

# ESTIMATIVA DA RECARGA DO AQUÍFERO COXILHA DAS LOMBAS ATRAVÉS DO MÉTODO BALANÇO DE CLORETOS

Ronaldo Herlinger Jr.<sup>1</sup> & Antonio Pedro Viero<sup>1</sup>

**Resumo** - O Aquífero Coxilha das Lombas é constituído por areias finas depositas em ambiente eólico e ocupa uma área aflorante de aproximadamente 700 km<sup>2</sup> distribuída ao longo de uma faixa com 100 km de comprimento e direção N40°E na região costeira do Rio Grande do Sul. Ocorre, ainda, sob condições de confinamento a sudeste da faixa aflorante por extensões ainda não definidas com precisão. O potencial hídrico do aquífero é elevado, tendo registro de poços com vazões próximas a 150 m<sup>3</sup>/h e condutividade hidráulica média de 1,73\*10<sup>-2</sup> cm/s. Na região, as chuvas são bem distribuídas com precipitação média anual da ordem de 1.300 mm, sendo a recarga decorrente da infiltração direta destas águas na zona livre do aquífero. Neste estudo foi aplicado o método balanço de cloretos para estimar a recarga do aquífero e os resultados apontam valores da ordem de 200 mm anuais para a recarga e 1100 mm anuais para a evapotranspiração. A partir da determinação experimental da capacidade de campo dos sedimentos, foi determinada, também, a infiltração mínima necessária para que ocorra recarga no aquífero, cujo valor é próximo de 170 mm/m.

**Abstract** - The Coxilha das Lombas Aquifer is formed by fine eolian sands that outcrop in an area with 700 km<sup>2</sup> prolonged to the N40°E direction by 100 km length in the coastal area of Rio Grande do Sul State. This aquifer is registered also in a confined environment on the southeast side of outcropping area but the extension of this area is not defined accurately. Wells with discharge up to 150 m<sup>3</sup>/h and average hydraulic conductivity of 1,73\*10<sup>-2</sup> cm/s indicate an elevated water supply potential to the aquifer. The rain presents an homogeneous distribution during the year and the average annual precipitation is near of 1.300 mm. The recharge occurs by direct infiltration of the rain in the outcropping zone of the aquifer. The chlorides mass balance method was applied in this study to estimate the aquifer recharge and the results point values of 200 mm/year for the recharge and 1100 mm/year for the evapotranspiration. The field capacity of the sediments indicates that the minimum infiltration to occur recharge in the aquifer is next to 170 mm/m.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Geociências. Avenida Bento Gonçalves, 9500; Caixa postal 15.001; CEP 91501-970; Porto Alegre, RS. Fone: (51) 3316-7295. E-mail: [3068006@ufrgs.br](mailto:3068006@ufrgs.br), : [antonio.viero@ufrgs.br](mailto:antonio.viero@ufrgs.br).

**Palavras-Chave** – Aquífero Coxilha das Lombas; recarga; balanço de cloretos.

## **INTRODUÇÃO**

Os estudos relativos à avaliação da recarga são de fundamental importância para a caracterização da disponibilidade hídrica e explotabilidade de aquíferos, bem como possuem implicações diretas no planejamento e gestão das águas subterrâneas.

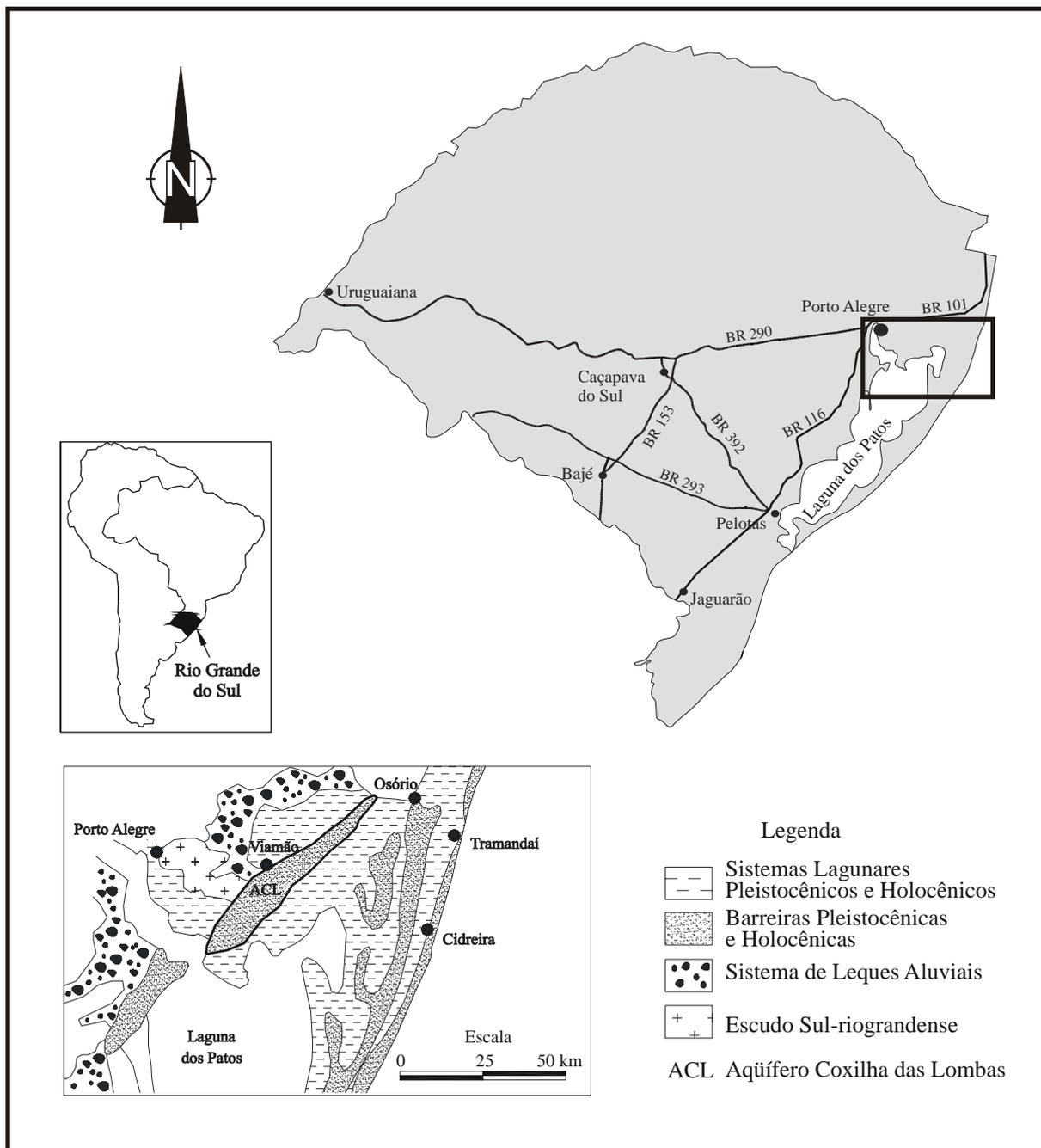
O Aquífero Coxilha das Lombas estende-se por vários municípios da região costeira do Rio Grande do Sul, situando-se cerca de 60 km da linha de costa. Ocupa uma faixa com orientação NE-SW, com cerca de 100 km de extensão, largura entre 5 e 10 km (Fig. 1) e espessura máxima da ordem de 120 m. No município de Viamão, assume grande relevância visto que é amplamente explotado com fins de abastecimento industrial e agropecuário.

A recarga de aquíferos pode ser estimada através de diversas técnicas, onde são levados em conta diferentes parâmetros, tais como precipitação, taxa de evapotranspiração, características texturais e estruturais e ocupação do solo, vegetação e topografia. A eficácia da técnica a ser aplicada depende da disponibilidade de dados e cada uma delas ajusta-se de forma adequada a uma determinada situação geológica e climática.

O uso de traçadores geoquímicos, que se baseia no balanço de cloretos, constitui uma técnica de estimativa de recarga de aquíferos utilizada mais frequentemente em regiões de climas áridos e semi-áridos, onde tem se mostrado bastante adequada. A sua utilização nestes locais é justificada pelo restrito, ou quase inexistente, escoamento superficial. Este trabalho avalia a aplicação desta técnica para estimar a recarga no Aquífero Coxilha das Lombas, cujas características geológicas são favoráveis, uma vez que sua natureza arenosa limita fortemente a ocorrência de escoamento superficial.

## **ASPECTOS CLIMÁTICOS REGIONAIS**

A área de estudo possui clima subtropical úmido, com média do mês mais quente superior a 22°C e média do mês mais frio entre -3°C e 18°C, sendo que a média anual oscila em torno dos 17°C. O regime de ventos e massas de ar está vinculado às altas pressões tropicais e polares e a velocidade média dos ventos é de 4,4 m/s, com direções predominantes de leste e sul. A precipitação média anual é da ordem de 1.300 mm com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, sendo junho o mês mais chuvoso (133,3 mm) e novembro o mês mais seco (92,1 mm) [2].



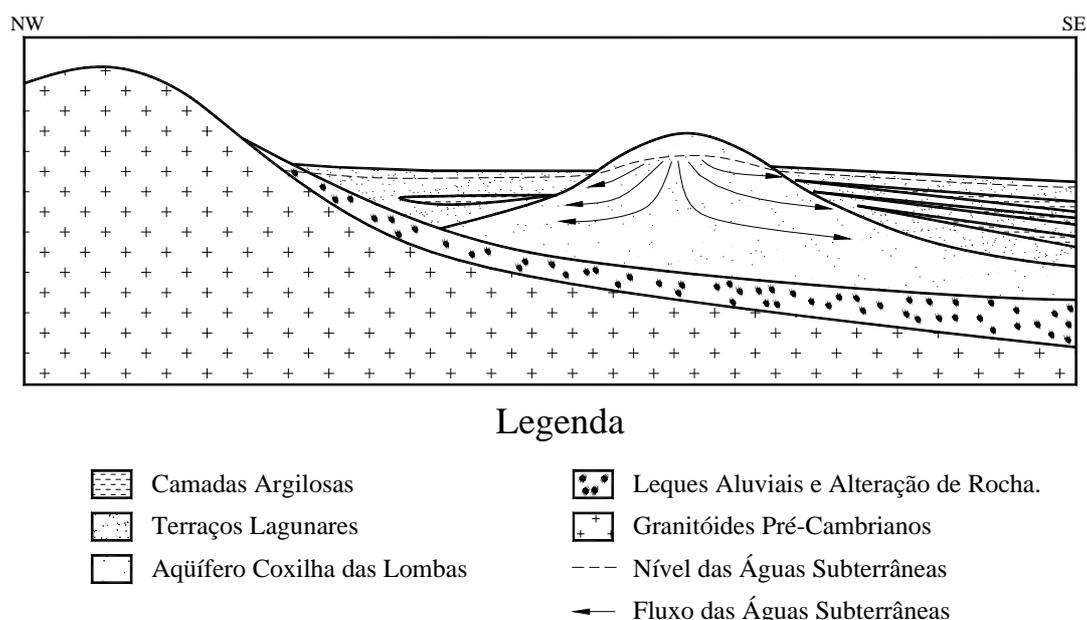
**Figura 1** - Localização e geologia da área de estudo [1].

## GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DO AQUÍFERO COXILHA DAS LOMBAS

O Aquífero Coxilha das Lombas constitui parte dos depósitos sedimentares que representam o mais antigo sistema deposicional do tipo “laguna-barreira” da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, formado há cerca de 400.000 anos e conhecido como Barreira I ou Barreira das Lombas [1]. Sua formação está associada à acumulação de sedimentos eólicos que ancoraram-se preferencialmente sobre altos do embasamento. Este aquífero apresenta caráter livre em sua porção aflorante, a qual se estende por aproximadamente 700 km<sup>2</sup>, podendo estar confinado,

principalmente, a Sudeste numa faixa de extensão desconhecida. É constituído por areias quartzofeldspáticas avermelhadas inconsolidadas a semiconsolidadas, de granulação fina a média, muito bem arredondadas e com conteúdo variável de siltes e argilas infiltradas mecanicamente. Frequentemente apresenta nódulos e crostas de óxido de ferro.

A recarga ocorre principalmente por infiltração da água de precipitação. Em períodos de estiagem, entretanto, a superfície freática sofre rebaixamento regional ocasionando a inversão do fluxo subterrâneo, transformando o sistema de descarga superficial do aquífero (lagoas) em áreas de recarga. Esta inversão de fluxo provoca uma modificação na turbidez e na cor das águas captadas em cacimbas e poços rasos, as quais assumem aspectos visuais idênticos aqueles registrados nas lagoas da região. A zona vadosa apresenta permeabilidade elevada, tornando o escoamento superficial consideravelmente restrito. A descarga do aquífero supre, ainda, a recarga de aquíferos adjacentes confinados e livres formados por terraços lagunares, tanto no lado sudeste quanto noroeste (Fig. 2).



**Figura 2** - seção hidrogeológica esquemática.

Os poços tubulares instalados no aquífero apresentam ótimas vazões, as quais variam de 30 até 150 m<sup>3</sup>/h, numa relação diretamente proporcional à profundidade do poço. Testes hidráulicos indicam transmissividade máxima em torno de 0,21 cm<sup>2</sup>/s e condutividade hidráulica média de 1,73\*10<sup>-2</sup> cm/s. O nível estático (NE) nos poços é bastante variável, apresentando mais ao sul do aquífero pequenas profundidades e alcançando, ao norte, profundidades máximas da ordem de 90 m [3].

## O MÉTODO BALANÇO DE CLORETOS

O cloro é um elemento conservativo que tende a permanecer em solução. Enquanto a água percola verticalmente, certa quantidade da mesma é perdida por evaporação ou através da transpiração das plantas. Com isso, ocorre um incremento na concentração de cloro das águas subterrâneas relativamente às águas da chuva. Em níveis mais profundos da zona saturada de aquíferos livres, bem como em aquíferos confinados, onde os efeitos da evapotranspiração são negligíveis, a concentração de cloreto tende a permanecer constante na água ao longo do tempo, podendo sofrer alterações por processos de mistura.

Considerando a precipitação pluviométrica a única fonte de cloro das águas subterrâneas, sem a contribuição de fontes antropogênicas, como fossas sépticas, e excrementos de gado e que fontes naturais, como evaporitos ou intrusões salinas não são observadas nesta unidade hidrogeológica, a recarga pode, então, ser calculada pela seguinte equação [4, 5, 6, 7]:

$$P \cdot P_{Cl} = R \cdot AS_{Cl} \quad (1)$$

onde  $P$  é a precipitação,  $P_{Cl}$  a concentração de cloretos nas águas meteóricas,  $R$  a recarga e  $AS_{Cl}$  a concentração de cloretos nas águas subterrâneas. A recarga é, portanto, diretamente proporcional à precipitação e a razão da concentração de cloro na água da chuva pela concentração de cloro na água subterrânea, conforme equação a seguir

$$R = P \cdot (P_{Cl} / AS_{Cl}) \quad (2)$$

## METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado com dados hidrogeológicos e meteorológicos disponíveis em arquivos públicos e dados experimentais de capacidade de campo obtidos em amostras do aquífero Coxilha das Lombas. Os parâmetros hidrogeológicos necessários foram disponibilizados pelo Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (SEMA) a partir de registros em processos públicos de outorga de cinco poços de uso industrial explorados pela empresa Ambev S.A. no município de Viamão, distrito de Águas Claras. Os dados pertinentes a este trabalho foram coletados mensalmente no período de abril a setembro de 2002 e constam da tabela 1.

Dados meteorológicos de precipitação e evaporação da estação meteorológica de Cachoeirinha localizada no município homônimo com coordenadas geográficas de 29°57'02" (latitude) e 51°06'02" (longitude) foram cedidos pela Fepagro (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul) e constam da tabela 2.

A capacidade de campo foi determinada em duas amostras de sedimentos do Aquífero Coxilha das Lombas com material desagregado não compactado e sob condições de compactação correspondente a 5,0 metros de profundidade. As amostras, saturadas em água, foram acondicionadas em frascos vedados na boca e perfurados na base, nos quais permaneceram em repouso até que não se registrasse mais escoamento por gravidade. O teor de umidade do sedimento foi determinado após 1, 2, 3, 6 e 7 dias de repouso.

**Tabela 1** - Concentração de cloretos e nível estático (NE) dos poços estudados.

Mês	PPI 01		PPI 02		PPI 03		PPI 04		PPI 05	
	NE	Cl <sup>-</sup> (mg/l)								
Abril	23,9	1,5	10,6	6,2	14,6	2,8	15,6	5,6	7,8	5,6
Maio	24,0	2,6	9,6	6,5	15,4	3,5	16,5	6,1	7,9	5,9
Junho	23,4	3,5	10,1	6,7	15,6	3,8	18,5	5,8	8,1	6,1
Julho	24,5	4,1	9,5	4,2	14,6	2,1	13,1	7,6	8,3	7,6
Agosto	23,6	2,6	7,0	3,1	14,1	1,6	12,0	6,2	7,9	3,2
Setembro	22,5	5,5	6,1	2,5	13,2	2,9	15,0	6,9	8,5	5,2

Fonte: DRH/RS

**Tabela 2** - dados meteorológicos mensais de precipitação, evaporação e infiltração teórica.

Mês	Precipitação	Evaporação	Infiltração
	(P)	(E)	Teórica (P-E)
Fevereiro	123,6	105,1	18,5
Março	122,2	96,3	25,9
Abril	109,8	79,42	30,38
Maio	147,4	75,8	71,6
Junho	189,7	54	135,7
Julho	213,9	55,2	158,7
Agosto	106,9	83	23,9
Setembro	173,7	76,9	96,8

Fonte: FEPAGRO/RS.

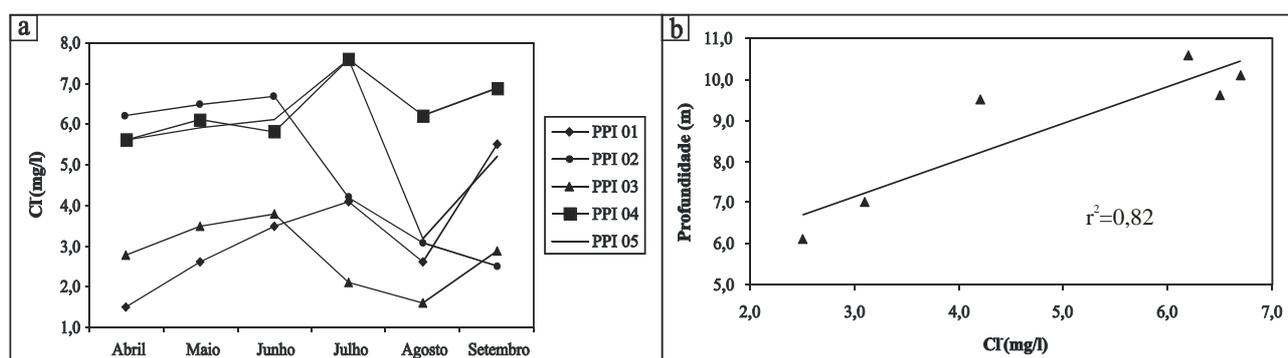
**Tabela 3** - Dados de capacidade de campo determinados com períodos de repouso variando de 1 a 7 dias e teor de umidade natural dos sedimentos do Aquífero Coxilha das Lombas.

	Dias	Sedimento não compactado		Sedimento compactado	
		St9	St2	St9	St2a
Capacidade de campo (teor de água)	1	20,84	18,67	25,18	24,19
	2	20,01	19,99	-	-
	3	17,91	17,93	22,56	23,79
	6	16,52	16,51	-	-
	7	-	-	22,56	23,62
Teor de umidade		11,00	-	-	-

Procedeu-se, ainda, à determinação do teor de umidade natural do sedimento em uma amostra coletada a 3,0 metros de profundidade para efeitos de comparação com a capacidade de campo definida experimentalmente. Os resultados experimentais de capacidade de campo e o teor de umidade natural dos sedimentos são apresentados na tabela 3.

## DISCUSSÃO: ESTIMATIVA DE RECARGA

Inicialmente, a análise da evolução dos cloretos durante as coletas mensais (Fig. 3a) sugeriu um controle sazonal das concentrações, indicando uma forte dependência da variação mensal de infiltração. Este fato se contrapõe à afirmação de alguns autores, que afirmam que devido às propriedades dispersivas do meio poroso, o sinal preservado no aquífero é resultado de um *trend* de longo tempo de recarga, e não resultado de pulsos individuais ou sazonais [8, 9, 10].

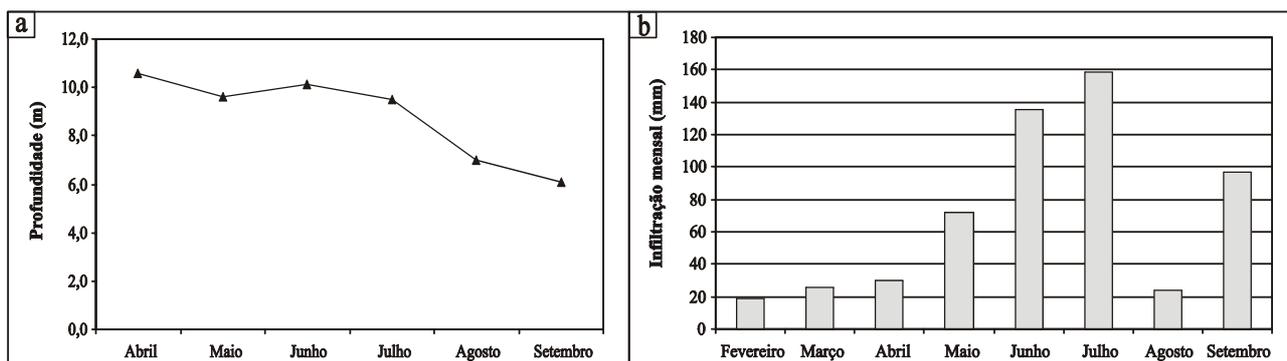


**Figura 3** - a: variação mensal dos teores de Cl<sup>-</sup> nos poços estudados; b: correlação entre a precipitação meteórica e a concentração de Cl<sup>-</sup> no Poço PPI 02.

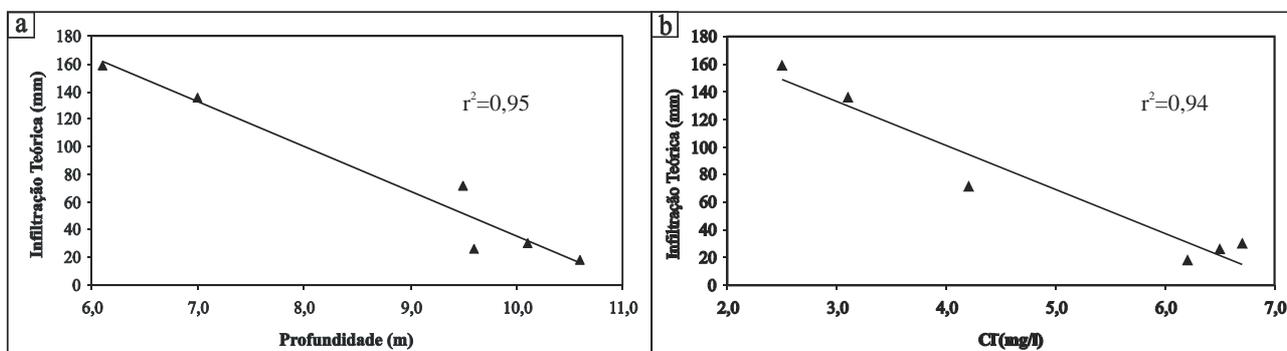
Este fato indica que os teores de cloro apresentados refletem somente a recarga recente, o que torna ineficiente, e errôneo, o seu uso para o cálculo de recarga média anual. A análise comparativa

dos dados de concentração de cloro nas águas subterrâneas e da profundidade do nível estático dos poços apontou a existência de correlação significativa apenas no poço PPI 02, onde o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) é de 0,82. Isso demonstra que os demais poços estudados coletam também águas mais antigas com idades variadas, nos quais o teor de cloro não é uma função única dos pulsos recentes de recarga. (Fig. 3b)

A análise dos gráficos de variação temporal do nível estático (NE) do Poço PPI 02 (Fig. 4a) e de infiltração teórica mensal (Fig. 4b), obtida a partir da subtração da precipitação pela evaporação, mostram que o montante de precipitação tem reflexo no NE dois meses após o evento de recarga meteórica. Já a comparação entre o nível estático do Poço PPI 02 e a infiltração teórica de dois meses anteriores (Fig. 5a) indica que a profundidade NE possui um controle da infiltração teórica mensal numa correlação inversamente proporcional ( $R^2=0,95$ ). O cloro das águas subterrâneas corrobora tal constatação, apresentando uma redução no seu conteúdo com o aumento da infiltração teórica, mantendo uma correlação muito boa ( $R^2=0,94$ ; Fig. 5b). Essas observações permitem concluir que o nível estático e o conteúdo de Cl das águas subterrâneas captadas no Poço PPI 02 refletem a recarga meteórica de dois meses anteriores.



**Figura 4** - a: variação mensal da profundidade do nível estático do Poço PPI 02; b: infiltração teórica mensal de fevereiro a setembro de 2002.



**Figura 5** - a: correlação entre a infiltração teórica e a profundidade do nível estático do Poço PPI 02; b: correlação entre a infiltração teórica e os teores de Cl do Poço PPI 02.

A recarga de cada mês do período de fevereiro a julho de 2002 pode, então, ser calculada através da Equação 2, considerando-se o teor médio de  $Cl^-$  nas águas de precipitação em torno de 1,5 mg/l, o qual corresponde ao menor teor registrado nas águas subterrâneas da região no período considerado (Tabela 4). Comparando os valores de recarga com a precipitação (Fig 6), obteve-se uma equação de recarga média mensal (equação 3):

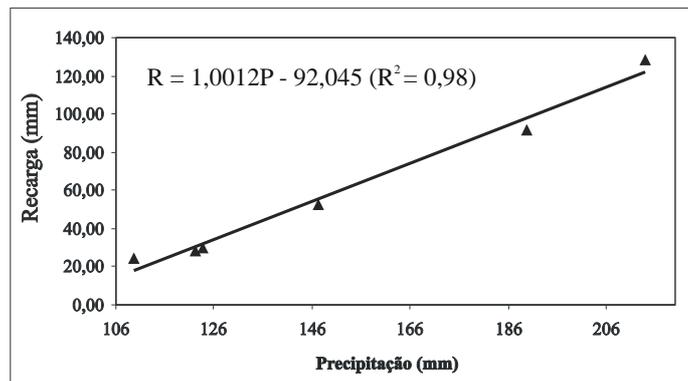
$$R = 1,0012P - 92,045 \quad (R^2 = 0,98) \quad (3)$$

onde P é a precipitação mensal e R a recarga mensal. A aplicação da equação 3 aponta uma recarga média mensal de 16,42 mm, ou 197,04 mm anuais, considerando dados históricos de precipitação que apontam a média de 1300 mm por ano, ou cerca de 108,3 mm mensais.

A capacidade de campo indica a quantidade de água retida no sedimento a partir da qual ocorre fluxo gravitacional para suprir a recarga. Os dados coletados em campo indicaram teores de umidade da ordem de 11 % em profundidade de 3 metros. A partir dos dados de capacidade de campo, obtidos experimentalmente, foi estimada a quantidade de precipitação meteórica necessária para que se inicie a recarga do aquífero após o período de deficiência hídrica, que, de acordo com estudos de Zurita & Tolfo [11], corresponde aos meses de novembro, dezembro e janeiro.

**Tabela 4** - Teor de cloretos das águas subterrâneas coletadas em diferentes meses, taxa mensal de recarga calculada a partir da razão dos teores de cloretos da chuva e da água subterrânea, precipitação mensal e a recarga mensal.

Teor de cloretos (mg/l)		Taxa mensal de recarga (mm)		Precipitação mensal (mm)		Recarga mensal (mm)	
Abril	6,2	Abril	0,2419	Fevereiro	123,6	Fevereiro	29,90
Maio	6,5	Maio	0,2308	Março	122,2	Março	28,20
Junho	6,7	Junho	0,2239	Abril	109,8	Abril	24,58
Julho	4,2	Julho	0,3571	Maio	147,4	Maio	52,64
Agosto	3,1	Agosto	0,4839	Junho	189,7	Junho	91,79
Setembro	2,5	Setembro	0,6000	Julho	213,9	Julho	128,34



**Figura 6** - correlação entre a recarga calculada e a precipitação meteórica.

Considerando a umidade média de 11% e uma capacidade de campo média de 19,5%, a recarga do aquífero somente será efetiva quando o montante de precipitação suprir água para infiltração em torno de 170 mm por metro de espessura da zona vadosa, desde que as chuvas sejam concentradas em curto período de tempo. Caso a precipitação seja distribuída em longos períodos de tempo, a quantidade mínima de chuvas deverá ser maior para produzir recarga.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cálculo de recarga pelo balanço de cloretos apresentou resultados satisfatórios, entretanto deve ser usada com algumas restrições, visto que o conteúdo de cloretos das águas subterrâneas varia sazonalmente, como resultado dos pulsos de recarga recente. Os resultados apontaram valores em torno de 200 mm por ano, o que indica uma evapotranspiração da ordem de 1100 mm, uma vez que a precipitação anual média é de 1300 mm. Estes valores são concordantes com as médias de evaporação medidas em estações meteorológicas da região, mostrando fraca ou nenhuma transpiração, o que se justifica pela pouca vegetação na área, a qual se restringe a pastagens e mata rasteira.

Embora este dado tenha sido obtido de amostras de apenas um poço, pode ser extrapolado para todo o aquífero, em vista da grande homogeneidade textural e granulométrica que ele possui. Ademais, é importante destacar a significância desse dado, que indica uma grande disponibilidade hídrica para o aquífero, cuja importância é muito grande na região. Merece destaque, ainda, o fato de que este aquífero também supre a recarga de aquíferos confinados que são amplamente explorados em regiões adjacentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tomazelli, L. J. & Villwock, J.A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: geologia da planície costeira. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (editores), Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Edições CIGO/UFRGS, p. 375-406. 2000.
- [2] Grupo Executivo da Região Metropolitana. Plano Piloto – Parque Regional de Itapuã. Porto Alegre. 2 v. 1975.
- [3] Machado, J. L. F. Características hidrolíticas dos sistemas aquíferos Quaternários da região adjacente de Porto Alegre-RS. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (8. : 1994 : Recife). Anais. Recife: ABAS, 1994. p. 21-26.
- [4] Eriksson, E., & Khunakasem, V. Chloride concentration in groundwater, recharge rate, and rate of deposition of chloride in the Israel Coastal Plain. *Journal of Hydrology* 7, p. 178–197. 1969.
- [5] Allison, G. B. & Hughes, M. W. The use of environmental chloride and tritium to estimate total recharge to an unconfined aquifer. *Australian Journal of Soil Research* 16, p. 181–195. 1978.
- [6] Cook, P.G.; Walker, P. R. & Jolly, I.D. Spatial variability of groundwater recharge in a semi-arid region. *Journal of Hydrology*, 111, p. 195-212. 1989.
- [7] Edmunds, W.M. & Gaye, G.B. Estimating the spatial variability of groundwater recharge in the Sabel using chloride. *Journal of Hydrology*, 7, p. 178-197. 1994.
- [8] Stone, W. J. & McGurk, B. E. Ground-water recharge on the Southern High Plains east-central New Mexico. In “New Mexico Geological Society Guidebook, 36th Field Conference,” p. 331–335. New Mexico Geological Society, Santa Rosa, NM. 1995.
- [9] Wood, W. W. & Sanford, W. E. Chemical and isotopic methods for quantifying ground-water recharge in a regional, semiarid environment. *Ground Water* 33, p. 458–468. 1995.
- [10] Macfarlane, P.A; Clark, J.F.; Davisson, M. L.; Hudson, G.B & Whittemore, G.O. Late-Quaternary recharge determined from chloride in shallow groundwater in the Central Great Plains. *Quaternary Research* 53, p. 167–174. 2000.
- [11] Zurita, M. L. L. & Tolfo, A. M. A qualidade do ar em Porto Alegre. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 92 p. 2000.