é maior no período diurno ou noturno. Além disso, tem como objetivo também verificar a quantidade de precipitação e a média da cobertura de nuvem no céu, por componente, no período de estudo para a região. Tal análise é interessante para que se obtenha uma maior compreensão do comportamento do vento ao se fazer os lançamentos de foguetes no CLA.

2. Materiais e Métodos

Para dar início ao presente projeto foi realizado a observação do perfil vertical do vento com radiossondagens em alta resolução no período de 01 de julho a 30 de novembro de 2014. Este período de estudo foi utilizado por ter uma observação contínua, com 153 dias. Foram gerados arquivos diurno e noturno, que eram compostos por uma matriz de 3 colunas, sendo elas de altura, direção e intensidade do vento. Os arquivos, do tipo (.prn), foram utilizados para se realizar uma análise composta da estatística multivariada de ACP, através do software GENSTAT. A ACP supõe que uma variável randômica X_1, \dots, X_p de interesse tem uma determinada distribuição multivariada, com um vetor médio μ e matriz variância-covariância S . O q é o maior número de raízes características de S , que são todas independentes. A matriz variância-covariância S e o vetor X são de mesma ordem. Os coeficientes a_{ij} são elementos de um autovetor da matriz variância-covariância S , correspondendo ao maior número de raízes de S , e seus autovalores, são menores em número que as p variáveis (CORRÊA et al., 2007) [5]. A principal característica das n -componentes principais geradas pelas n -variáveis, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante (NETO E MOITA, 1998) [6].

Realizou-se a análise com 5 componentes principais e, foi utilizado a matriz de autovalores na caracterização da ocorrência de cada componente na série temporal. Desta forma, foi possível selecionar a componente que obteve o maior valor em modulo para cada observação no período diurno e noturno. Para cada uma dessas componentes foi gerado dois gráficos, um diurno e um noturno, com a média de todas as observações selecionadas por componente e,

através desses gráficos foi possível fazer análises a respeito da velocidade e direção do vento em suas diferentes alturas.

Para a análise de precipitação e cobertura total de nuvem no céu, em oitavos, de cada componente, utilizou-se dados obtidos da estação meteorológica de Alcântara. Estes dados estavam disponíveis em intervalos de 1 hora e, foi utilizado apenas para os horários de 9-15 UTC, com exceção das 12 UTC. Os dias referentes ao período de estudo foi separado por componente e, no caso da precipitação, acumulou-se todos os valores para cada componente. Já para os dados de cobertura de nuvem, foi feito uma média entre os dias. Desta forma, foi possível obter-se uma tabela com os resultados da precipitação total por componente e a fração do céu que se encontrava encoberta por nuvens.

3. Resultados

A tabela 1 apresenta a porcentagem das componentes principais e a variância explicada pela ACP para a direção e velocidade diurno e noturno, no período de 01 de julho a 30 de novembro de 2014.

Tabela 1 – Análise de componentes principais da direção e velocidade do vento no CLA

	COMPONENTES					VARIÂNCIA
	1°	2°	3°	4°	5°	EXPLICADA
Direção Diurno	41.86	37.01	9.22	5.58	3.60	97,27
Direção Noturno	82.66	10.02	3.35	1.29	0.84	98,16
Velocidade Diurno	81.93	9.17	3.62	2.35	1.47	98,54
Velocidade Noturno	41.41	31.51	14.16	4.97	2.56	94,61

A tabela 2 será utilizada para a classificação da intensidade dos JBN encontrados nas componentes da ACP. Segundo Corrêa et al. (2001) [7], dois critérios são usados nessa classificação e ambos devem ser satisfeitos simultaneamente: um especifica o valor máximo da velocidade do vento e o outro especifica a diminuição do valor da velocidade do vento acima do seu núcleo máximo até atingir a velocidade de valor mínimo.

Tabela 2 – Categorias de classificação dos JBN

JBN Categoria	Definição	
	Vento máx. (m/s)	Cizalhamento (m/s)
JBN Fraco	> 6	≥ 5
JBN-0	≥ 10	≥ 5
JBN-1	≥ 12	≥ 6
JBN-2	≥ 16	≥ 8
JBN-3	≥ 20	≥ 10

Adaptado de: Corrêa et al. (2001)

A tabela 3 apresenta a média do total da cobertura de nuvens no céu e o acumulado de precipitação para cada componente principal da ACP. Esta tabela será utilizada para identificar a quantidade de nuvens presente no céu durante o dia e, se houve precipitação em cada componente do período estudado.

Tabela 3 – Cobertura de nuvens no céu e total de precipitação por componente principal

Componentes	Cobertura de nuvens (em oitavos)						Precipitação (mm)
	9 (UTC)	10 (UTC)	11 (UTC)	13 (UTC)	14 (UTC)	15 (UTC)	
Componente 1	5	5	4	3	3	3	0
Componente 2	5	5	5	4	3	3	0
Componente 3	5	5	4	3	3	3	0.2
Componente 4	4	4	4	3	3	3	5.4
Componente 5	5	5	4	4	3	3	0.2

As figuras 1 e 2 apresentam o perfil vertical do vento da componente principal 1 para o período diurno e noturno, respectivamente. Em ambos os perfis pode se observar a presença de fluxos no perfil do vento, porém, na Figura 2 observa-se a existência de JBN-0, com magnitude maior que 10 ms^{-1} e cisalhamento da ordem de 5 ms^{-1} e, está localizado na altura de 800 m com direção média da ordem de 60 a 70 graus. Na figura 1 há ocorrência de vento máximo na altura de 1000 m, com magnitude da ordem de 13 ms^{-1} e direção média de 90 graus. Comparando as duas figuras, pode-se notar que há uma diferença na direção entre o dia e a noite, no caso da noite há um desvio para o norte, sendo possivelmente uma influência

da circulação de brisa oceano/continente. Para essa primeira componente, de acordo com a tabela 3, não houve ocorrência de precipitação e, a fração do céu que se encontrava encoberta por nuvens variou de 3 a 5 oitavos entre as 9-15 UTC, que corresponde das 6 às 12 horário local (HL).

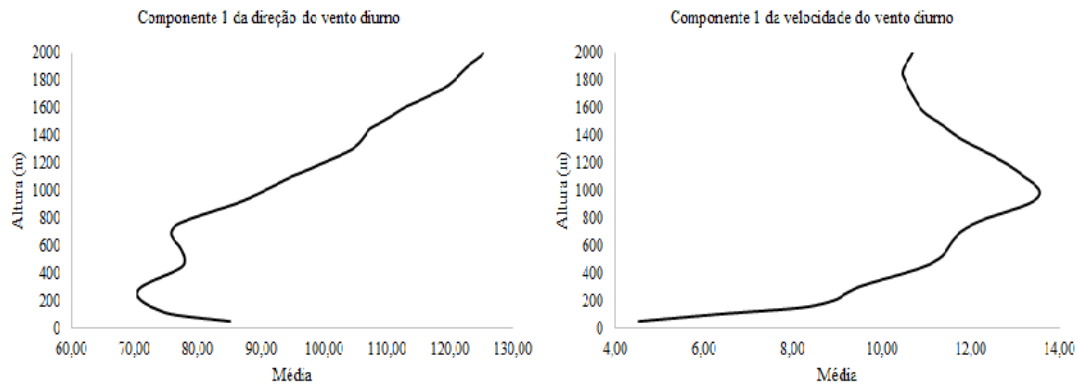


Figura 1 – Direção e velocidade do vento médio diurno da 1^o componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014

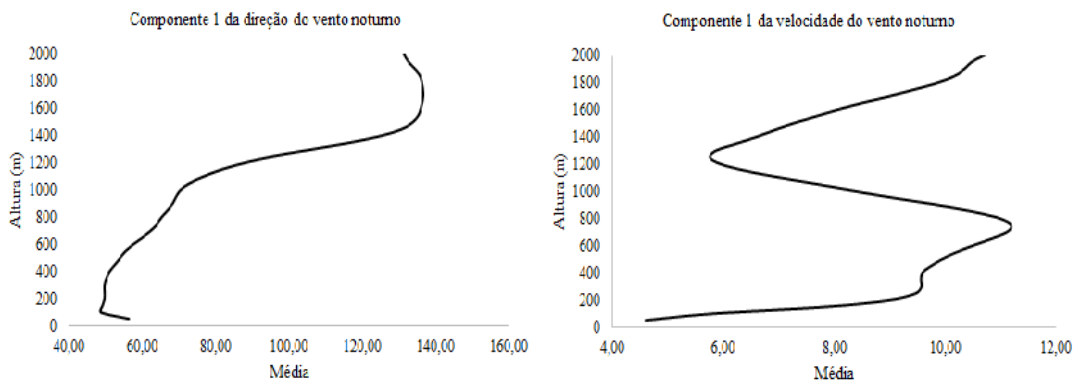


Figura 2 – Direção e velocidade do vento médio noturno da 1^o componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014

A figura 3 corresponde ao perfil vertical do vento diurno da componente 2 e é caracterizado pela ausência de JBN. Durante o dia a velocidade do vento foi menor na superfície e, a partir de 200 m de altitude oscilava entre 10 ms^{-1} e 12 ms^{-1} . Ainda no período diurno desta componente, observou-se através da tabela 3 que, entre as 9-15 UTC (6-12 HL), a média da quantidade de nuvens que variou no céu foi de 3 a 5 oitavos e não houve ocorrência de precipitação. Na figura 4, que corresponde ao período noturno, o perfil vertical do vento apresentou a existência de um JBN-Fraco a 400 m de altitude, tendo sua magnitude de aproximadamente 9 ms^{-1} e cisalhamento da ordem de 4 ms^{-1} , a direção média é da ordem de

40 a 50 graus. A primeira e segunda componente do perfil vertical do vento noturno são responsáveis por 70% da variância total explicada e, se caracterizam pela existência de JBN do tipo JBN-0 e JBN-1.

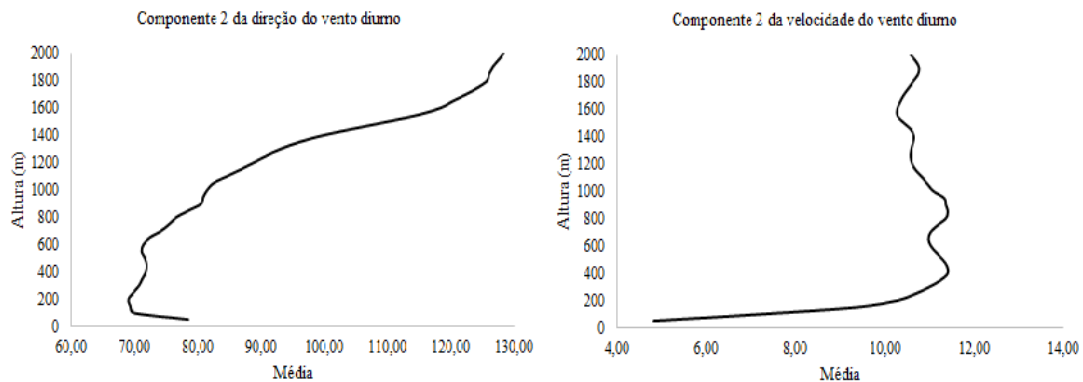


Figura 3 – Direção e velocidade do vento médio diurno da 2ª componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014

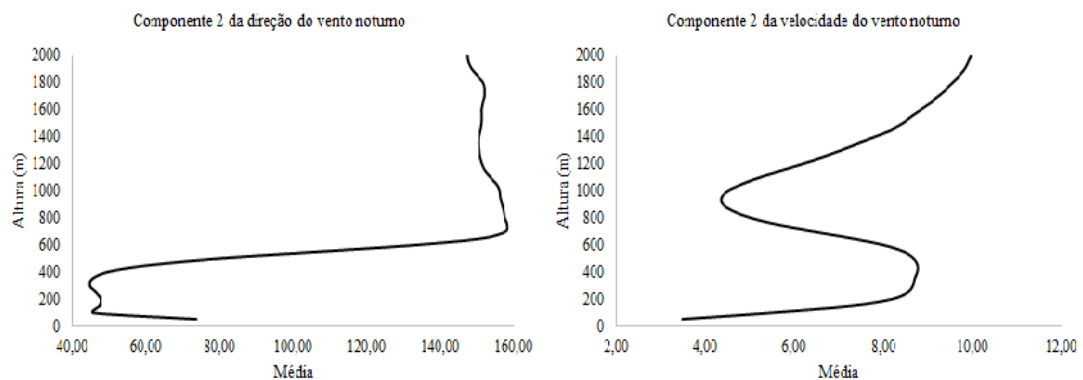


Figura 4 – Direção e velocidade do vento médio noturno da 2ª componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014

Os perfis verticais do vento diurno e noturno da terceira componente estão representadas nas figuras 5 e 6. Na figura 5 é possível observar um fluxo de vento máximo na altura de 900 m, já na figura 6 há existência de um JBN do tipo JBN-0 na altura de 200 m, tendo uma direção média da ordem de 50 a 60 graus e uma porcentagem de variância total da ordem de 14% do período analisado. De acordo com a tabela 3, para esta componente foi registrado um acumulado de precipitação de 0,2 mm e, a média da cobertura de nuvens para o horário de 9-15 UTC variou de 3 a 5 oitavos.

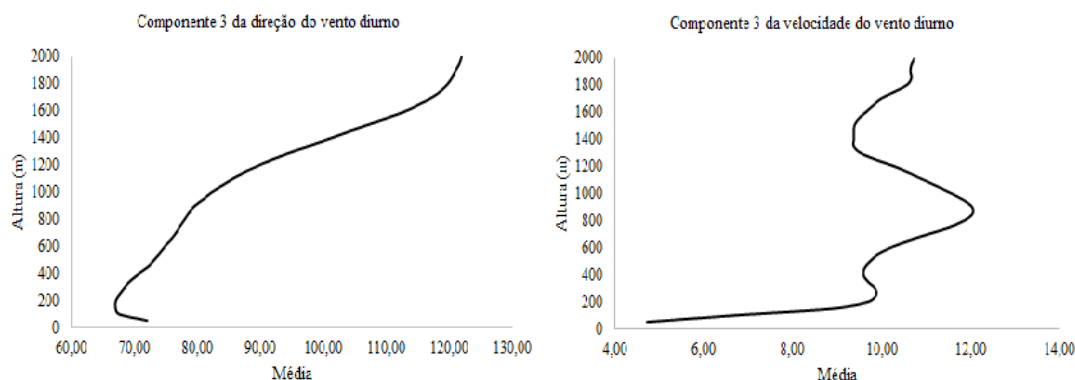


Figura 5 – Direção e velocidade do vento médio diurno da 3^o componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014

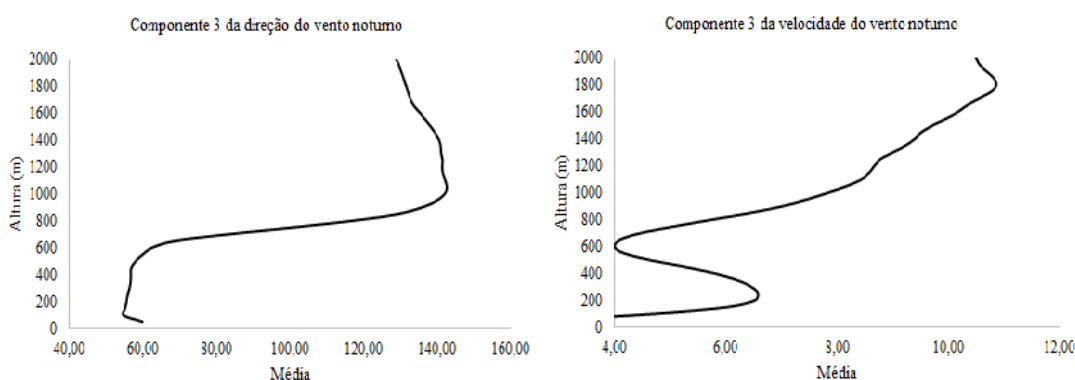


Figura 6 – Direção e velocidade do vento médio noturno da 3^o componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014

As figuras 7 e 8 correspondem a componente principal 4. Nesta, há ocorrência de fluxo durante o dia e, este se encontra a 700 m. Já durante a noite há presença de JBN em 800 m, sendo classificado como JBN-0. Acima de 1200 m as maiores velocidades do vento registradas ocorreram durante o período diurno. Esta componente explica a variância total na ordem de 4 a 5%. Durante o período de estudo, para esta componente, registrou-se um acumulado de precipitação de 5,4 mm, sendo este o maior valor, já com relação a cobertura de nuvens no céu, encontrou-se que a sua média variou de 3 a 4 oitavos.

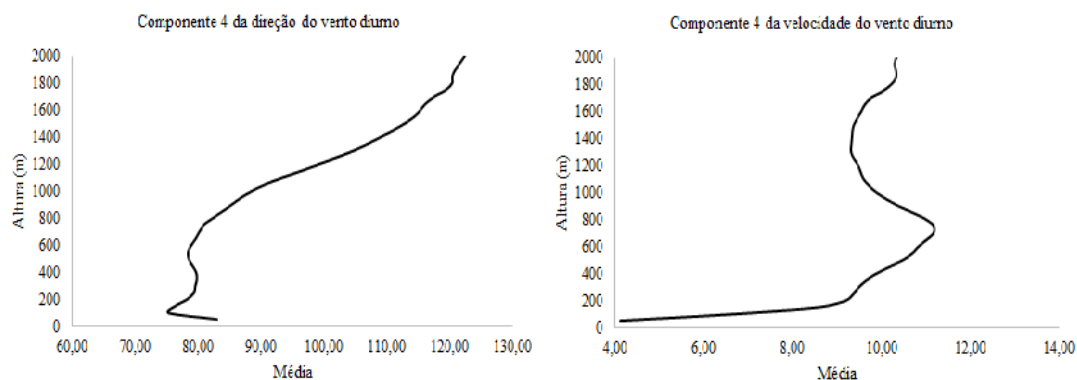


Figura 7 – Direção e velocidade do vento médio diurno da 4ª componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014

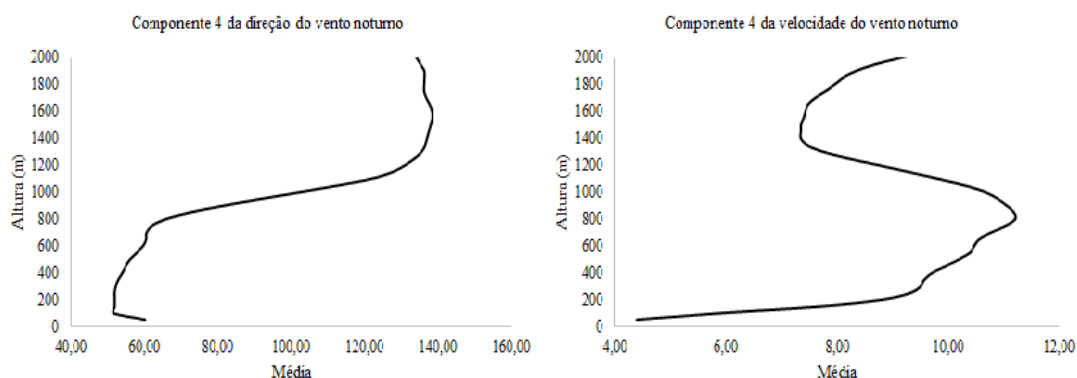


Figura 8 – Direção e velocidade do vento médio noturno da 4ª componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014

A quinta componente da ACP é representada pelas figuras 9 e 10. Para o perfil vertical do vento diurno é notável a ausência de JBN e, a velocidade do vento em superfície é maior do que em 100 m. Com relação a média da cobertura de nuvem no céu e a precipitação para os horários entre 9 e 15 UTC (6-12 HL), de acordo com a tabela 3, encontrou-se que a quantidade de nuvens variou de 3 a 5 oitavos e o acumulado de precipitação foi de 0,2 mm. Com relação ao perfil vertical do vento noturno é possível perceber a presença de um JBN, sendo ele classificado como JBN-0 e localizado à 800 m de altitude. A participação desta componente na variância total explicada é da ordem de 2 a 3% e, desta forma deve ser descartada devido ao seu baixo valor.

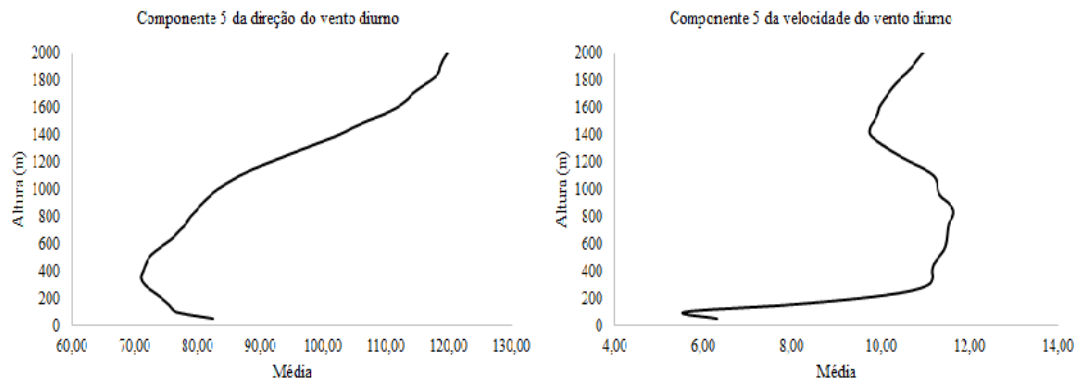


Figura 9 – Direção e velocidade do vento médio diurno da 5ª componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014

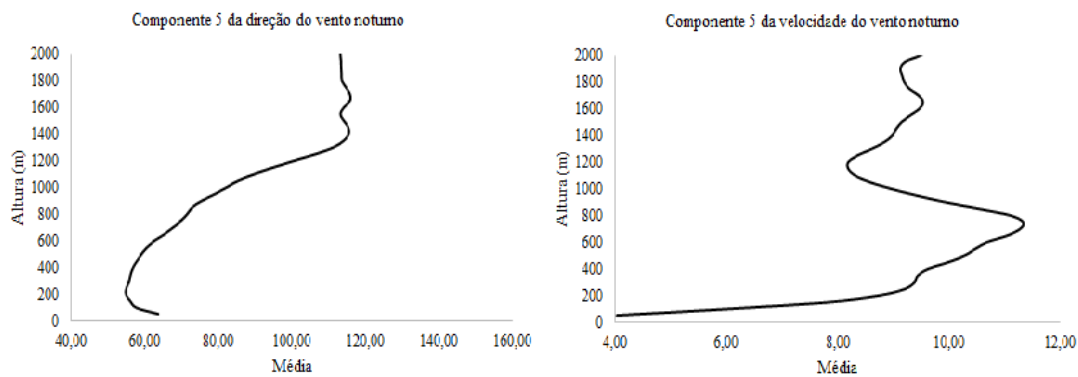


Figura 10 – Direção e velocidade do vento médio noturno da 5ª componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014

5. Conclusões

Através da utilização da técnica de modelagem estatística multivariada da ACP, foi possível ter uma boa visualização do perfil vertical do vento no CLA, bem como a identificação dos JBN, que ocorreram no período noturno e foram classificados como JBN-Fraco e JBN-0. Durante o período diurno não houve ocorrência de JBN, apenas fluxos que caracterizam vento máximo. Já com relação a cobertura de nuvens e a precipitação durante o dia, entre 9 e 15 UTC (6-12 HL), foi registrado que a quantidade de nuvens variou, em média, de 3 a 5 oitavos entre as componentes, e a precipitação apresentou maior valor para a componente 4. O período de estudo corresponde a estação seca da região do CLA, explicando assim os baixos valores de acumulados nas componentes. As três primeiras componentes noturna possuem variância total explicada na ordem de 85% e três alturas típicas, sendo a primeira componente a mais alta (800 metros) e a terceira componente a mais baixa (200 metros). No



caso dessas alturas é provável que haja processos associados a Camada Limite Planetária, como por exemplo o vento máximo de inversão e brisa.

Referências

1. ROBALLO, S. T.; FISCH G. Escoamento Atmosférico no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA): Parte I – Aspectos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.4 510 – 519, Jun.2008.
2. PEREIRA, E. I. et al. **Atlas Climatológico do Centro de Lançamento de Alcântara**. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Foz do Iguaçu, 2002.
3. MARENGO, J. A.; SOARES W. R. **Episódios de Jatos de Baixos Níveis ao leste dos Andes durante 13-19 de abril de 1999**. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Foz do Iguaçu, 2002.
4. FERREIRA, S. H. S.; CALBETE, N. O. **Estudo de casos de Jatos de Baixos Níveis na América do Sul ocorridos em 1999**. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Foz do Iguaçu, 2002.
5. CORRÊA, C. S.; CLARKE, R. T.; SILVEIRA, A. L. L. Estudo da ocorrência de Fluxos no perfil vertical do vento na baixa Atmosfera com Análise das Componentes Principais (ACP) e a sua relação com a precipitação no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.1, 121-127, 2007.
6. NETO, J. M. M.; MOITA, G. C. **Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados**. Teresina, 1997.
7. CORRÊA, C. S.; DALLAROSA, R. L. G.; DEGRAZIA, G. A. Estudo Observacional dos Jatos de Nível Baixo Sobre a Região Metropolitana de Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 6 n.4, 19-27, 2001.