

# **Análise de estruturas coerentes na camada superficial estável em Candiota, RS, através da função intermitência**

*Nisia Krusche e Birajara Soares Machado*

## **RESUMO**

Foram determinadas as características das estruturas coerentes do tipo rampas, observadas em medidas realizadas na Camada Limite Superficial, na cidade de Candiota, RS, sob condições de estratificação térmica estáveis, em quatro campanhas de medidas em julho de 1994 e fevereiro, maio e novembro de 1995. Foram coletados dados de superfície através de um anemômetro sônico, um termômetro de arame fino, um higrômetro de Kripton e dois anemômetros de Gill, instalados em uma torre micrometeorológica com 12 metros de altura. Após aplicação de um procedimento de controle de qualidade de dados, foram selecionados 255 arquivos de dados, que perfazem aproximadamente um total de 49 horas. Para identificar as estruturas coerentes nas séries temporais de flutuação de temperatura e umidade específica, foi utilizada a técnica de amostragem condicional denominada Função Intermitência. As distribuições de frequência percentual da duração das estruturas coerentes detectadas nos sinais de temperatura e umidade referente aos quatro períodos são distribuições do tipo exponencial, típicas de terreno plano. Para o sinal de temperatura, no verão, no outono e na primavera, as estruturas coerentes tem duração mais freqüente entre 14,3 e 18,6 s, enquanto, no inverno, a maior freqüência é a de estruturas com duração entre 10 e 14,3 s. Foram avaliados também o número de estruturas a cada 20 minutos, que é da ordem de 25, o fator intermitência, que representa a fração do tempo quando ocorrem as estruturas e é, em geral, de cerca de 60%, a intensidade das

estruturas, que é de 0,2 a 0,3 °C para temperatura e de 0,13 a 0,23 g/kg para a umidade, e a contribuição aos fluxos de calor sensível e latente, que é de cerca de 45% e de cerca de 60%, respectivamente. A relação com parâmetro de estabilidade mostra que a intensidade das estruturas coerentes na série de temperatura diminui próxima a neutralidade. Nesta região, as estruturas podem ser confundidas com turbulência de menor escala e a função intermitência não é adequada para detectá-las. Concluiu-se que os instrumentos de medida e a torre não afetam sistematicamente as características das estruturas coerentes.

## **SUMMARY**

Coherent structures of the ramplike kind were observed in Superficial Boundary Layer's measurements at Candiota site, under stable stratification conditions. To establish their characteristics, micrometeorological data obtained on 4 measurement campaigns, which happen on July, 1994, and February, May, and November, 1995, were analyzed. Data was measured at a 12 m tower, with a sonic anemometer, a thin wire thermometer, a Krypton hygrometer, and two Gill anemometers. The temporal series were submitted to a quality control method, which selected 255 files, making up a total of almost 49 hours of data. To identify coherent structures on temporal series of temperature and humidity fluctuation, the conditional sampling technique named intermittent function was applied. The frequency distribution of coherent structures' duration detected on the temperature and humidity series during the four periods are of the exponential type, typical of flat terrain. For temperature, the most frequent interval of the frequency distribution during winter is of 10 to 14.3 s, while, in the other seasons, the most frequent interval is of 14.3 to 18.6 s. Other characteristics were also evaluated, such as the number of structures every 20 minutes, which is around 25; the intermittent factor, which represents the time occupied by the structures, and it is of 60%; the intensity of the structures, which is between 0.2 and 0.3 °C for temperature and of 0.13 and 0.23 g/kg for humidity; and the contribution of those structures to sensible and latent heat, which is of around 45% for the former and 60% for the later. Since intensity of coherent structures in temperature series

decreases with the stability parameter, the coherent structures of ramplike kind might be merged with the smaller scale turbulence in the region near neutrality. The influence of the tower and instruments on the characteristics of the coherent structures was also evaluate, and it was determined that they cause no significant interference.

## **INTRODUÇÃO**

Estruturas coerentes são movimentos com características bem definidas que ocorrem em escoamentos turbulentos. Robinson (1991) definiu estrutura coerente como sendo uma região tridimensional do escoamento na qual pelo menos uma grandeza fundamental deste apresenta correlação significativa com ela própria ou com outra variável, sob um intervalo espacial e/ou temporal significativamente maior do que a menor das escalas locais do escoamento. Pode-se ainda seguir a linha conceitual de Prigogine, citado por Tennekes (1985), pela qual estruturas coerentes nos sistemas dinâmicos dissipativos funcionariam como fontes de ordem, ou de criação de informação nova dentro do escoamento turbulento.

A turbulência atmosférica desempenha papel significativo na física da camada limite atmosférica. Um efeito importante devido a este fenômeno é a homogeneização dos campos das grandezas devido à intensidade do transporte turbulento, ou seja, os transportes turbulentos de calor sensível e latente fornecem contribuições importantes ao balanço de energia na Camada Limite Planetária. Alguns autores mostram que a contribuição das estruturas coerentes a estes transportes pode ser significativa. Por exemplo, Gao et al. (1989), para medidas em sete níveis, dentro e acima do dossel de uma floresta, em dois períodos de 30 minutos de duração, identificaram uma contribuição aos transportes turbulentos de calor sensível e de calor latente, devido a estruturas coerentes do tipo rampa, de até 75%. Outros autores sugerem que este percentual de contribuição é elevado. Entre eles, Lu e Fitzjarrald (1994), para medidas realizadas acima e dentro do dossel de uma floresta, em dois níveis, em um período de 21 horas no verão e de 15 horas no inverno, determinaram uma contribuição, devido ao mesmo tipo de estruturas coerentes, acima do dossel, de cerca de 40%. Krusche (1997) identificou contribuições para estes transportes de cerca de

60%, sob condições convectivas, e de 50%, para condições estáveis, para medidas realizadas em três níveis, sobre uma superfície homogênea, em um período de 115 horas, em Iperó, SP, em março de 1993.

A caracterização das estruturas coerentes pode complementar a compreensão dos transportes turbulentos na camada limite superficial e, portanto, do comportamento da dispersão e do transporte de poluentes na atmosfera desta região.

As estruturas coerentes do tipo rampa podem ser identificadas dentro do regime turbulento durante o período estável, nas séries temporais de temperatura e umidade. Para a temperatura, no período estável, elas podem ser identificadas na série temporal por um decréscimo progressivo do sinal com o tempo, seguido por um aumento brusco (Kikuchi e Chiba, 1985). Já para a umidade o sinal tem um aumento progressivo com o tempo, seguido por um decréscimo brusco, ou seja, as características são as mesmas que para o período convectivo.

Krusche e Machado (2000) realizaram um estudo caracterizando as estruturas coerentes em Candiota, durante o período convectivo. Analisaram 34 arquivos da campanha de medidas de julho de 1994, 69 arquivos da campanha de fevereiro, 104 de maio e 78 de novembro de 1995, que perfazem um total de aproximadamente 36 horas de dados com frequência de 1 Hz. Utilizaram como amostragem condicional tanto a função intermitência quanto a transformada de ondeleta. Detectaram cerca de 24 (22) estruturas a cada 20 minutos nas séries de temperatura (umidade), com duração de 32 s (36 s) e intensidade de 0,8 °C (0,5 g/kg). O fator de intermitência foi de 0,41 (0,45) e a contribuição ao fluxo turbulento de calor sensível (latente) foi de 51% (42%). Além de determinar características próprias das estruturas coerentes sob condições de terreno homogêneo, detectaram também uma variação sazonal da contribuição das estruturas coerentes aos fluxos turbulentos.

No presente trabalho, pretende-se desenvolver análise semelhante, determinando as características das estruturas coerentes do tipo rampa durante o período estável, utilizando medidas realizadas na Camada Limite Superficial em Candiota, RS. Adicionalmente, será avaliada a variação sazonal destas características, já que as medidas foram realizadas em julho de 1994 (inverno), novembro (primavera), fevereiro (verão) e maio (outono) de 1995.

## ANÁLISE DOS DADOS

Os dados micrometeorológicos foram obtidos em quatro campanhas de medidas realizadas em julho de 1994, fevereiro de 1995, maio de 1995 e novembro de 1995, na cidade de Candiota, RS, onde situa-se a Usina Termoelétrica Presidente Médice. O terreno é razoavelmente plano com suaves inclinações para o norte e leste (Moraes, O. et al., 1996). Nestes experimentos, foram coletadas informações da camada limite planetária que possibilitaram uma boa caracterização da circulação na região. Os dados de superfície foram obtidos através de medidas em uma torre micrometeorológica com 12 metros de altura, equipada com um anemômetro sônico (medida da componente turbulenta da velocidade vertical); um termômetro de arame fino (flutuações de temperatura); um higrômetro de Kripton (flutuações de umidade) e dois anemômetros de Gill (componentes turbulentas longitudinal e transversal da velocidade do vento na superfície).

A metodologia empregada para a verificação da qualidade dos dados obtidos em Candiota baseou-se em duas etapas. A primeira etapa desta consistiu em uma inspeção visual dos sinais acima citados. Logo após efetuou-se um controle de qualidade baseado no procedimento matemático sugerido por Vickers e Mahrt (1996), que passará a ser denominado QC. Estes autores compilaram diversos métodos de controle de dados, e aplicaram a dados de experimentos micrometeorológicos, tendo obtido resultados satisfatórios. São identificados quatro tipos de erros (picos, vales, descontinuidades e de resolução), bem como um teste de limites absolutos destas séries. A definição de “*pico*” destes autores é a de qualquer conjunto de pontos cujos valores em módulo superam um limiar de 3,5 vezes o valor do desvio padrão da sua respectiva série. Os “*vales*” são definidos como regiões onde a série temporal cai para um valor constante. A descontinuidade é caracterizada quando há uma quebra do sinal e o erro de resolução acontece quando temos uma variação pequena do sinal ao longo da série temporal, tornando uma falsa impressão de flutuações na série quando ocorre somente ruído. Por fim, é proposto um teste de limites não-físicos na série, onde qualquer valor além destes limites caracteriza um erro que pode desqualificar a série para uma análise posterior.

Após a seleção dos dados, as estruturas coerentes foram identificadas na série temporal turbulenta através de uma técnica

ca de amostragem condicional denominada Função Intermitência. Esta função começou a ser utilizada para o estudo de escoamentos que passavam de um regime laminar para um regime turbulento em túneis de vento (Hedley e Keffer, 1974), onde no processo de transição apareciam “*explosões*” ou manifestações repentinas intermitentes no escoamento.

A Função Intermitência consiste em determinar em uma série temporal  $F'(t)$  aqueles dados maiores que um valor de corte especificado. Constrói-se, então, uma nova série temporal  $I(t)$ , cujo valor é 1 sempre que o sinal original é maior que o valor de corte durante um dado intervalo de tempo e, caso contrário, assume-se valor nulo. Pode-se escrever:

$$I(t) = \begin{cases} 1, & \text{se } F'(t) > V_c = k_c \sigma_p \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

onde  $F'(t)$  é a componente turbulenta do sinal,  $V_c$  é o valor de corte da função,  $k_c$  é um coeficiente e  $\sigma_p$  é o desvio padrão da série temporal  $F'(t)$ . O coeficiente  $k_c$  é escolhido como aquele para o qual a função intermitência fornece o maior número de estruturas. Esta técnica mostrou-se adequada para este tipo de estudo em Krusche (1997) e em Machado e Krusche (2000a). Adicionalmente, define-se que o menor evento a ser considerado tem duração de 10 segundos.

Para avaliar a variação das características das estruturas coerentes em relação as variações de estabilidade, foi utilizado o parâmetro de estabilidade ou parâmetro de escala  $z/L$ , onde  $z$  é a altura onde os sensores de turbulência e  $L$  é o comprimento de Obukhov, dado por:

$$L = \frac{-T u_*^3}{\kappa g \overline{(w'T')}}_s \quad (2)$$

onde  $T$  é a temperatura média na superfície,  $u_*$  é a velocidade de fricção,  $\kappa$  é a constante de von Karman,  $g$  é a aceleração da gravidade e  $\overline{(w'T')}$  é o transporte vertical de calor sensível na superfície. Para o cálculo do parâmetro  $L$  foi necessário calcular a velocidade de fricção  $u_*$ , que é dada por:

$$u_*^2 = \left( \overline{w'u'} + \overline{w'v'} \right)^{1/2} \quad (3)$$

onde  $\overline{w'u'}$  e  $\overline{w'v'}$  são os transportes verticais de momento longitudinal e transversal, respectivamente (Stull, 1988).

Para analisar os transportes verticais, já que não se dispunha de medidas na superfície, foram utilizados os fluxos de calor sensível e de momento medidos a uma altura de 10 m.

Adicionalmente, procurou-se avaliar o impacto que a presença da torre meteorológica exercia sobre as características das estruturas coerentes. Para tanto, os resultados foram separadas em dois grupos, aqueles associados ao sentido de alinhamento dos instrumentos e da torre, no qual as estruturas coerentes passam pelo sensor antes de passar pela torre, e aqueles associados ao sentido contrário. A seguir, aplicou-se um teste estatístico para determinar a similaridade entre os dois grupos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionados, através de inspeção visual e pelo programa QC, 30 arquivos para o período de julho de 1994, 43 arquivos para o período de fevereiro 1995, 63 arquivos para o período de maio de 1995 e 119 arquivos para o período de novembro 1995, que perfazem aproximadamente um total de 49 horas. Todos estes arquivos contém medidas de temperatura, umidade e componente vertical, zonal e meridional da velocidade do vento. Como as estruturas coerentes do tipo rampa apresentam, durante o período estável, sinais inversos na série de temperatura (lento decréscimo seguido por aumento brusco) e de umidade (lenta ascensão seguida por decréscimo brusco) e como pretendia-se aplicar a mesma expressão para selecionar as estruturas, optou-se por multiplicar por menos um as séries de umidade, o que resulta em estruturas coerentes similares nas duas séries.

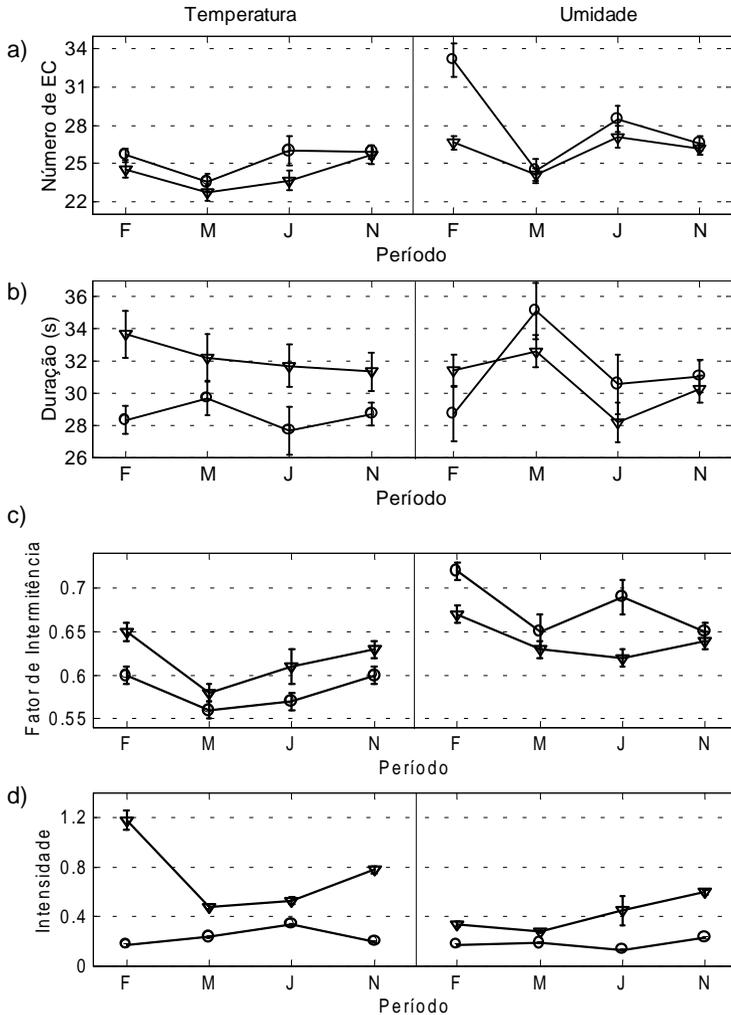
As estruturas coerentes no sinal turbulento foram identificadas, pela aplicação da técnica de função intermitência, e quantificadas as informações sobre estas, como o número de estruturas detectadas, normalizado para um período de 20 minutos, duração das estruturas, intensidade, fator de intermitência, que é a parte da série temporal que as estruturas ocupam, e contribuições aos fluxos verticais turbulentos. Estes resultados são apresentados na tabela 1.

Observa-se que, por exemplo, a duração das estruturas coerentes encontra-se dentro do intervalo esperado para medidas sobre terreno homogêneo.

Para facilitar a visualização da variação sazonal destas características, foram construídos os gráficos apresentados na figura 1, onde é possível também fazer uma comparação com os resultados obtidos para o período convectivo em Machado e Krusche (2000a).

**Tab. 1.** Características das Estruturas Coerentes, nos quatro períodos, sob condições estáveis. São apresentados os valores médios do número de estruturas coerentes detectadas a cada 20 minuto, duração (s), fator intermitência  $\gamma$ , intensidade e sua contribuição aos fluxos turbulentos verticais de calor sensível e de calor latente.

	PERÍODO	TEMPERATURA	UMIDADE
<b>Número</b>	Fevereiro	25,65 ± 0,53	33,09 ± 1,31
	Maio	23,50 ± 0,69	24,42 ± 0,93
	Julho	25,99 ± 1,15	28,49 ± 1,04
	Novembro	25,88 ± 0,50	26,58 ± 0,55
<b>Duração (s)</b>	Fevereiro	28,34 ± 0,88	28,74 ± 1,73
	Maio	29,72 ± 1,09	35,10 ± 1,75
	Julho	27,71 ± 1,49	30,58 ± 1,84
	Novembro	28,71 ± 0,70	31,07 ± 1,02
<b>Fator de Intermitência <math>\gamma</math></b>	Fevereiro	0,60 ± 0,01	0,72 ± 0,01
	Maio	0,56 ± 0,01	0,65 ± 0,02
	Julho	0,57 ± 0,01	0,69 ± 0,02
	Novembro	0,60 ± 0,01	0,65 ± 0,01
<b>Intensidade</b>	Fevereiro	0,17 ± 0,01 °C	0,17 ± 0,01 g/kg
	Maio	0,24 ± 0,01 °C	0,19 ± 0,01 g/kg
	Julho	0,34 ± 0,01 °C	0,13 ± 0,01 g/kg
	Novembro	0,20 ± 0,01 °C	0,23 ± 0,01 g/kg
<b>Contribuição aos fluxos (%)</b>	Fevereiro	48,36 ± 1,57	65,38 ± 1,88
	Maio	49,16 ± 1,38	58,16 ± 1,66
	Julho	43,54 ± 1,80	63,83 ± 2,43
	Novembro	49,32 ± 0,92	60,60 ± 1,11



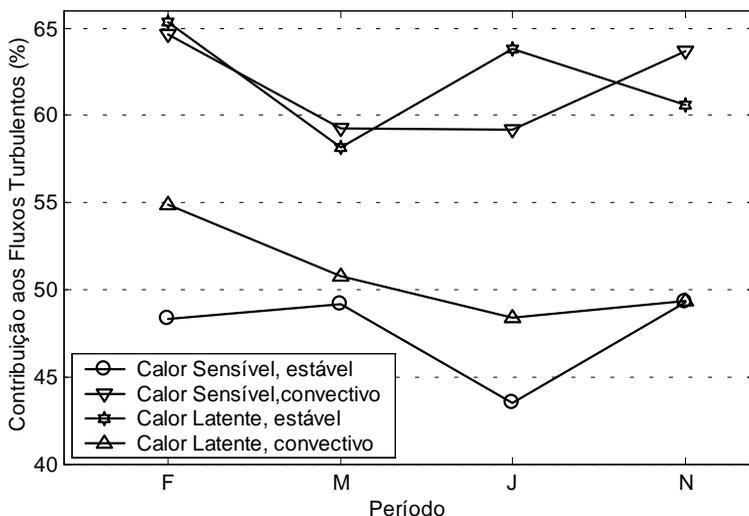
**Fig. 1.** Variação das características das estruturas coerentes detectadas no sinal de temperatura (à esquerda) e de umidade (à direita), comparado período estável (círculos unidos por linha contínua) e convectivo (triângulos unidos por linha tracejada), para os quatro períodos denotados por F (fevereiro), M(maio), J (julho) e N (novembro). a) número de estruturas coerentes em um período de vinte minutos, b) duração média, c) fator de intermitência e d) intensidade.

Observa-se que no período estável a intensidade das estruturas coerentes é sempre menor do que no período convectivo, o que é esperado, pois a intensidade das estruturas coerentes está diretamente ligada a intensidade da turbulência, que é maior em condições convectivas. O número de estruturas coerentes no período estável é maior para estruturas coerentes detectadas no sinal tanto de temperatura quanto de umidade. A relação de proporcionalidade inversa entre a duração e o número de estruturas, observável para o período convectivo, também ocorre no período estável. Entretanto, exceto para fevereiro, a duração das estruturas coerentes detectadas no sinal de umidade é maior no período estável do que no período convectivo, o inverso ocorrendo nas detectadas no sinal de temperatura. O fator intermitência tem um comportamento similar à duração. Percebe-se, em todas as características, uma variação sazonal, com mínimo em maio para número de estruturas e fator intermitência e mínimo em julho para duração e intensidade das estruturas coerentes detectadas no sinal de umidade, mas máximo no sinal de temperatura.

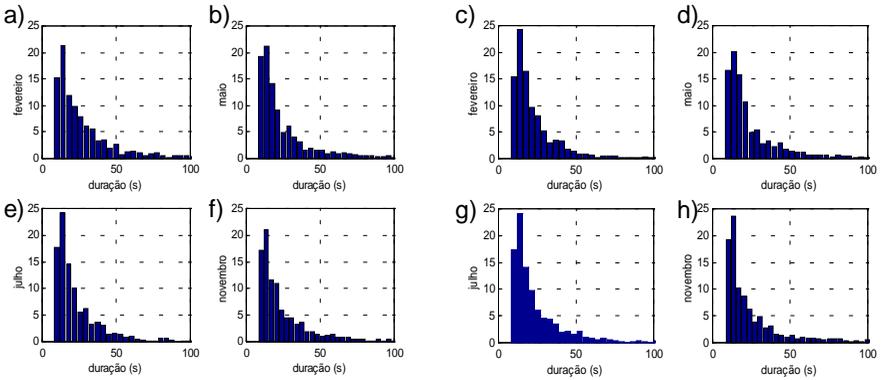
Quando analisa-se a contribuição aos fluxos verticais turbulentos, apresentado na figura 2, observa-se que a contribuição aos fluxos turbulentos verticais de calor sensível é maior (entre 60 e 65%) no período convectivo, enquanto a contribuição aos fluxos de calor latente é maior, na mesma proporção, no período estável. A menor contribuição, que ocorre em julho devidos ao calor sensível, é de aproximadamente 44%, e os valores da contribuição devido ao calor latente no período convectivo também são os menores em julho, cerca de 48%. A variação sazonal que pode ser percebida no período estável não é tão clara quanto no convectivo, o que deve ser investigado futuramente. Entretanto, uma possível explicação seria a menor intensidade da turbulência no período estável, que dificulta a detecção das estruturas, causando uma maior dispersão dos resultados do que no período convectivo.

Foram também avaliadas as distribuições de frequência percentual de dois parâmetros que podem ser medidos a cada estrutura detectada, que são duração e intensidade. Estas distribuições são usualmente similares a uma distribuição de frequência exponencial, como poder ser observado nas figuras 3 e 4, típicas de estruturas coerentes observadas sobre terreno homogêneo (Qiu, J et al., 1995). As distribuições de duração das estruturas coerentes

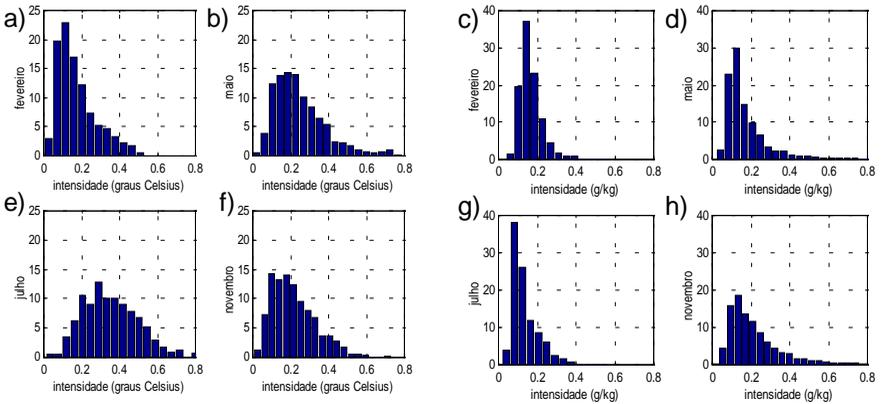
(figura 3), tanto para o sinal de temperatura como para o sinal de umidade, tendem a ser exponenciais e, para todos os períodos, a duração maior apresenta-se na segunda classe de distribuição. As distribuições de intensidade (figura 4) para o sinal de temperatura apresentam uma certa dispersão e, no inverno, a distribuição exponencial aproxima-se de uma distribuição normal com assimetria positiva, como aconteceu também no período convectivo (Machado e Krusche, 2000). Para o sinal de umidade, existe um padrão exponencial em todos os períodos.



**Fig. 2.** Variação das contribuições, devido às estruturas coerentes, aos fluxos turbulentos de calor sensível (círculos unidos por linha contínua, no período estável, e triângulos invertidos unidos por linha tracejada, no período convectivo) e de calor latente (hexágonos unidos por linha contínua, no período estável, e triângulos unidos por linha tracejada, no período convectivo), para os quatro períodos denotados por F (fevereiro), M(maio), J (julho) e N (novembro).



**Fig. 3.** Distribuição de freqüência percentual da duração das estruturas coerentes detectadas no sinal de temperatura, nas duas colunas à esquerda, e de umidade, nas duas colunas à direita, para os quatro períodos, a) e c) correspondem a fevereiro, b) e d) à maio, e) e g) à julho e f) e h) à novembro.



**Fig. 4.** Distribuição de freqüência percentual de intensidade das estruturas coerentes detectadas no sinal de temperatura, nas duas colunas à esquerda, e de umidade, nas duas colunas à direita, para os quatro períodos, a) e c) correspondem a fevereiro, b) e d) à maio, e) e g) à julho e f) à novembro

A avaliação da variação das características das estruturas coerentes com os parâmetros característicos das condições locais consistiu em relacionar o parâmetro de estabilidade e a velocidade de fricção com as características das estruturas coerentes (duração, intensidade e contribuições aos fluxos turbulentos de calor sensível e latente). Esta análise não foi feita com os resultados obtidos para o mês de julho e fevereiro, pois os dados são em número estatisticamente pequeno em relação aos períodos de maio e novembro.

A relação da intensidade das estruturas coerentes, para o sinal de temperatura, com o parâmetro de estabilidade mostra que esta intensidade diminui próxima a neutralidade, já que, nesta região de  $z/L$ , ocorre a inversão, ou seja, há uma diminuição da intensidade das estruturas na série temporal. Esta relação é similar a encontrada em Krusche (1997). Não foi possível obter conclusões significativas sobre as variações das demais características das estruturas coerentes com o parâmetro de estabilidade  $z/L$ , devido a dispersão dos resultados.

Procurou-se, finalmente, identificar possíveis influências da estrutura da torre micrometeorológica nas características das estruturas coerentes. A estrutura da torre pode gerar arrastos friccionais denominados de "*drags*" e estes arrastos são uma fonte de turbulência mecânica, modificando o escoamento na CLS.

O critério para identificar a influência da torre foi a direção do vento médio. A torre, durante os quatro períodos que foram coletados os dados, esteve com os sensores de turbulência apontados para a direção nordeste. Foi proposto, então, a seleção de dois grupos de direção para os arquivos em cada período (nordeste e sudoeste). O grupo de direção nordeste é o grupo de arquivos que aponta no sentido dos sensores da torre micrometeorológica ( $0^\circ \leq \phi < 135^\circ$  e  $315^\circ \leq \phi < 360^\circ$ ), o que significa que as estruturas coerentes são detectadas antes de passar pela torre e o grupo sudoeste é contra o sentido dos sensores ( $135^\circ \leq \phi < 315^\circ$ ).

Esta análise foi feita apenas para o período de novembro devido ao fato de que os dois grupos de direção apresentam pouca diferença entre o número de arquivos disponíveis. Os resultados obtidos nesta análise estão apresentados na tabela 2.

Para o grupo nordeste, foi detectada uma intensidade da turbulência de  $0,15 \pm 0,02$  e para o grupo sudoeste foi detectada

uma intensidade de  $0,17 \pm 0,04$ , ou seja, a turbulência possui intensidade semelhante para os dois grupos. Nota-se a diminuição da intensidade da turbulência no período estável em relação ao período convectivo (Machado e Krusche, 2000) pelo fato de que a turbulência no período convectiva tem origem térmica e mecânica, enquanto no período estável tem origem somente mecânica.

A única característica importante das estruturas coerentes que mostrou uma diferença significativa entre os valores do grupo nordeste e do grupo sudoeste foi a intensidade, que é maior no sinal do grupo nordeste tanto para o sinal de temperatura e umidade. Este resultado pode ser explicado porque o vento proveniente do nordeste é, geralmente, quente e úmido, associado a massa de ar tropical marítima, e o vento proveniente do sudeste é frio e seco, característico da massa de ar polar continental. Portanto, admite-se que a turbulência na CLS está sendo influenciada por fenômenos atmosféricos com escalas temporais e espaciais maiores que as da CLS. Esta relação também foi encontrada no período convectivo (Machado e Krusche, 2000 b).

**Tab. 2:** Resultados obtidos na análise dos dois grupos de direção, onde  $\Delta$  % representa a diferença percentual entre os valores das características para o grupo nordeste e para o grupo sudoeste.

<b>Temperatura</b>	<b>Grupo nordeste</b>	<b>Grupo sudoeste</b>	<b><math>\Delta</math> %</b>
Número de estruturas	$26,42 \pm 6,68$	$25,64 \pm 5,05$	3,04
Duração (s)	$30,11 \pm 9,56$	$28,03 \pm 6,62$	7,42
Fator de intermitência	$0,63 \pm 0,14$	$0,58 \pm 0,12$	8,62
Intensidade ( $^{\circ}\text{C}$ )	$0,23 \pm 0,10$	$0,19 \pm 0,07$	21,05
Contribuição ao fluxo (%)	$53,31 \pm 11,30$	$47,51 \pm 9,04$	12,20
<b>Umidade</b>	<b>Grupo nordeste</b>	<b>Grupo sudoeste</b>	<b><math>\Delta</math>%</b>
Número de estruturas	$27,25 \pm 5,39$	$27,38 \pm 6,60$	-0,47
Duração	$26,71 \pm 9,58$	$27,23 \pm 8,49$	-1,94
Fator de intermitência	$0,58 \pm 0,13$	$0,59 \pm 0,12$	-1,72
Intensidade (g/Kg)	$0,29 \pm 0,12$	$0,16 \pm 0,06$	81,25
Contribuição ao fluxo (%)	$50,60 \pm 10,71$	$50,45 \pm 10,69$	0,29

Foi proposto um teste estatístico para comparar os resultados dos dois grupos que foi o teste de Kolmogorov-Smirnov (Assis, 1996). Este teste consistiu em calcular a máxima diferença entre as funções de distribuição de probabilidade dos dois grupos de direção para as distribuições de duração das estruturas do sinal de temperatura e umidade. Se ao nível de significância estabelecido (0,05), o valor observado desta diferença máxima for maior ou igual ao valor crítico da diferença máxima tabelada, a hipótese de nulidade é rejeitada, ou seja, a hipótese de que os dados provenientes de uma das funções não pertencem a uma distribuição feita com os dados provenientes da outra função. Para o sinal de temperatura, foi encontrada uma diferença máxima entre as funções de distribuição de probabilidade de 0,01, e para o sinal de umidade, foi encontrada uma diferença máxima de 0,03. O valor tabelado para o nível de significância de 0,05 é de 0,975, pode-se dizer então que o teste não rejeitou a hipótese de nulidade, portanto, as duas distribuições são estatisticamente similares.

## **CONCLUSÕES**

É importante notar que as características das estruturas coerentes do tipo rampa, detectadas nos sinais de temperatura e umidade, obtidas pela aplicação da função intermitência como método de amostragem condicional, apresentam uma variação muito pequena e mostram que as características das estruturas coerentes dentro do escoamento turbulento na CLS tendem a ser homogêneas.

Esta tendência também fica evidenciada nas distribuições de frequência percentual para a duração e intensidade dos sinais de temperatura e umidade, que são típicas de estruturas coerentes mediadas sobre terreno homogêneo.

Observou-se uma variação sazonal nas características, embora não tão definida como a encontrada no período convectivo. O fluxo turbulento de calor latente, no período estável, tem uma contribuição de 60 a 65% devido às estruturas coerentes, enquanto o fluxo de calor sensível tem uma contribuição menor, de aproximadamente 45%.

Os instrumentos de medida e a torre não influenciaram sistematicamente as características das estruturas coerentes, exceto pela intensidade. Supõe-se, então, que a escala espacial da torre e dos instrumentos é muito menor que a escala espacial das estruturas coerentes do tipo rampa e, portanto, não as altera significativamente. Entretanto, a intensidade depende da direção da velocidade do vento, o que sugere uma influência de sistemas de tempo de escala maior sobre esta característica.

### **AGRADECIMENTOS**

Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul. Os autores desejam agradecer, também, ao Dr. Osvaldo L. L. Moraes, ao Dr. Amauri Pereira de Oliveira e a toda equipe que trabalhou no projeto Candiota.

## BIBLIOGRAFIA

- ASSIS, A. N., et al., 1966, *Aplicações de estatística à climatologia*, Editora e Gráfica Universitária da UFPel.
- GAO, W. et al., 1989, *Observation of organized structure in turbulent flow within and above a forest canopy*. *Boundary-Layer Meteorology*, 59, 35-57.
- HEDLEY, T. B. e KEFFER, J. F., 1974, *Turbulent / non-turbulent decisions in an intermittent flow*, *Journal Fluid Mechanics*, 64, 625-644.
- KIKUCHI, T. e CHIBA O., 1985, *Step-like Temperature Fluctuations associated with Inverted Ramps in a Stable Surface Layer*, *Bound.-Layer Meteorol.*, 31, 51-63.
- KRUSCHE, N., 1997, *Estudo de estruturas coerentes na camada limite superficial em Iperó - São Paulo*, tese de Doutorado, Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto Geofísico e Astronômico da Universidade de São Paulo.
- KRUSCHE, N. e B. S. MACHADO, 2000, *Caracterização das Estruturas Coerentes do tipo rampa na Camada Limite Superficial Convectiva em Candiota, RS*, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 15 (2), 113-125.
- LU, C. -H. e FITZJARRALD, D. R., 1994, *Seasonal and diurnal variations of coherent structures over a deciduous forest*, *Boundary-Layer Meteorology*, 69, 43-69.
- MACHADO, B. S. e N. KRUSCHE, 2000a, *Estruturas coerentes do tipo rampa em Candiota, RS, sob condições convectivas. Parte 1: Variação sazonal da duração e intensidade*, In: CD-ROM do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro/RJ: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 16-20/10/2000, arq. MI0047.
- MACHADO, B. S. e N. KRUSCHE, 2000b, *Estruturas coerentes do tipo rampa em Candiota, RS, sob condições convectivas. Parte II: Influências locais e fluxos turbulentos*, In: CD-ROM do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro/RJ: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 16-20/10/2000, arq. MI0048.
- MORAES, O. et al., editores, 1996, *Air pollution and acid rain: The Candiota Program*, J. G. Editora.
- QIU, J. et al., 1995, *Pseudo-wavelet analysis of turbulence patterns in three vegetation layers*, *Boundary-Layer Meteorology*, 72, 177-204.

- ROBINSON, S. K., 1991, *Coherent motion in the turbulent boundary layer*, Annual Rev. of Fluid Mechanics, 23, 601-639.
- STULL, R. B., 1988, *An introduction to boundary-layer meteorology*, Kluwer Academic Publishers.
- TENNEKES, H., 1985, *A comparative pathology of atmospheric turbulence in two and three dimensions*, M. Ghill Ed., In: Turbulence and Predictability in Geophysical Fluid Dynamics and Climate Dynamics, 45-70.
- VICKERS, D. e MAHRT, L., 1996, *Quality control and flux sampling problems for tower and aircraft data*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 14, 512-526.

NISIA KRUSCHE  
BIRAJARA SOARES MACHADO  
dgenisia@furg.br  
Departamento de Geociências  
Fundação Universidade Federal de Rio Grande  
Rio Grande, RS - Brasil