

## IV-082 - ANÁLISE SAZONAL DA FLUTUAÇÃO DE NÍVEL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM POÇO DE MONITORAMENTO NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

**Thiago Boeno Patricio Luiz<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC/UFSM na área de concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**José Luiz Silvério da Silva<sup>(2)</sup>**

Geólogo pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, Mestre em Geociências pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e Doutor em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Professor Titular da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

**Willian Borba<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEAmb/UFSM

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Laboratório de Hidrogeologia- LABHIDROGEO/UFSM. Av. Roraima 1000, Prédio 17, Sala 1605. Bairro Camobi- Santa Maria, RS, Brasil. CEP: 97105-900 - - Tel: (55) 3220-8638 - e-mail: thiagoboeno@hotmail.com

### RESUMO

A correta interpretação da dinâmica e comportamento dos níveis de água subterrânea frente aos diferentes tipos de aquífero é necessária para uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos. Este trabalho objetivou analisar estatisticamente os dados diários de flutuação do nível estático de água subterrânea, identificando-se possíveis tendências sazonais na série histórica. Foram analisadas inferências extraídas dos registros de níveis e cruzados com dados pluviométricos, divididos em estações do ano. O poço de monitoramento é dotado de registrador automático de nível e está localizado na Bacia do Arroio Lajeado Grande no município de Alegrete no Estado do Rio Grande do Sul. O espaço temporal considerado foi de 22 de dezembro de 2012 a 21 de dezembro de 2013, totalizando 365 dias de registros. As investigações dos dados foram realizadas por meio do aplicativo *Statistica 7*, através da análise da normalidade utilizando-se os testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, bem como avaliando-se a tendência dos dados por regressão linear. Os dados de níveis estáticos foram adquiridos através da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) disponível no banco de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Os dados de precipitação utilizados são do Sistema de Informações Hidrológicas pertencentes à Agência Nacional de Águas (ANA). Observou-se que os dados de nível não seguem a distribuição normal e apresentaram distintas tendências de flutuações sazonais dos valores, onde a precipitação foi o principal fator de influência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nível estático, Água subterrânea, Sazonalidade, Recarga Subterrânea.

### INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a análise matemática de séries temporais tem evoluído em grande escala devido ao avanço tecnológico computacional e ao forte interesse de fazer prognósticos precisos para o suporte de tomadas de decisão. No que se refere a modelagem de cenários no âmbito dos recursos hídricos subterrâneos, admite-se que possíveis situações de risco advêm do desconhecimento de seu comportamento dinâmico e pela falta de dados históricos com longos períodos de monitoramento.

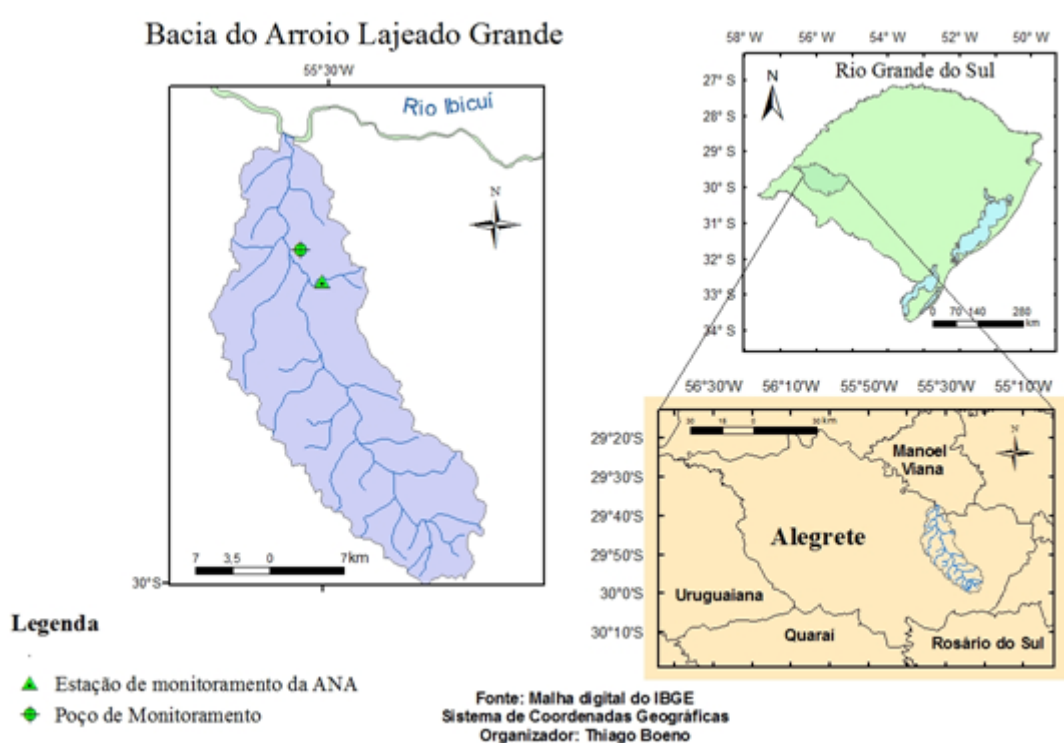
A interpretação de resultados de dados hidrológicos por meio da aplicação de estatística adequada é fundamental para o entendimento do comportamento físico da água em qualquer sistema hídrico fechado. Estudos envolvendo a descrição da dinâmica da água subterrânea são importantes para o correto entendimento da interação dos diferentes tipos de aquíferos existentes.

Oscilações no nível d'água podem resultar de uma variedade de fenômenos naturais (precipitação, evapotranspiração, pressão atmosférica, variações na temperatura), no entanto a precipitação pluviométrica é o fator predominante (MOON *et al*, 2004) que conduz as maiores amplitudes de flutuação do nível da água. Desta forma, o presente estudo teve por objetivo aplicar testes estatísticos em dados diários de nível estático em um poço de monitoramento na Bacia do Arroio Lajeado Grande, a fim de verificar a normalidade da distribuição dos dados e identificar possíveis tendências sazonais na série histórica e sua relação com a recarga subterrânea. Para a análise, foram agregados valores da precipitação no período com o intuito de entender melhor a variação dos dados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo representada na figura 1 está localizada no oeste do Rio Grande do Sul, inserida na região hidrográfica do Uruguai e especificamente na Bacia Hidrográfica do Ibicuí (U50/ SEMA/RS, 2005), numa região marcada pela ocorrência de importantes processos erosivos, caracterizados pelo desenvolvimento de ravinas, voçorocas e formação de areais. (ALVES; ROBAINA, 2010).



**Figura 1 – Localização do município de Alegrete e da Bacia Hidrológica do Arroio Lajeado Grande.**

O clima em todo o sudoeste do Rio Grande do Sul é definido segundo a classificação de Köppen (KÖPPEN; GEIGER, 1928), como subtropical úmido, tipo Cfa, caracterizado pela presença de invernos frios, verões quentes e inexistência de estação seca, logo com chuvas em todos os meses do ano. As precipitações anuais indicam que a região possui médias superiores a 1.400 mm de acordo com o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Geomorfologicamente a área em estudo situa-se na borda da Bacia Sedimentar do Paraná, na depressão central do Estado constituída por vertentes suaves (coxilhas) em rochas sedimentares passando as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. As cotas altimétricas oscilam entre 75 a 160 metros acima do nível do mar.

O uso e a ocupação do solo no município de Alegrete estão associados à prática da pecuária extensiva e da agricultura intensiva. A pecuária segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2006) conta com um rebanho de aproximadamente 540.000 cabeças entre bovinos, ovinos e equinos. Na agricultura, destaca-se a produção de arroz irrigado e soja.

## **GEOLOGIA LOCAL**

De acordo com mapa Geológico do Estado elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2007), as rochas encontradas na área em estudo são principalmente vulcânicas e sedimentares. As rochas vulcânicas constituem a Formação Serra Geral e são formadas por derrames originários do vulcanismo fissural, ocorrido na bacia do Paraná durante a Era Mesozóica.

Os derrames vulcânicos de composição ácida (riólitos e granófiros) e os básicos (basaltos) e seus produtos de intemperismo formam o Sistema Aquífero Serra Geral. Esse é constituído por aquíferos cristalinos do tipo fissural. De acordo com Machado e Freitas (2005) formam o sistema Aquífero Serra Geral.

As rochas sedimentares são constituídas de sequências de arenitos conglomeráticos de origem fluvial pertencentes à Formação Guará, aos arenitos eólicos da Formação Botucatu e os arenitos/siltitos da Formação Sanga do Cabral, ocorrendo na base do arenito Guará formando um contato discordante. (ALVES; ROBAINA, 2010). Na área do poço de monitoramento em estudo a descrição litológica corresponde a um arenito argiloso amarelo-avermelhado pertencente à Formação Guará. Essas sequências sedimentares constituem os aquíferos porosos intergranulares pertencentes a Zona de Afloramento (ZA) e Zona de Confinamento (ZC) do Sistema Aquífero Guarani (SAG). (OEA/PEA, 2009).

## **OBTENÇÃO DOS DADOS HIDROLÓGICOS**

Os dados dos níveis estáticos foram adquiridos através da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) disponível no banco de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Entende-se como nível estático a medida da distância entre o nível de água até a “boca” do poço. O monitoramento dos níveis de água subterrânea na bacia foi realizado através do poço ID4300020534 dotado de registrador automático de nível, o qual apresenta coordenada com latitude de 29°42’52’’ Sul e longitude 55°31’32’’ Oeste de Greenwich.

O poço em estudo está em uma cota de 117,10 metros acima do nível do mar, possui 56 metros de profundidade e é considerado um aquífero poroso e de condição livre. Está localizado na Escola Agrícola Federal, distando cerca de 32 km da estação do INMET. Esse poço não sofre influência de captações de água subterrânea.

Os dados de precipitação foram adquiridos através do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) mantidas pela Agência Nacional das Águas (ANA), estação pluviométrica de Alegrete-RS, código INMET 02955016, a qual possui uma latitude de 29°41’13’’ Sul e longitude 55°11’45’’ Oeste. O intervalo de tempo selecionado para o estudo foi de 22 de dezembro de 2012 a 21 de Dezembro de 2013. A escolha do período de tempo deu-se pela disponibilidade dos dados e por não apresentaram falhas no período.

## **TRATAMENTO ESTATÍSTICO**

Após ter sido executado o inventário dos dados, o estudo se propôs a verificar a normalidade das séries de nível de água no poço através da aplicação dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. A distribuição Normal ou de Gauss é uma distribuição de probabilidades para variáveis contínuas, ou seja, quando as observações são registradas continuamente no tempo. A distribuição de Gauss é caracterizada pela observação da média e do desvio padrão de uma série onde os valores que seguem a distribuição Normal se distribuem simetricamente em relação à média, apresentando um coeficiente de assimetria próximo a zero.

Diversos métodos estatísticos existentes ao analisarem as séries assumem uma distribuição Normal dos dados. No entanto quando a série não segue uma distribuição Normal torna-se necessário observar com cautela os procedimentos adotados no tratamento estatístico, pois essas inferências podem não ser corretas ou válidas. Razali e Wha (2011) afirmam que basicamente existem três métodos para se avaliar uma distribuição de dados aleatórios com  $n$  observações que são: métodos gráficos (histogramas, bloxplots, Q-Q-plots), métodos numéricos (índice de curtose, assimetria) e métodos formais (teste de Kolmogorov-Smirnov, de Anderson-Darling, de Shapiro-Wilk).

Em seguida realizou-se um diagnóstico das flutuações sazonais dos níveis estáticos do poço em estudo através da análise de regressão linear onde a variável resposta (variável dependente) foi o nível estático e o tempo como variável independente. Depois de plotados nos gráficos, traçou-se uma linha de tendência linear na série, obtendo-se o modelamento da equação que descreve o comportamento da variável associada de uma reta e do valor do  $R^2$ .

## RESULTADOS

### ANÁLISE GLOBAL DA SÉRIE

Em grande parte do período as chuvas ficaram distribuídas de maneira uniforme onde o verão foi a estação mais chuvosa enquanto que a estação menos chuvosa foi no inverno. O mês que apresentou o maior pico de chuva registrado foi na estação da primavera. A precipitação acumulada registrada no período foi de 1648,6 milímetros, apontando para um valor acima das médias anuais da região. A síntese dos dados de níveis estáticos e de chuva foi organizada na tabela 1 que discrimina as médias dos níveis com seus desvios padrão e as chuvas acumuladas, divididos por estações e no período total analisado.

**Tabela 1 – Dados das médias dos níveis de água com seus respectivos desvios padrão e de precipitação acumulada no período de um ano hidrológico.**

Estação do ano	Média do nível estático (m)	Desvio Padrão do nível ( $\sigma$ )	Precipitação Acumulada (mm)
Verão	5,38	0,104	546,4
Outono	5,23	0,072	318,0
Inverno	5,15	0,111	269,3
Primavera	5,06	0,298	514,9

Na avaliação das variações dos níveis estáticos de um aquífero em um poço de monitoramento, a análise dos dados de precipitação é bastante importante, tendo em vista que a precipitação é um dos principais fenômenos responsáveis pelo processo de recarga de aquíferos livres (MOON et al., 2004). A figura 2 ilustra a variação dos níveis estáticos ao longo do período avaliado através de um gráfico em que o nível estático em metros está no eixo y principal em ordem inversa, já que quando o nível estático diminui significa que o aquífero recebeu água. No eixo y secundário estão plotados as precipitações diárias em milímetros, ao longo do período de tempo de registros representado pelo eixo x em dias corridos.



**Figura 2 – Gráfico do período de análise compreendido em um ano hidrológico de 22 de dezembro de 2012 a 21 de dezembro de 2013.**

No período analisado, os dois dias de maior precipitação naquele ano foram na primavera, nos dias 9 e 10 de novembro, totalizando cerca de 86,5 e 107,8 milímetros respectivamente de chuva em cada dia onde o nível estático teve sua maior amplitude de recarga no aquífero. Notou-se que chuvas acumuladas superiores a 40 milímetros geram picos imediatos nos níveis e que o comportamento da série foi variado durante o ano. Essa sensibilidade dos níveis pode estar associada ao fato de que o aquífero é livre e as rochas que o compõe serem porosas (areníticas) com variáveis condutividades hidráulicas (HEATH, 1983).

## AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS

Após a organização das séries realizou-se a análise de normalidade utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, considerando o número de termos ( $n=91$ ) e a confiabilidade de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), estimando-se o p-valor para cada série. Os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Valores dos testes realizados.**

Intervalo	Kolmogorov-Smirnov	p-valor (Kolmogorov-Smirnov)	Shapiro-Wilk	p-valor (Shapiro-Wilk)
Verão	0,191	$7,8 \times 10^{-9}$	0,895	$2,3 \times 10^{-6}$
Outono	0,166	$1,4 \times 10^{-6}$	0,912	$1,3 \times 10^{-5}$
Inverno	0,171	$8,1 \times 10^{-7}$	0,907	$4,5 \times 10^{-6}$
Primavera	0,254	$5,7 \times 10^{-16}$	0,791	$5 \times 10^{-10}$

Como pode ser observado em todos os períodos, os valores estimados pela estatística de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para o p-valor foram todos muito maiores do que o p-valor correspondente. Com isso, rejeitou-se a hipótese de normalidade na distribuição dos dados das séries temporais de nível estático de água subterrânea em um ano hidrológico.

Na sequência, para melhorar a visualização da distribuição dos dados de nível no poço em estudo construiu-se histogramas com os intervalos de frequência observada ao longo do tempo (figuras 3 e 4).



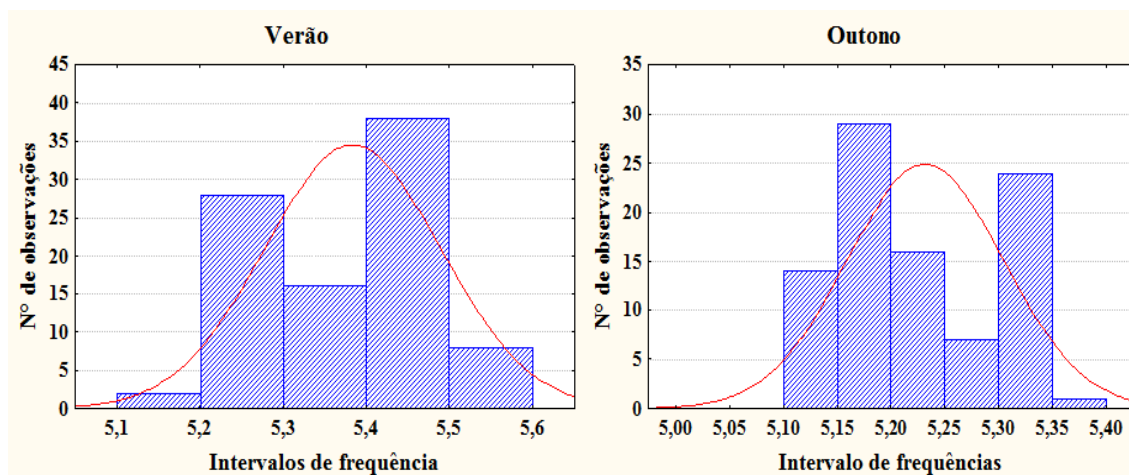


Figura 3 – Histogramas de frequência do nível da água (m).

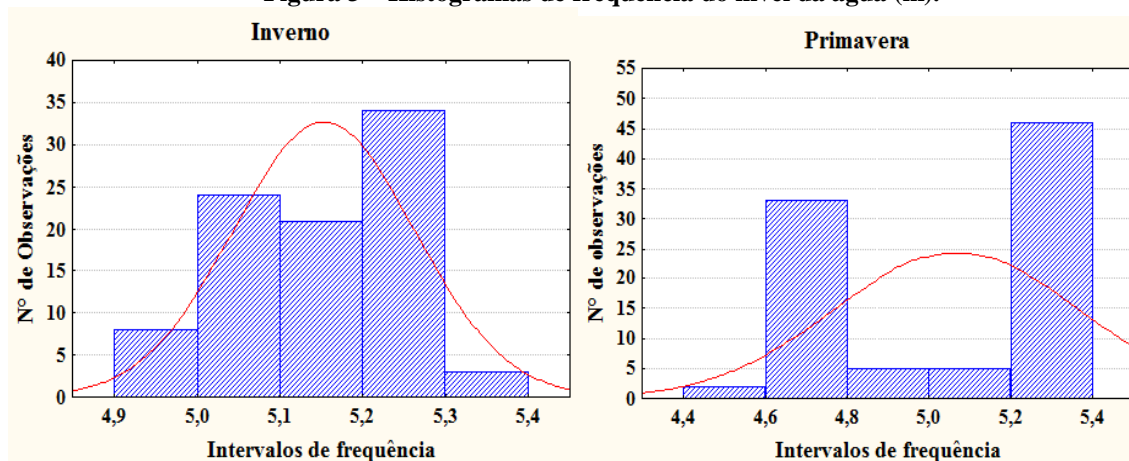


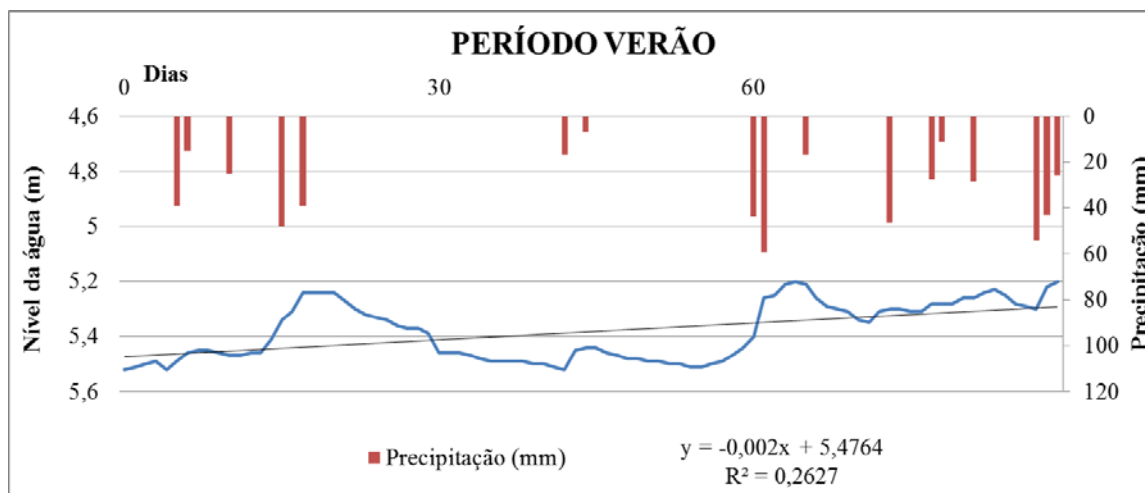
Figura 4 – Histogramas de frequência do nível da água (m).

Os histogramas representam o número de observações encontradas por meio de intervalos de frequência, constatando-se que todas as séries analisadas apresentaram distribuição não Normal. A linha vermelha representa a distribuição Normal dos dados. Ao analisar as frequências, observou-se que os dados não se distribuem ao redor da média em uniformidade. Os padrões nos meses de verão e inverno foram semelhantes.

### ANÁLISE DAS VARIAÇÕES SAZONAIS DOS NÍVEIS ESTÁTICOS

As figuras 5 até 8 ilustram os gráficos com as variações do nível estático do poço de monitoramento com as linhas de tendências de flutuação com as respectivas análises de regressão. O eixo y primário do gráfico representa o nível estático e o eixo y secundário representa as precipitações em milímetros (mm) ocorridas no período analisado em dias corridos.

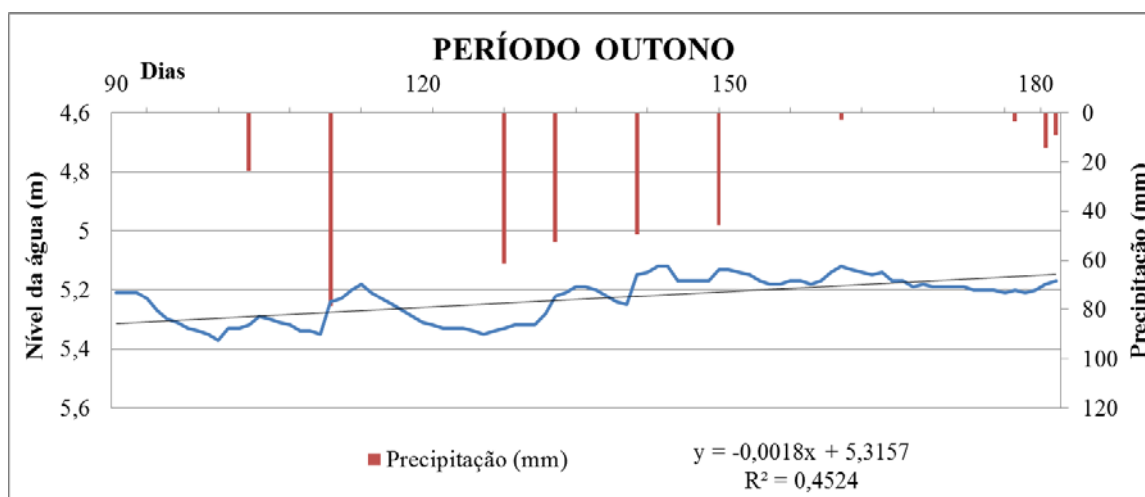
Analisando-se os gráficos no período de monitoramento, o poço apresentou distintas variações ao longo do tempo, onde a precipitação apontou relação direta com os picos de níveis de água subterrânea.



**Figura 5 – Variação do nível de água e precipitação na estação do verão.**

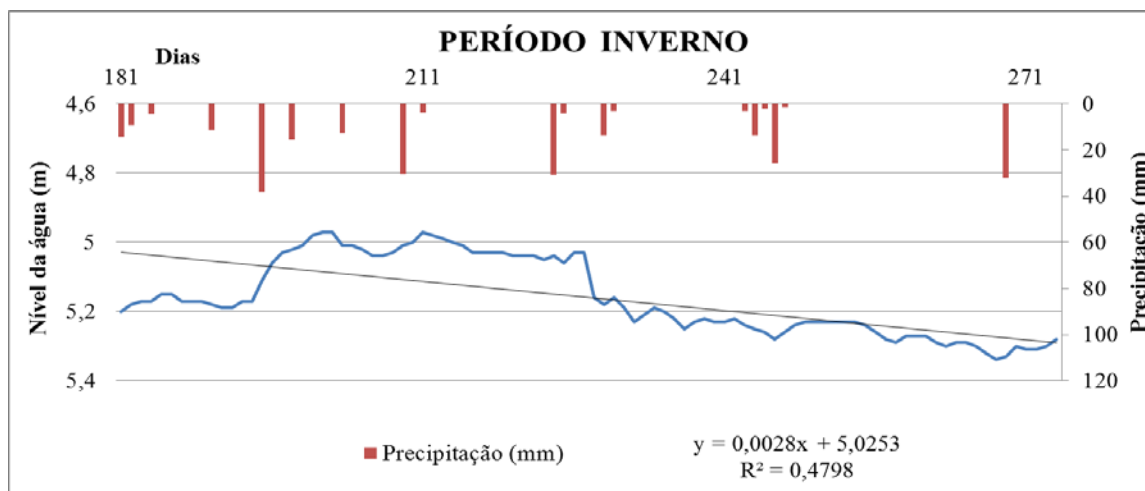
Nos dados de variação do nível no gráfico da figura 5 observa-se que houve recuperação do nível ao longo do período conforme mostra a linha de tendência linear. No entanto, o intervalo do dia 18 ao dia 59 foi de baixa precipitação acumulada, o que gerou um decréscimo de nível, mas que foi recuperado com as precipitações do dia 59 e 60. Os níveis tiveram uma flutuação entre 5,57 metros a 5,20 metros com amplitude de 0,37 metros. Analisando-se o coeficiente de determinação  $R^2$  que mede a proporção da variação dos dados observou-se que a correlação da linha de tendência com os níveis de água foi de 26%.

Na estação do outono os níveis da água em geral aumentaram, conforme mostra a linha de tendência linear. Os níveis da água oscilaram de 5,37 a 5,12 metros registrando a menor amplitude no período com apenas 0,25 metros. Na análise do  $R^2$  o poço apresentou relação da linha de tendência com os níveis de águas registrados em torno de 45 %.



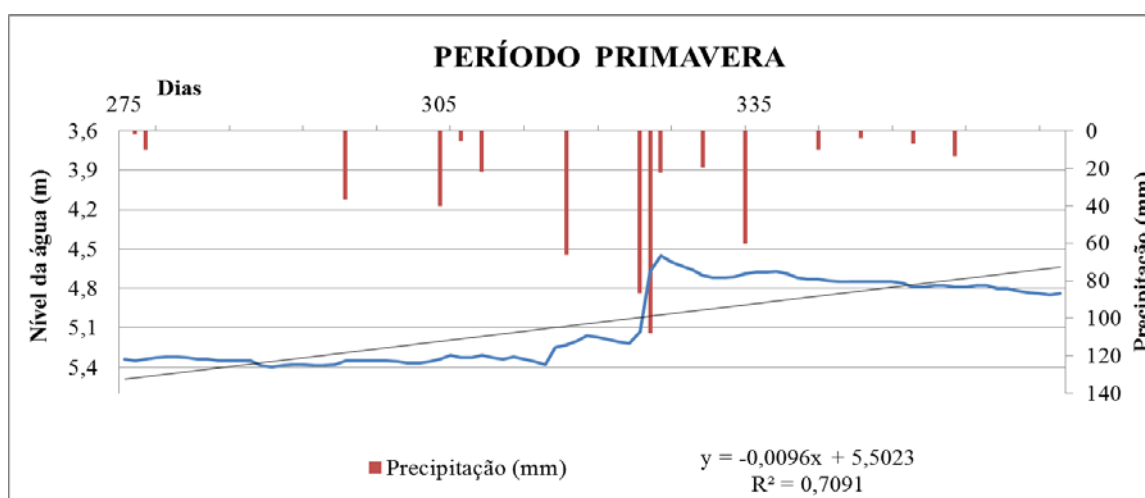
**Figura 6 – Variação do nível de água e precipitação na estação do outono.**

No período de inverno houve uma tendência de rebaixamento do nível no período monitorado, conforme mostra a linha de tendência. As variações de níveis oscilaram de 5,34 a 4,97 metros, obtendo-se uma amplitude de 0,37 metros. O  $R^2$  apresentou relação da linha de tendência com os níveis de águas registrados em torno de 47 %.



**Figura 7 – Variação do nível de água e precipitação na estação de Inverno.**

Na estação da primavera houve uma recuperação dos níveis conforme mostra a linha de tendência da Figura 8. As variações de níveis tiveram a sua maior flutuação que foi entre 5,40 a 4,55 metros, obtendo-se a maior amplitude dos intervalos estudados da ordem de 0,85 metros. Nesse período foi registrado o maior pico de chuva do ano com um valor acumulado de 216,5 milímetros em 3 dias, como resultado o nível da água deu um salto de recuperação de 5,20 a 4,55 metros. Conforme análise do  $R^2$  observou-se uma boa correlação da linha de tendência, onde a equação dos valores de níveis da água registrados em função do tempo apresentou relação de 70%.



**Figura 8 – Variação do nível de água e precipitação na estação Primavera.**

## CONCLUSÕES

Observou-se que os dados registrados de nível estático do poço de monitoramento em estudo não seguiram uma curva Normal e apresentaram distintas tendências de flutuações sazonais ao longo do tempo.

A estação com menor precipitação acumulada foi no inverno, em conformidade com o período de maior tendência de rebaixamento do nível no poço. A primavera foi a estação em que a média dos níveis no poço se mantiveram menores, contribuindo, portanto, com maiores volumes de água, em que os fluxos de saída foram compensados pelos de entrada.

A análise da flutuação do nível em um ano hidrológico da água subterrânea no poço de monitoramento localizada na Bacia do Arroio Lajeado Grande mostrou uma variação de 1,02 metros, e uma amplitude sazonal





com cerca de 0,85 metros. Os volumes das chuvas mostraram uma relação direta com a variação dos níveis da água subterrânea.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, F. S.; ROBAINA L. E. S. - Estudo morfolitológico na bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Grande – Oeste do RS - Ciência e Natura, UFSM, p. 141 - 161, 2010.
2. BRASIL/CPRM. 2007. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Brasília, CPRM. Escala 1:750.000.
3. BRASIL/CPRM/RIMAS – Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>> Acessado em 20 de Set. de 2015.
4. BRASIL/INMET – Instituto Nacional De Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> Acesso em 20 de set. 2015.
5. ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL/SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente – Bacias hidrográficas e municípios do Rio Grande do Sul. Mapa. 2005.
6. HEATH, R. C. Hidrologia básica de águas subterrâneas. Denver: USGS Paper nº20. Wrege, M. e Potter, P. (Trad.) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. 86 p. 1983.
7. HIDROWEB – Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 22 de Set. de 2015.
8. KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Climate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
9. MOON, S.; WOO, N. C.; KWANG, G. L. Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge. Journal of Hydrology, v.292, p.198-209. 2004.
10. ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS/OEA; PROGRAMA ESTRATÉGICO DE AÇÃO/PEA - Projeto de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Edição Bilíngue, OEA, P.424.2009.
11. RAZALI, N. M.; Wah Y. B. - Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. Journal of Statistical Modeling and Analytics. Vol.2 Nº1, p.21-33. 2011.