

**EXPERIMENTO DE SIZÍGIA (22/08/98)**

Tabela 4.1 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - Δx (m)</i>	<i>Largura (m)</i>	<i>Profundidade (m)</i>	$\frac{\bar{\Delta\rho}}{\Delta x}$ (kg m <sup>-4</sup> )	<i>Vazão (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)</i>
<b>Sizígia em 21/08/98</b>	<b>3200</b>	<b>1400</b>	<b>20,1</b>	<b>0,000658</b>	<b>150</b>

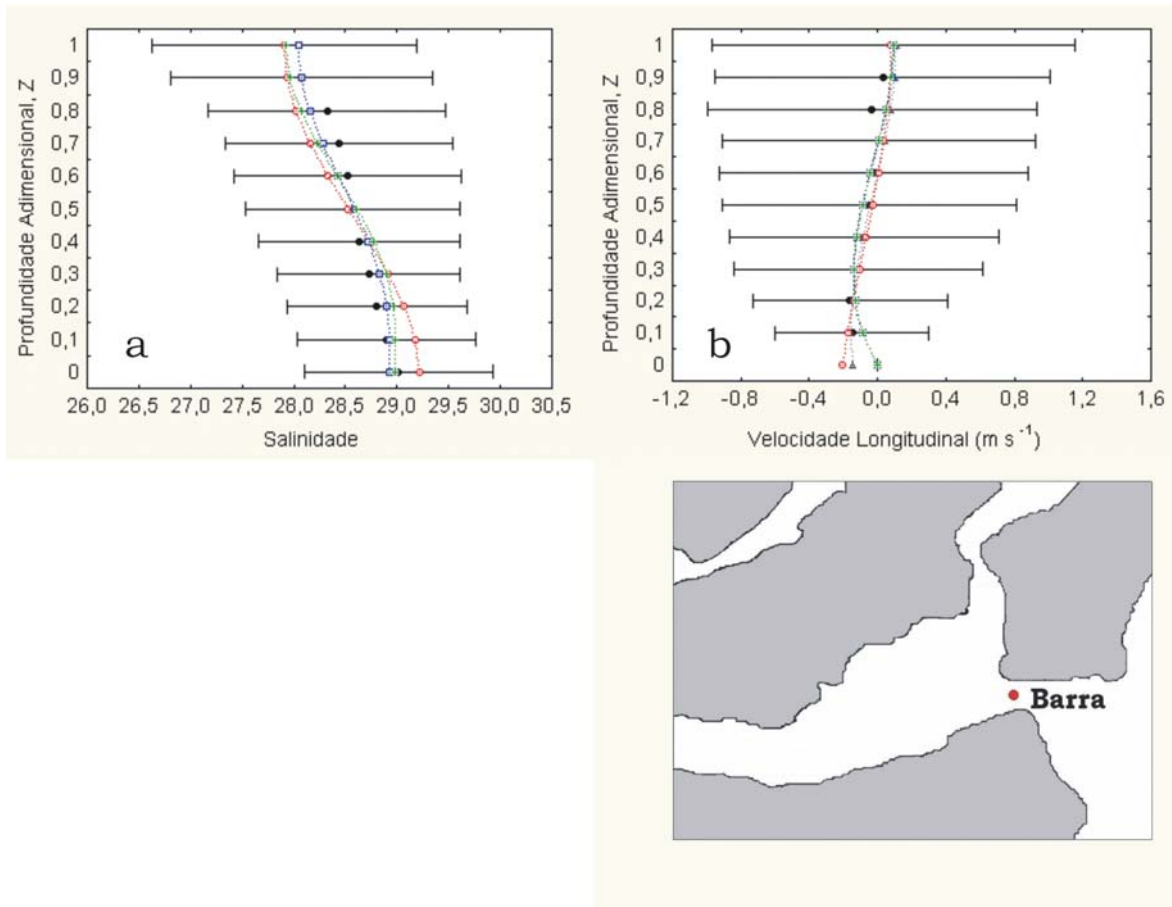


Figura 4.1 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e do componente longitudinal da velocidade (b) às condições experimentais • na estação Barra, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) ○ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) □ sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) + sem escorregamento de fundo.

Este experimento foi caracterizado pela homogeneidade vertical de S, devido ao efeito da maré de sizígia e a ventos de sudoeste observados durante a amostragem (Bérgamo, com. pessoal), assim como pela pequena variabilidade dessa propriedade ao

longo do ciclo de maré e pela boa correlação entre os perfis teóricos e experimental (Figura 4.18.a e Tabela 4.53).

A fraca descarga fluvial pouco contribuiu para que houvesse movimento em direção ao oceano que deve ter sido desintensificado graças ao efeito local do vento, que só apresentou velocidades nessa direção nas camadas superficiais (Figura 4.18.b). Apesar disso, deve-se ressaltar a grande variabilidade observada para  $u$ . Os resultados teóricos dessa propriedade representaram razoavelmente bem as condições experimentais (Tabela 4.53). Apesar de mantidos os altos valores para os coeficientes de mistura, este experimento (Tabela 4.54) foi caracterizado pela redução de quase todos os coeficientes em relação à condição de quadratura (Tabela 4.42), o que demonstra que nem sempre o efeito difusivo da maré é mais eficiente nos processos de mistura do que a circulação gravitacional.

Tabela 4.2 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ <i>escorreg.</i> )	<i>Miranda</i> (c/ <i>escorreg.</i> )	<i>Fisher et al.</i> (s/ <i>escorreg.</i> )	<i>Hansen</i> (s/ <i>escorreg.</i> )
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,79	0,69	0,87	0,87
<i>Salinidade</i>	-	0,95	0,95	0,95

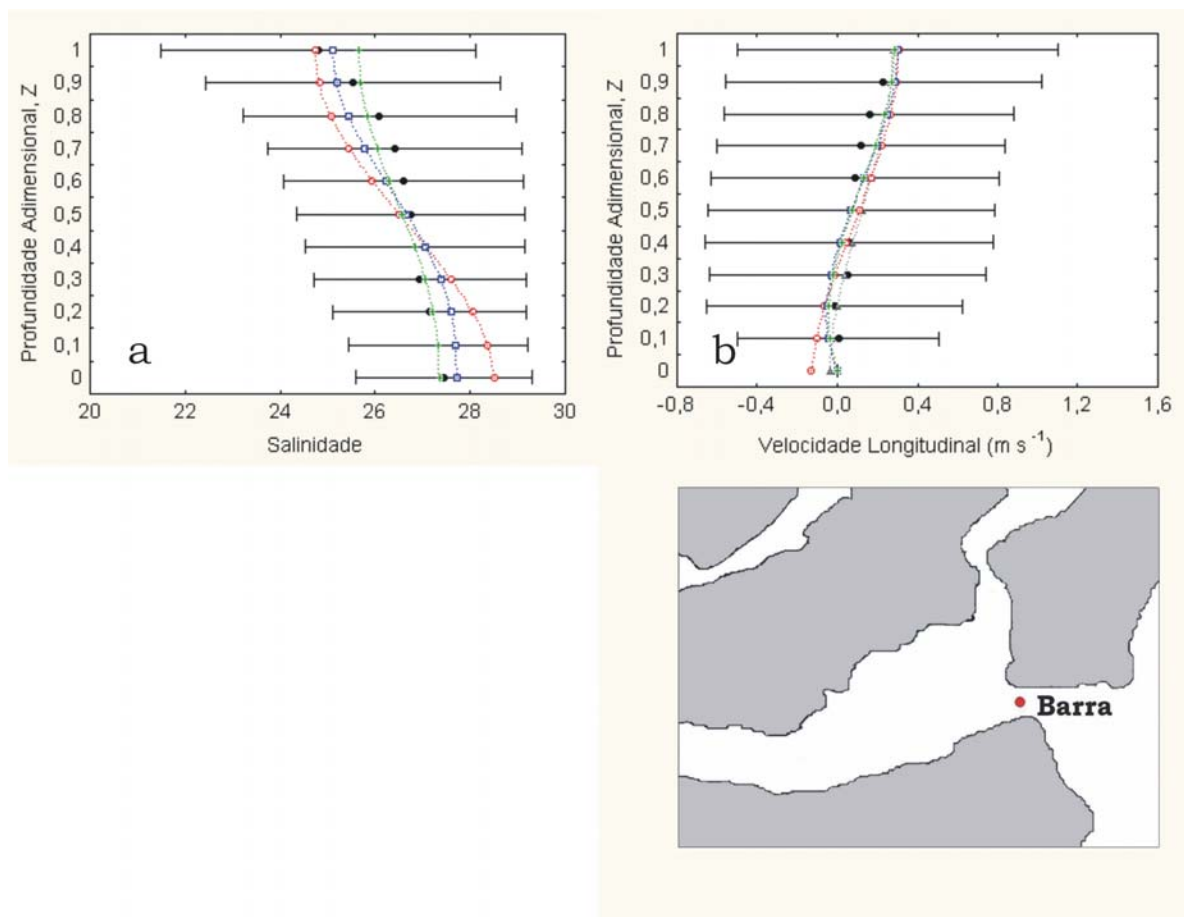
Tabela 4.3 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta ( $Az$ ),  $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e de difusão turbulenta ( $Kz$ ),  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

$Az - \text{Prandle}$	$Az - \text{Miranda}$	$Az - \text{Hansen}$	$Kz - \text{Miranda}$	$Kz - \text{Hansen}$
129,5	287,9	10	60	70

### EXPERIMENTO DE SIZÍGIA (02/11/98)

Tabela 4.4 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - <math>\Delta x</math></i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\overline{\Delta \rho}}{\Delta x}$ ( $\text{kg m}^{-4}$ )	<i>Vazão</i> ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
<b>Sizígia em 04/11/98</b>	3200	1400	17,1	0,00068	550



**Figura 4.2 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e do componente longitudinal da velocidade (b) às condições experimentais • na estação Barra, a partir dos modelos de Prandle (1985)  $\Delta$  com escorregamento de fundo, Miranda (1998)  $\circ$  com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972)  $\square$  sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965)  $+$  sem escorregamento de fundo.**

A estratificação vertical de S foi, mais uma vez, limitada em comparação com as condições de quadratura (Figura 4.15.a) dessa mesma estação. Entretanto, nessa estação pôde ser observada uma maior variabilidade de S ao longo do ciclo de maré (Figura 4.19.a). O ajuste das soluções teóricas aos dados experimentais foi bom (Tabela 4.56).

Mesmo com a pequena variação vertical de S, devida à maior mistura gerada pela maré de sizígia,  $u$  apresentou valores bastante expressivos, mas que aparentam ser devidos principalmente à alta descarga de água doce devido às características unidirecionais do movimento (Figura 4.19.b). O efeito da maré parece estar relacionado à grande variabilidade de  $u$  – mas com grande simetria entre as velocidades de enchente e de vazante que resultam em perfis médios com valores quase nulos – ao longo do experimento. Os resultados experimentais foram bem representados pelas simulações (Tabela 4.56). A

Tabela 4.57 mostra que uma pequena estratificação vertical de S e a presença de um movimento unidirecional favoreceram os valores relativamente altos para os coeficientes de mistura.

**Tabela 4.5 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.**

	<i>Prandle</i> (c/ escorreg.)	<i>Miranda</i> (c/ escorreg.)	<i>Fisher et al.</i> (s/ escorreg.)	<i>Hansen</i> (s/ escorreg.)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,91	0,91	0,93	0,93
<i>Salinidade</i>	-	0,90	0,92	0,91

**Tabela 4.6 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta ( $A_z$ ),  $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e de difusão turbulenta ( $K_z$ ),  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .**

	<i>A<sub>z</sub> – Prandle</i>	<i>A<sub>z</sub> - Miranda</i>	<i>A<sub>z</sub> – Hansen</i>	<i>K<sub>z</sub> – Miranda</i>	<i>K<sub>z</sub> – Hansen</i>
	92,9	79,7	30	50	50

Assim como nos experimentos de agosto na estação Barra, neste caso os coeficientes de mistura foram inferiores numericamente em relação aos coeficientes gerados para a respectiva amostragem em quadratura (Tabela 4.45). Provavelmente esse padrão tenha ocorrido em função dos perfis verticais de  $u$  em sizígia para agosto e novembro, Figuras 4.18.b e 4.19.b, respectivamente apresentarem mais de uma inversão no sentido da velocidade ao longo da coluna de água, não caracterizando nem um movimento unidirecional, nem circulação gravitacional. Isto significa que, com esse padrão irregular de  $u$ , o valor dos coeficientes de mistura é atenuado a ponto de ser inferior ao da condição de quadratura (Tabela 4.57).

### 4.1.4 – ESTAÇÃO BAÍA DO TRAPANDÉ

#### EXPERIMENTO DE QUADRATURA (18/02/98)

Tabela 4.7 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - <math>\Delta x</math></i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\bar{\Delta\rho}}{\Delta x}$ ( $\text{kg m}^{-4}$ )	<i>Vazão</i> ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )
<b>Quadratura em 19/02/98</b>	<b>6000</b>	<b>1700</b>	<b>9,2</b>	<b>0,00048</b>	<b>1500</b>

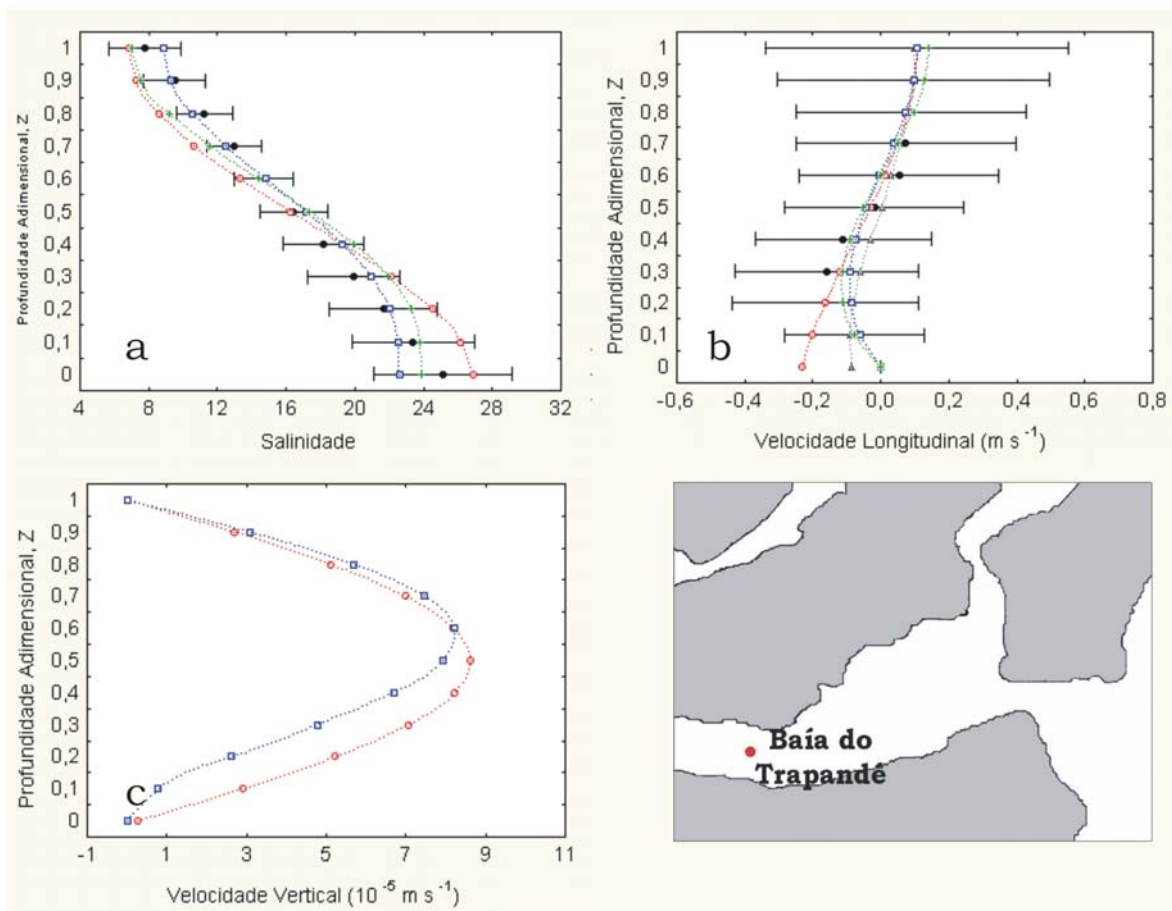


Figura 4.3 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e dos componentes longitudinal (b) e vertical (c) da velocidade às condições experimentais • na estação Baía do Trapandé, a partir dos modelos de Prandle (1985)  $\Delta$  com escorregamento de fundo, Miranda (1998)  $\circ$  com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972)  $\square$  sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965)  $+$  sem escorregamento de fundo.

A distribuição vertical de  $S$  na Figura 4.20.a mostra que este experimento foi influenciado pelo maior gradiente dessa propriedade dentre todos os realizados em Cananéia, o que significa uma influência significativa de água doce em relação a um efeito reduzido da maré. Apesar da significativa variação vertical de  $S$  de sua pequena variabilidade ao longo do ciclo de maré, o aumento gradativo dessa propriedade em direção ao fundo foi muito bem simulado pelos resultados teóricos, independentemente da condição de contorno no fundo (Tabela 4.59).

Pelo menos em termos qualitativos, o fato do menor valor médio de salinidade ter sido encontrado na Baía do Trapandé e no verão reforça os cálculos realizados por Bérghamo (2000), que cita esta região, dentre as amostradas, como a que sofre o maior efeito da descarga de água doce durante o verão.

O perfil vertical de  $u$  indica um movimento bidirecional, com características típicas de circulação gravitacional e as velocidades médias de enchente foram superiores às de vazante,  $0,16 \text{ m s}^{-1}$  e  $0,1 \text{ m s}^{-1}$ , respectivamente (Figura 4.20.b). Essas altas velocidades podem estar associadas ao fato de a Baía do Trapandé ser apontada como principal local de entrada da onda de maré no sul do sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (Miniussi, 1959 e Kato, 1966). Os perfis teóricos de  $u$ , cuja condição de contorno no fundo foi de escorregamento nulo, apresentaram melhores resultados com o perfil experimental (Tabela 4.59).

De acordo com a Figura 4.20.c, as estimativas do componente  $w$  feitas a partir das Equações 3.23 e 3.27 sugerem movimentos ascendentes para as duas soluções, inclusive com uma semelhança quantitativa considerável entre elas. Se comparados aos experimentos das outras estações, nota-se que este apresenta ordens de grandeza compatíveis com os demais, apesar dos valores neste caso serem inferiores. Outro aspecto interessante diz respeito ao cisalhamento vertical de  $u$ , que se aproxima neste experimento aos observados na estação Barra, porém neste os valores de  $w$  são aproximadamente de três a quatro vezes menores do que naqueles. Mesmo com o cisalhamento favorável de  $u$ , a presença de uma haloclina bem distribuída ao longo de toda a coluna de água no presente experimento (gradiente vertical de  $S$  por volta de 16 unidades) dificulta a mistura entre as diferentes camadas de água, o que é refletido em valores mais baixos de  $w$ .

Tabela 4.8 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ <i>escorreg.</i> )	<i>Miranda</i> (c/ <i>escorreg.</i> )	<i>Fisher et al.</i> (s/ <i>escorreg.</i> )	<i>Hansen</i> (s/ <i>escorreg.</i> )
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,86	0,77	0,94	0,94
<i>Salinidade</i>	-	0,99	0,98	0,98

Tabela 4.9 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta ( $Az$ ),  $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e de difusão turbulenta ( $Kz$ ),  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

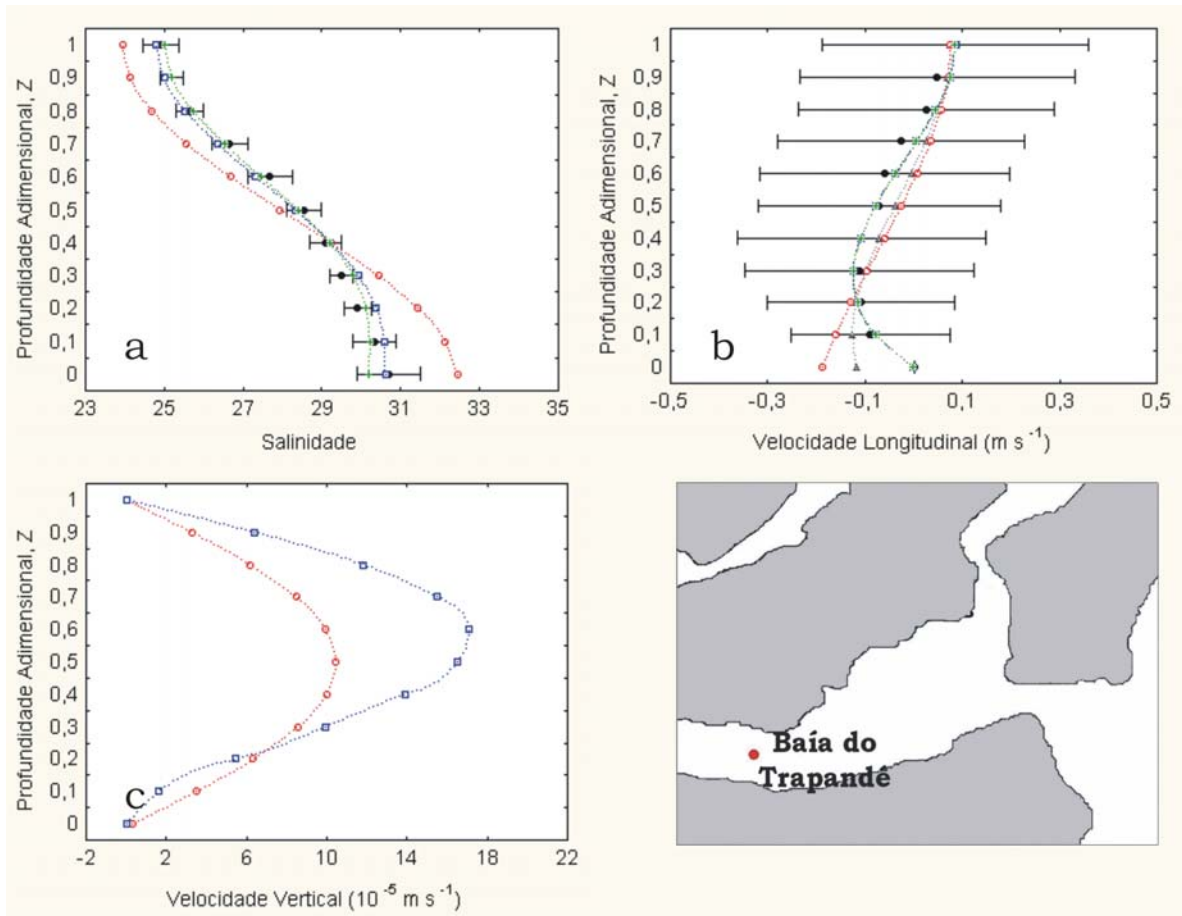
$Az - \text{Prandle}$	$Az - \text{Miranda}$	$Az - \text{Hansen}$	$Kz - \text{Miranda}$	$Kz - \text{Hansen}$
14,6	14,6	500	0,7	5

Em comparação com os experimentos da estação Barra, nota-se que neste já há uma redução considerável nos coeficientes de viscosidade turbulenta, devido principalmente à redução na profundidade média, que neste caso é de 9,2 m. Com a redução do efeito da maré na mistura, já que se trata de um experimento em quadratura, a mistura deu-se principalmente graças ao efeito da circulação gravitacional, o que acarretou em valores intermediários para os coeficientes de viscosidade turbulenta. Já os coeficientes de difusão turbulenta foram minimizados em função da considerável estratificação vertical de S (Tabela 4.60).

### EXPERIMENTO DE QUADRATURA (03/06/98)

Tabela 4.10 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - <math>\Delta x</math></i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\overline{\Delta \rho}}{\Delta x}$ ( $\text{kg m}^{-4}$ )	<i>Vazão</i> ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
<b>Quadratura em 01/06/98</b>	6000	1700	10,9	0,000213	400



**Figura 4.4 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e dos componentes longitudinal (b) e vertical (c) da velocidade às condições experimentais • na estação Baía do Trapandé, a partir dos modelos de Prandle (1985)  $\Delta$  com escorregamento de fundo, Miranda (1998)  $\circ$  com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972)  $\square$  sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965)  $+$  sem escorregamento de fundo.**

Em função da sazonalidade da descarga fluvial, mais uma vez é observada a influência de valores mais altos de S no mesmo local em que durante o verão foi observado o menor valor experimental dessa propriedade (Figura 4.20.a). Também pode-se fazer uma comparação entre a estratificação do experimento de verão, cuja diferença entre o fundo e a superfície foi de 17, enquanto neste experimento foi de aproximadamente 6 (Figura 4.21.a). Apenas uma das soluções não foi visualmente bem ajustada às condições experimentais de S, enquanto as correlações indicam que todos os resultados teóricos representaram bem a distribuição de sal.

As velocidades médias são mais fracas do que no experimento de fevereiro (Figura 4.20.b), mas o movimento bidirecional foi mantido. Em função da menor influência de



água doce nesse experimento, também se observou uma elevação da camada de movimento nulo em relação à situação anterior, de  $Z=0,5$  para  $Z=0,7$ , respectivamente. Os modelos teóricos cuja condição de contorno permitiu escorregamento próximo ao fundo tiveram as menores correlações estatísticas, gerando resultados apenas razoáveis (Figura 4.21.b).

Quando comparado ao experimento anterior, nota-se que neste caso houve uma redução na intensidade do cisalhamento de  $u$  onde a diferença entre as velocidades médias de enchente e vazante naquele caso era de  $0,18 \text{ m s}^{-1}$  (Figura 4.20.b), enquanto neste experimento foi de  $0,13 \text{ m s}^{-1}$  (Figura 4.21.b), o que em primeira análise poderia sugerir uma redução nos valores de  $w$ . Entretanto, as estimativas para a velocidade vertical no experimento em questão (Figura 4.21.c) foram mais altas, especialmente para a solução cuja condição de contorno no fundo era de atrito máximo. A considerável redução no gradiente vertical de  $S$  do experimento anterior (Figura 4.20.a) em relação a este (Figura 4.21.a), de 16 para 6, respectivamente, deve ter favorecido uma maior troca de momento entre as camadas de água neste experimento, traduzido no aumento de  $w$ . De acordo com a Tabela 4.63, os baixos valores dos coeficientes teóricos de mistura reproduziram bem as pequenas variações experimentais de  $u$  e  $S$ .

**Tabela 4.11 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.**

	<i>Prandle</i> (c/ escorreg.)	<i>Miranda</i> (c/ escorreg.)	<i>Fisher et al.</i> (s/ escorreg.)	<i>Hansen</i> (s/ escorreg.)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	<b>0,79</b>	<b>0,64</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>
<i>Salinidade</i>	-	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>

**Tabela 4.12 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta ( $Az$ ),  $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e de difusão turbulenta ( $Kz$ ),  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .**

<i>Az – Prandle</i>	<i>Az - Miranda</i>	<i>Az – Hansen</i>	<i>Kz – Miranda</i>	<i>Kz – Hansen</i>
<b>8,5</b>	<b>15,9</b>	<b>3,5</b>	<b>0,8</b>	<b>4</b>

**EXPERIMENTO DE QUADRATURA (27/08/98)**

Tabela 4.13 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - Δx (m)</i>	<i>Largura (m)</i>	<i>Profundidade (m)</i>	$\frac{\bar{\Delta\rho}}{\Delta x}$ (kg m <sup>-4</sup> )	<i>Vazão (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)</i>
<b>Quadratura em 30/08/98</b>	<b>6000</b>	<b>1700</b>	<b>10,6</b>	<b>0,000433</b>	<b>150</b>

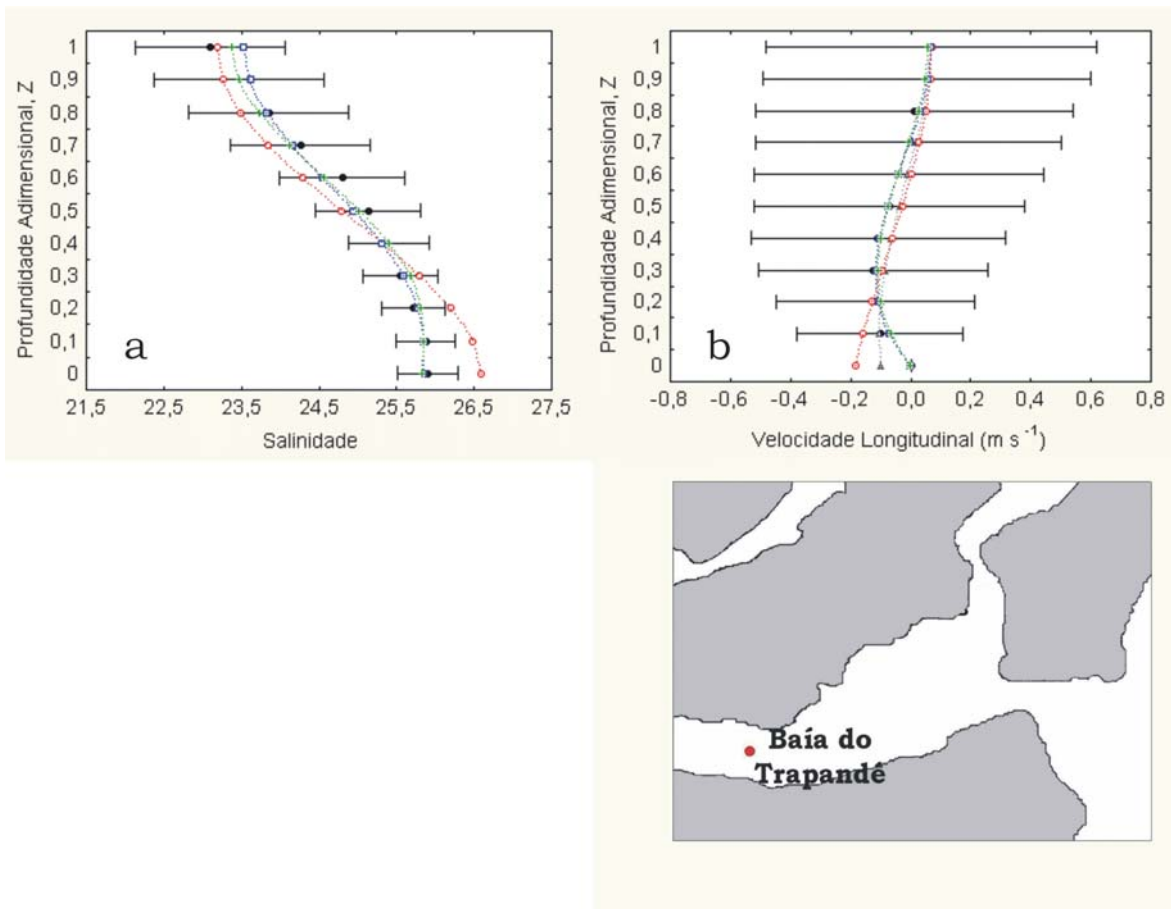


Figura 4.5 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e do componente longitudinal da velocidade (b) às condições experimentais • na estação Baía do Trapandé, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) ○ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) □ sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) + sem escorregamento de fundo.

A Figura 4.22.a mostra uma pequena estratificação vertical de S, além da pequena variabilidade dessa propriedade ao longo do ciclo de maré. Os modelos reproduziram com sucesso as condições observadas experimentalmente.

A pequena estratificação halina se refletiu em movimento bidirecional, com baixos valores experimentais de  $u$  (Figura 4.22.b). Esse caso apresentou a peculiaridade de ser um dos poucos em que os resultados teóricos de velocidade que impuseram escorregamento no fundo apresentaram melhores correlações com o perfil experimental do que as soluções onde o atrito máximo foi assumido.

**Tabela 4.14 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.**

	<i>Prandle</i> (c/ escorreg.)	<i>Miranda</i> (c/ escorreg.)	<i>Fisher et al.</i> (s/ escorreg.)	<i>Hansen</i> (s/ escorreg.)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	<b>0,70</b>	<b>0,68</b>
<i>Salinidade</i>	-	<b>0,96</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>

**Tabela 4.15 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta ( $A_z$ ),  $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e de difusão turbulenta ( $K_z$ ),  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .**

<i>Az – Prandle</i>	<i>Az - Miranda</i>	<i>Az – Hansen</i>	<i>Kz – Miranda</i>	<i>Kz – Hansen</i>
<b>23</b>	<b>31,4</b>	<b>1,5</b>	<b>3</b>	<b>9</b>

Com exceção do coeficiente de viscosidade turbulenta gerado pelo modelo de Hansen & Rattray (1965) na Tabela 4.66, todos os outros apresentaram um aumento em relação ao experimento anterior, que deve estar associado à penetração de água de origem marinha no interior do sistema e sua capacidade de mistura, evidenciado pelos valores negativos no perfil de  $u$  (Figura 4.22.b).

**EXPERIMENTO DE QUADRATURA (29/10/98)**

Tabela 4.16 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - <math>\Delta x</math></i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\bar{\Delta\rho}}{\Delta x}$ ( $\text{kg m}^{-4}$ )	<i>Vazão</i> ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )
<b>Quadratura em 28/10/98</b>	<b>6000</b>	<b>1700</b>	<b>9,6</b>	<b>0,000384</b>	<b>550</b>

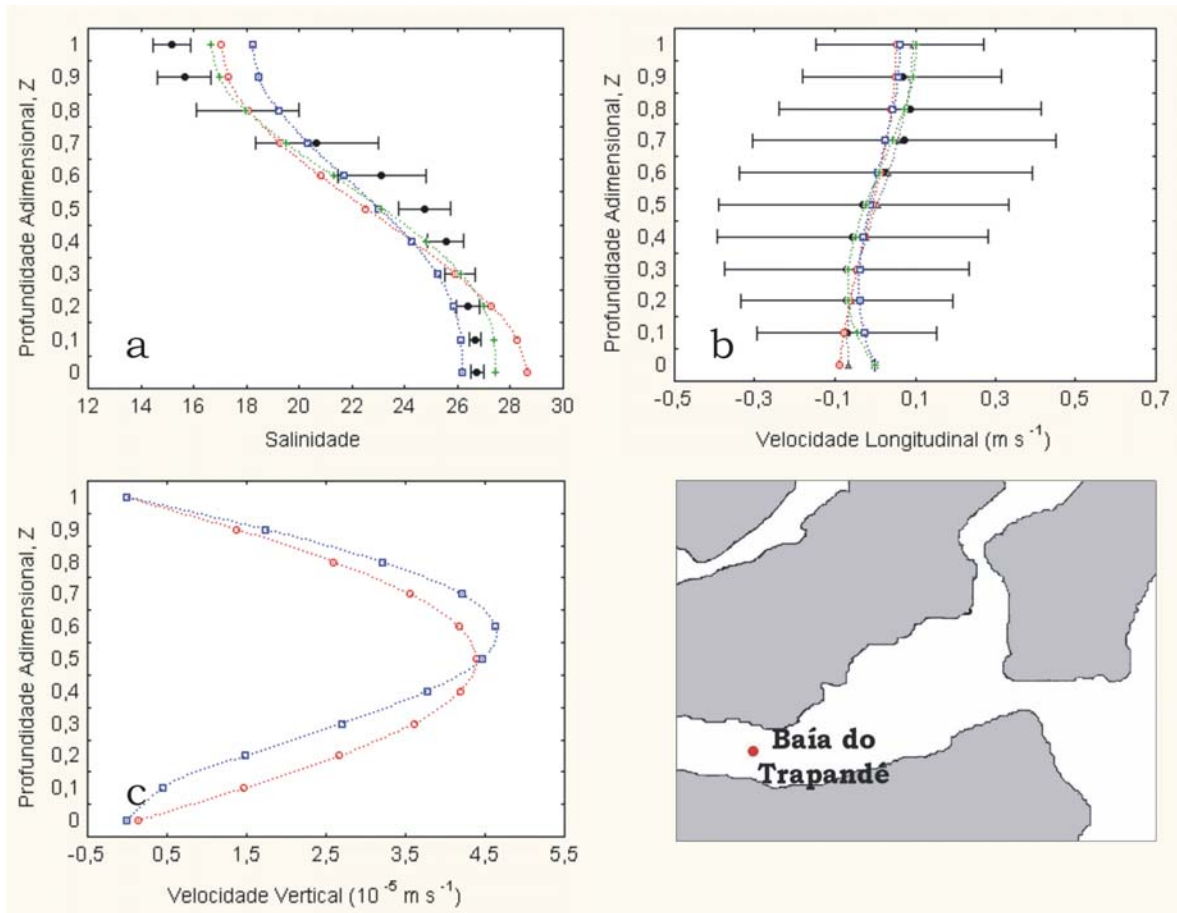


Figura 4.6 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e dos componentes longitudinal (b) e vertical (c) da velocidade às condições experimentais • na estação Baía do Trapandé, a partir dos modelos de Prandle (1985)  $\Delta$  com escorregamento de fundo, Miranda (1998)  $\circ$  com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972)  $\square$  sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965)  $+$  sem escorregamento de fundo.

O retorno às condições de grande descarga fluvial fez com que fosse observada uma expressiva estratificação vertical de S, gerando uma haloclina bem distribuída na camada

intermediária, com pequena variabilidade ao longo do ciclo de maré (Figura 4.23.a). Apesar da figura citada não indicar bons ajustes entre as condições teóricas e experimental, as correlações sugerem muito bons valores entre a teoria e a experimentação de S.

Apesar do aumento da estratificação vertical de S, não se observou uma significativa intensificação de  $u$  provavelmente devido à atuação de ventos de quadrante leste durante grande parte da amostragem, que devem ter desintensificado os movimentos superficiais em direção à boca do sistema. Quando comparado ao experimento anterior (Figura 4.22.b), o que ocorreu nesse foi a redução das velocidades negativas, que representaram o efeito da maré (Figura 4.23.b). Como normalmente observado, as soluções teóricas de  $u$  que melhor se ajustaram ao perfil experimental foram aquelas com máximo atrito de fundo.

Com a redução de S em relação ao experimento de quadratura em junho (Figura 4.21.a), o perfil médio de salinidade neste experimento tornou a assemelhar-se ao observado em fevereiro, sob quadratura (Figura 4.20.a). Aliado a isto, foi observado um cisalhamento apenas razoável de  $u$  (Figura 4.23.b). O resultado disto foi a simulação de valores baixos para o componente  $w$ , cujas soluções foram bastante semelhantes entre si (Figura 4.23.c).

**Tabela 4.17 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.**

	<i>Prandle</i> (c/ escorreg.)	<i>Miranda</i> (c/ escorreg.)	<i>Fisher et al.</i> (s/ escorreg.)	<i>Hansen</i> (s/ escorreg.)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	<b>0,89</b>	<b>0,82</b>	<b>0,95</b>	<b>0,95</b>
<i>Salinidade</i>	-	<b>0,93</b>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>

**Tabela 4.18 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta ( $Az$ ),  $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e de difusão turbulenta ( $Kz$ ),  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .**

<i>Az – Prandle</i>	<i>Az - Miranda</i>	<i>Az – Hansen</i>	<i>Kz – Miranda</i>	<i>Kz – Hansen</i>
<b>14,9</b>	<b>29,8</b>	<b>2000</b>	<b>0,5</b>	<b>7</b>

Em relação ao experimento anterior (Tabela 4.66), observam-se uma menor influência da entrada de água de origem marinha (neste caso, limitada à  $Z=0,5$ ), o que deve

ter contribuído para a redução nos coeficientes de viscosidade turbulenta pelo fato da mistura se dar principalmente graças à circulação gravitacional, e um aumento na estratificação vertical de S, cujo efeito foi a limitação das trocas de sal entre as diferentes camadas de água, o que significa redução nos coeficientes de difusão turbulenta (Tabela 4.69).

### EXPERIMENTO DE SIZÍGIA (13/02/98)

Tabela 4.19 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - <math>\Delta x</math></i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\overline{\Delta \rho}}{\Delta x}$ (kg m <sup>-4</sup> )	<i>Vazão</i> (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
<b>Sizígia em 11/02/98</b>	<b>6000</b>	<b>1700</b>	<b>9,3</b>	<b>0,0005</b>	<b>1500</b>

A estratificação vertical de S nesse experimento foi em torno de 3 unidades entre o fundo e a superfície (Figura 4.24.a), inferior ao do experimento de quadratura, por volta de 17 (Figura 4.20.a). O perfil experimental de S foi muito bem representado por todas as soluções teóricas (Tabela 4.71). Entretanto, a observação visual (Figura 4.24.a) não indica correlações tão boas quanto as calculadas matematicamente. O que pode estar ocorrendo é que o número de valores a serem considerados para o cálculo das correlações (N) é limitado – 11 em cada perfil – e o ideal seria 20 pelo menos, pode estar havendo alguma limitação metodológica que interfira na interpretação dos resultados. Portanto, para uma melhor interpretação dos resultados do presente trabalho, devem ser consideradas tanto a comparação visual entre teoria e prática, como as correlações calculadas matematicamente.

Enquanto no experimento de quadratura foram observadas características de circulação gravitacional, o efeito de erosão da haloclina na maré de sizígia provocou movimentos em direção à Barra em quase todas as profundidades (Figura 4.24.b). O desvio padrão de  $u$  mostra que, principalmente nas camadas superiores, ocorre uma maior variabilidade dos valores positivos de velocidade (em direção à Barra), que deve estar associada à grande descarga fluvial nessa época do ano. Assim como para S, os perfis

teóricos de velocidade representaram bem as condições observadas em campo, independentemente da condição de contorno no fundo (Tabela 4.71).

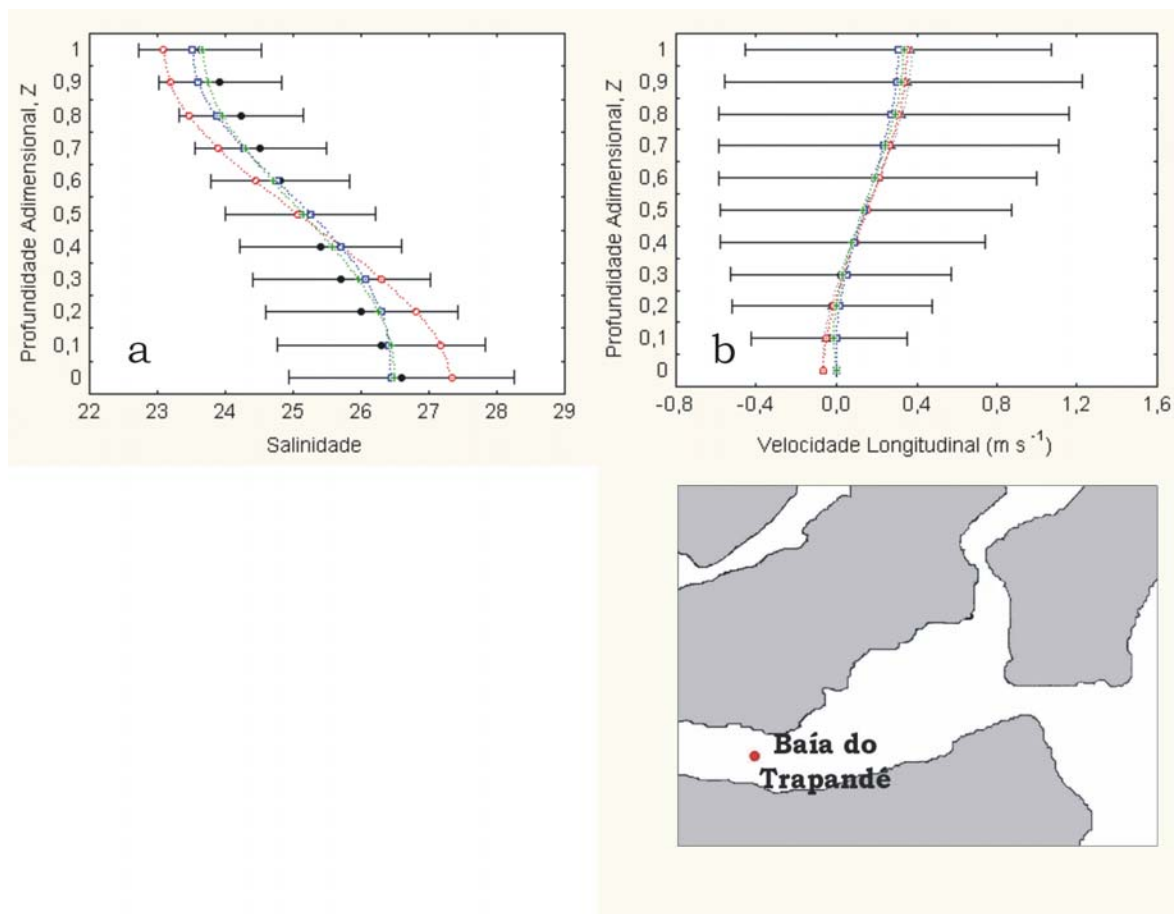


Figura 4.7 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e do componente longitudinal da velocidade (b) às condições experimentais • na estação Baía do Trapandé, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) ○ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) □ sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) + sem escorregamento de fundo.

Tabela 4.20 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ escorreg.)	<i>Miranda</i> (c/ escorreg.)	<i>Fisher et al.</i> (s/ escorreg.)	<i>Hansen</i> (s/ escorreg.)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,99	0,99	0,99	0,99
<i>Salinidade</i>	-	0,99	0,98	0,99

Tabela 4.21 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta ( $Az$ ),  $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e de difusão turbulenta ( $Kz$ ),  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

$Az - Prandle$	$Az - Miranda$	$Az - Hansen$	$Kz - Miranda$	$Kz - Hansen$
6,8	8,8	32	10	7

Em relação ao experimento de quadratura (Figura 4.20), este foi caracterizado por uma redução nos coeficientes de viscosidade turbulenta e um aumento nos de difusão turbulenta, explicados pelo fluxo praticamente unidirecional de  $u$  (Figura 4.24.b), o que reduz os coeficientes de viscosidade, e pela pequena estratificação de  $S$  (Figura 4.24.a), cuja tendência é favorecer a troca de sal na coluna de água, aumentando os valores dos coeficientes de difusão turbulenta (Tabela 4.72).

#### EXPERIMENTO DE SIZÍGIA (29/05/98)

Tabela 4.22 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

Fase Lunar	Distância - $\Delta x$ (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	$\frac{\bar{\Delta\rho}}{\Delta x}$ ( $\text{kg m}^{-4}$ )	Vazão ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
Quadratura em 25/05/98	6000	1700	10,4	0,000434	400

Enquanto a salinidade experimental de superfície esteve em torno de 25 para a quadratura (Figura 4.21.a), este experimento foi caracterizado pelo valor de 18,5 (Figura 4.25.a). Essa feição deve estar associada ao fato da fase lunar, que apesar do experimento ser denominado de sizígia, já se encontrar em período de transição (sizígia em 25/05/98 e quadratura em 01/06/98), mascarando o real efeito da maré. Associado a esse enfraquecimento do efeito da maré, ocorreram elevados aportes pluviais ao longo do experimento (Bérgamo, com. pessoal). A maior variabilidade da  $S$  apenas nas camadas superiores reitera a possibilidade de ter havido uma descarga fluvial acentuada durante o experimento.



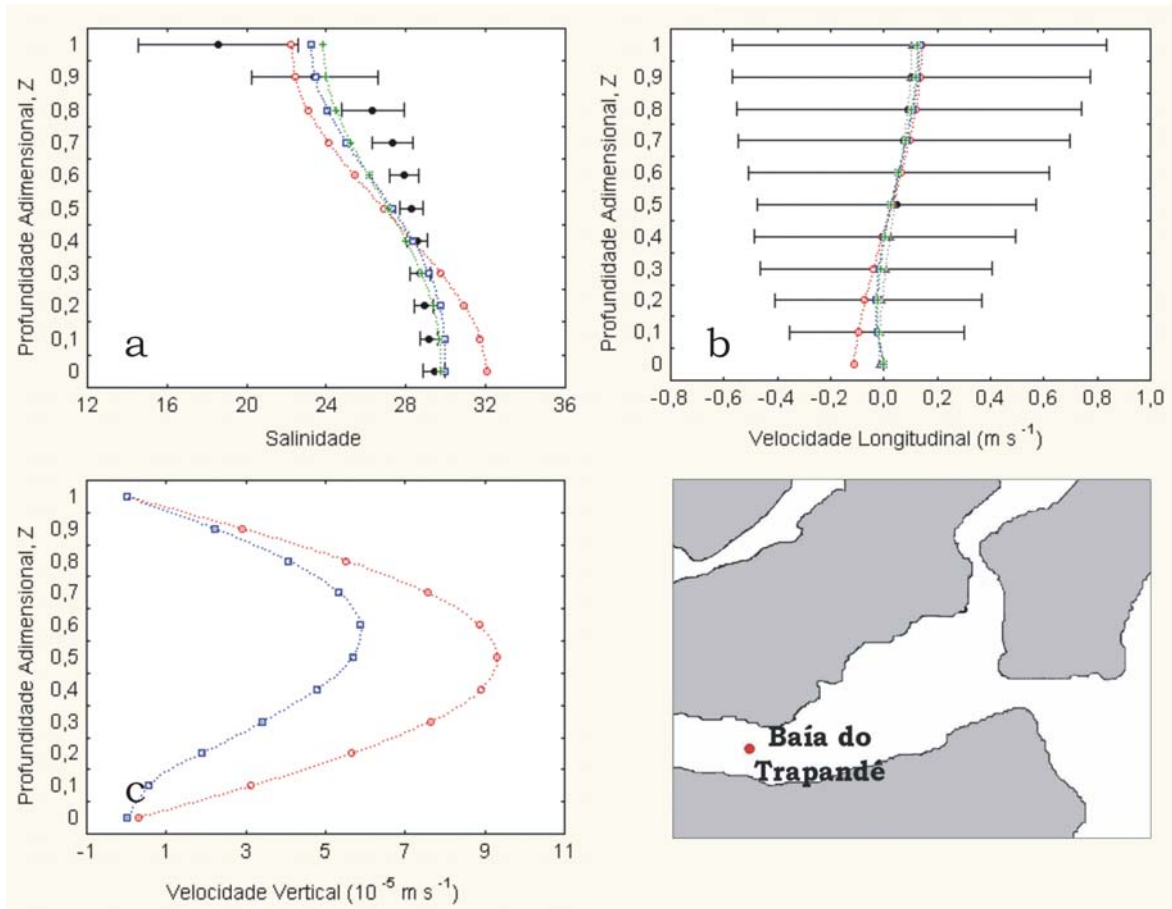


Figura 4.8 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e dos componentes longitudinal (b) e vertical (c) da velocidade às condições experimentais • na estação Baía do Trapandé, a partir dos modelos de Prandle (1985)  $\Delta$  com escorregamento de fundo, Miranda (1998)  $\circ$  com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972)  $\square$  sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965)  $+$  sem escorregamento de fundo.

Como ressaltado anteriormente, não foi observada modulação da circulação pela maré em períodos de baixa precipitação pluviométrica. Portanto, os outros experimentos indicam que seria esperado encontrar-se nessa situação uma semelhança entre os perfis de sizígia e de quadratura, onde haveria pequenas variações verticais de S, o que de fato foi observado para o experimento de quadratura (Figura 4.21.a). Passados alguns dias do experimento de sizígia, teria havido tempo suficiente para uma melhor mistura das águas e uma conseqüente homogeneização da coluna de água no experimento de quadratura, gerando então o perfil experimental típico de S para essa época do ano. A presença de uma haloclina em superfície, onde foi observada uma diferença de 18,5 a 26,3 entre  $Z=1$  e

$Z=0,8$ , respectivamente, resultou em correlações apenas razoáveis entre as salinidades teóricas e a experimental, evidenciadas na Tabela 4.74.

Acompanhando esse comportamento anormal de presença de haloclina pronunciada devido a uma descarga pontual de água doce em uma época usualmente de baixa descarga fluvial, a velocidade foi, praticamente em toda a coluna de água, dirigida em direção à Barra. Os perfis teóricos de  $u$  reproduziram com êxito as condições experimentais dessa propriedade (Tabela 4.74).

Apesar das distribuições verticais de  $u$  e  $S$  neste experimento serem bastante semelhantes às observadas para o experimento de outubro em quadratura (Figura 4.23), neste caso apenas a estrutura de  $u$  foi bem representada pelas soluções teóricas (Figura 4.25.b), enquanto a de  $S$  não foi simulada com eficiência (Figura 4.25.a). Em função disto, os valores de  $w$ , especialmente para a condição de escorregamento no fundo, que não foram aferidos com dados experimentais, foram provavelmente estimados acima do que a condição experimental permitia (Figura 4.25.c). Como citado para os experimentos da estação Barra, mais uma vez fez-se presente o efeito difusivo da maré de sizígia, cujo efeito é favorecer os processos de mistura através da intensificação dos coeficientes de mistura (Tabela 4.75), que foram superiores aos do respectivo experimento de quadratura (Tabela 4.63) em todas as simulações.

**Tabela 4.23 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.**

	<i>Prandle</i> (c/ escorreg.)	<i>Miranda</i> (c/ escorreg.)	<i>Fisher et al.</i> (s/ escorreg.)	<i>Hansen</i> (s/ escorreg.)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	<b>0,96</b>	<b>0,94</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>
<i>Salinidade</i>	-	<b>0,76</b>	<b>0,80</b>	<b>0,79</b>

**Tabela 4.24 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta ( $A_z$ ),  $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e de difusão turbulenta ( $K_z$ ),  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .**

<i>A<sub>z</sub> – Prandle</i>	<i>A<sub>z</sub> - Miranda</i>	<i>A<sub>z</sub> – Hansen</i>	<i>K<sub>z</sub> – Miranda</i>	<i>K<sub>z</sub> – Hansen</i>
<b>31,1</b>	<b>20,7</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>15</b>

### EXPERIMENTO DE SIZÍGIA (23/08/98)

Tabela 4.25 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

Fase Lunar	Distância - $\Delta x$ (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	$\frac{\bar{\Delta\rho}}{\Delta x}$ ( $\text{kg m}^{-4}$ )	Vazão ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )
Quadratura em 21/08/98	6000	1700	10,3	0,0004	100

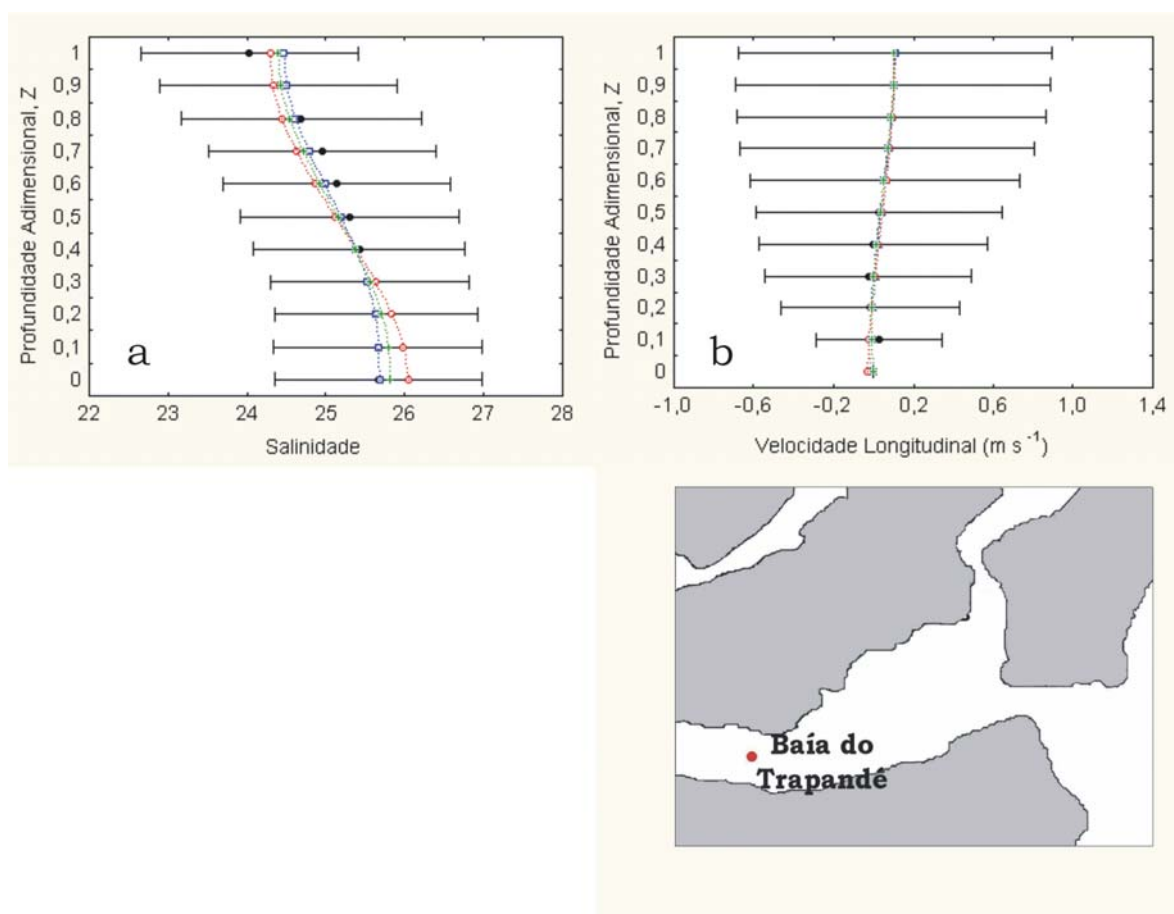


Figura 4.9 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e do componente longitudinal da velocidade (b) às condições experimentais • na estação Baía do Trapandé, a partir dos modelos de Prandle (1985)  $\Delta$  com escorregamento de fundo, Miranda (1998)  $\circ$  com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972)  $\square$  sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965)  $+$  sem escorregamento de fundo.

De acordo com a Figura 4.26.a, a variação vertical de S neste experimento é inferior à da situação de quadratura (Figura 4.22.a) e demonstra a maior capacidade mistura da maré em sizígia. Os modelos foram muito bem ajustados às condições experimentais de S (Tabela 4.77).

A velocidade acompanhou a menor variação vertical de salinidade neste experimento (Figura 4.26.b) e o resultado foi o predomínio de  $u$  positivas (em direção à Barra), ao contrário da situação de quadratura (Figura 4.22.b). O perfil experimental de  $u$  foi muito bem representado pelas soluções teóricas (Tabela 4.77). A Tabela 4.78 mostra que os coeficientes de mistura reproduziram bem os perfis verticais de  $u$  e S.

Tabela 4.26 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ escorreg.)	<i>Miranda</i> (c/ escorreg.)	<i>Fisher et al.</i> (s/ escorreg.)	<i>Hansen</i> (s/ escorreg.)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,91	0,90	0,95	0,95
<i>Salinidade</i>	-	0,93	0,96	0,95

Os valores dos coeficientes de mistura neste experimento (Tabela 4.78) foram bastante similares aos observados no experimento de quadratura (Tabela 4.66) e representam bem a pequena variabilidade observada de uma amostragem para a outra.

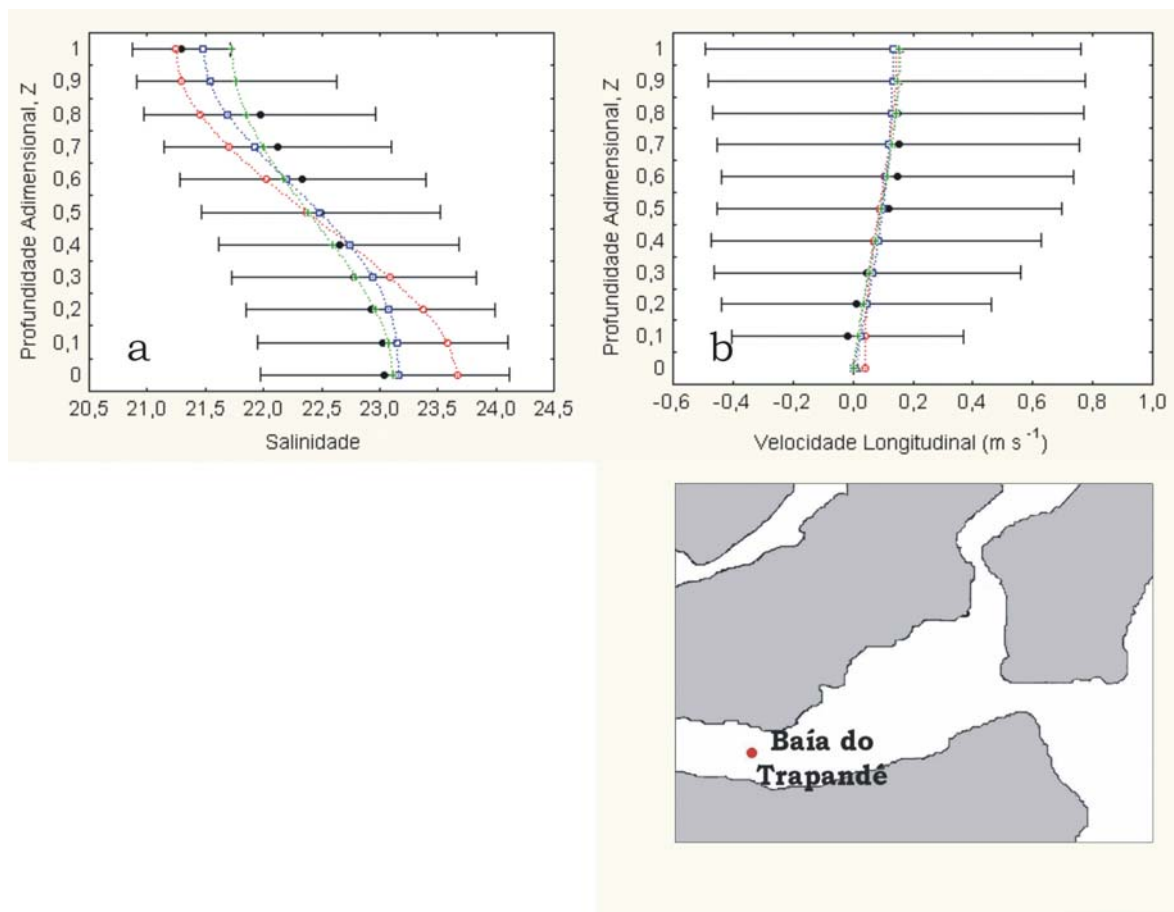
Tabela 4.27 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta ( $Az$ ),  $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e de difusão turbulenta ( $Kz$ ),  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

$Az - Prandle$	$Az - Miranda$	$Az - Hansen$	$Kz - Miranda$	$Kz - Hansen$
30,9	30,9	1	8	20

### EXPERIMENTO DE SIZÍGIA (03/11/98)

Tabela 4.28 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - <math>\Delta x</math></i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\overline{\Delta \rho}}{\Delta x}$ ( $\text{kg m}^{-4}$ )	<i>Vazão</i> ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
<b>Quadratura em 04/11/98</b>	6000	1700	8,5	0,00048	550



**Figura 4.10 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e do componente longitudinal da velocidade (b) às condições experimentais • na estação Baía do Trapandé, a partir dos modelos de Prandle (1985)  $\Delta$  com escorregamento de fundo, Miranda (1998)  $\circ$  com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972)  $\square$  sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965)  $+$  sem escorregamento de fundo.**

Enquanto a variação vertical de S no experimento de quadratura (Figura 4.23.a) esteve em torno de 11,5, na de sizígia foi de 1,7 (Figura 4.27.a). Mais uma vez, fez-se presente o efeito da modulação da maré na circulação estacionária, pois essa pequena estratificação não contribuiu para a formação de movimento bidirecional; o resultado foi o predomínio de  $u$  em direção à Barra (Figura 4.27.b). Tanto as soluções teóricas de S, como de  $u$  foram bem correlacionadas com as respectivas condições experimentais (Tabela 4.80).

Tabela 4.29 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ <i>escorreg.</i> )	<i>Miranda</i> (c/ <i>escorreg.</i> )	<i>Fisher et al.</i> (s/ <i>escorreg.</i> )	<i>Hansen</i> (s/ <i>escorreg.</i> )
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,94	0,92	0,96	0,95
<i>Salinidade</i>	-	0,96	0,97	0,96

Tabela 4.30 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta ( $A_z$ ),  $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e de difusão turbulenta ( $K_z$ ),  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

<i>A<sub>z</sub> – Prandle</i>	<i>A<sub>z</sub> - Miranda</i>	<i>A<sub>z</sub> – Hansen</i>	<i>K<sub>z</sub> – Miranda</i>	<i>K<sub>z</sub> – Hansen</i>
18,7	18,7	9	6	30

De maneira geral, os valores dos coeficientes de mistura neste experimento foram inferiores aos estimados para a condição de quadratura (Tabela 4.69) e refletem, mesmo em sizígia e com pequena estratificação vertical de S (Figura 4.27.a), o resultado de um movimento unidirecional para a boca do estuário com a limitação das trocas de momento na coluna de água e significam redução dos coeficientes de viscosidade turbulenta (Tabela 4.81). Os coeficientes de difusão turbulenta expressaram muito bem a redução na estratificação de S, em relação à quadratura, com o aumento dos coeficientes de difusão turbulenta.