

## 6 Análise Estatística

### 6.1. Introdução

Com o objetivo de identificar os caminhos de percolação pelas fundações da BTME, foram realizadas correlações lineares dos medidores de vazão com o nível do reservatório, dos medidores de vazão entre si, dos piezômetros e medidores de nível de água com o reservatório e dos medidores de vazão com os piezômetros e medidores de nível de água. Utilizou-se a correlação linear porque partiu-se da hipótese de que o fluxo pelas fundações da barragem seja essencialmente confinado. Essa hipótese foi utilizada em função do grande contraste de permeabilidade entre a argila vermelha e o maciço compactado. As figuras a seguir mostram as perdas de carga ao longo do eixo da seção da estaca 123 + 50 para os piezômetros da argila e do solo saprolítico.

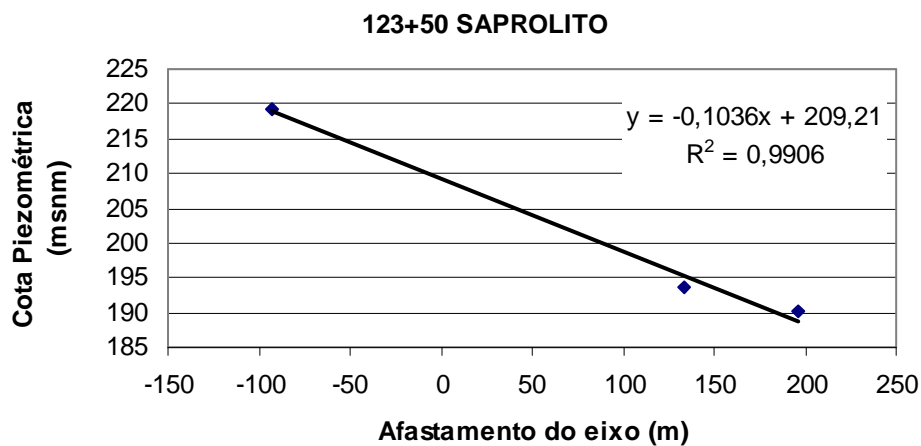


Figura 35 – Perda de carga ao longo da seção da estaca 123 + 50 no solo saprolítico

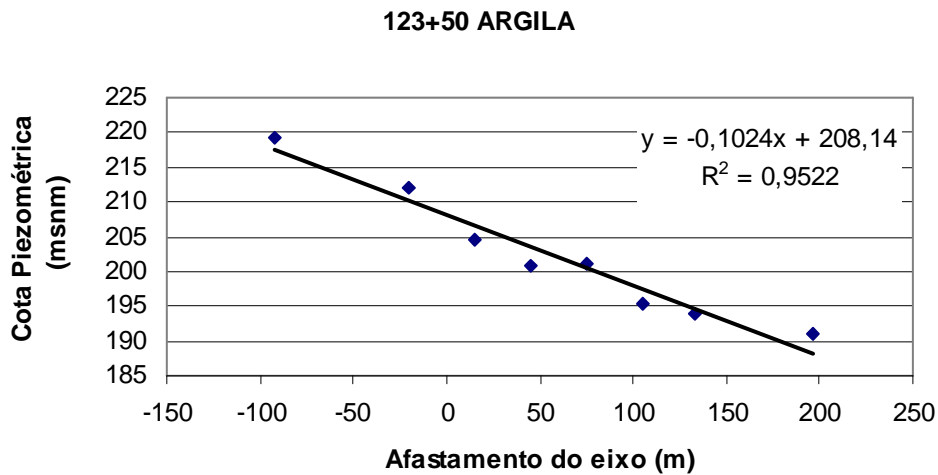


Figura 36 - Perda de carga ao longo da seção da estaca 123 + 50 na argila vermelha

Nos gráficos também é mostrada a equação da reta de ajuste linear entre os pontos. Como pode ser observado pelos valores dos coeficientes de explicação,  $R^2$ , é válido considerar que a perda de carga é linear ao longo das seções, o que está de acordo com as condições de fluxo confinado. Nesse caso de fluxo confinado, as leituras dos instrumentos estariam ligadas ao nível do reservatório através de uma relação linear.

A idéia de fazer correlações lineares entre os instrumentos seria de que se houvesse coeficiente de correlação linear elevado, os mesmos estariam relacionados ao mesmo caminho de percolação.

## 6.2. Aspectos Teóricos

A seguir serão descritos os aspectos teóricos que subsidiaram a utilização das correlações lineares.

### 6.2.1. Correlação Linear

Diz-se que dois conjuntos de dados apresentam correlação entre si, quando é possível relacioná-los através de uma equação. A correlação é linear quando a equação que relaciona os dois conjuntos de dados é uma reta. A correlação linear pode ser positiva ou negativa. Ela é positiva quando um aumento dos valores de um dos conjuntos de dados tem como consequência um

aumento do outro conjunto. É negativa quando o aumento dos valores de um dos conjuntos tem como consequência a redução dos valores do outro conjunto. Matematicamente a correlação linear positiva é representada por uma reta com coeficiente angular positivo e a correlação negativa por uma reta de coeficiente angular negativo.

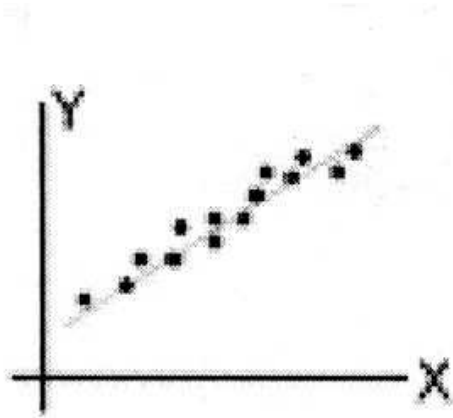


Figura 37 – Correlação Linear Positiva

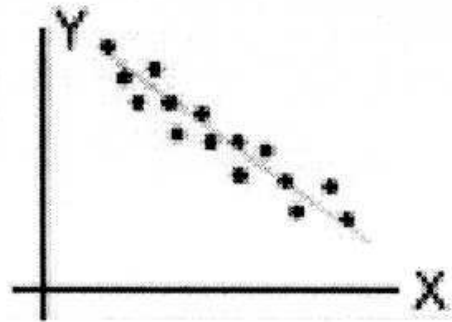


Figura 38 – Correlação Linear Negativa

### 6.2.2. Coeficiente de Correlação Linear

O coeficiente de correlação linear  $\rho$ , ou coeficiente de correlação de Pearson, é a grandeza utilizada para avaliar quão bem dois conjuntos de dados são relacionados por uma reta.

Considerando-se duas variáveis aleatórias,  $X$  e  $Y$ , onde  $x$  representa os valores da variável  $X$  e  $y$  representa os valores da variável  $Y$ , o coeficiente de correlação linear das variáveis  $X$  e  $Y$ ,  $\rho(X, Y)$  é dado pela seguinte expressão:

$$\rho(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (6.1)$$

Na equação 6.1,  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  são as médias das variáveis  $X$  e  $Y$ , respectivamente.

O coeficiente de correlação está compreendido no intervalo entre  $-1$  e  $+1$ . O valor  $-1$  indica uma correlação linear negativa perfeita. O valor de  $+1$  indica uma correlação linear positiva perfeita. Valores entre  $1$  e  $0,9$  indicam forte

correlação, entre 0,89 e 0,7, moderada correlação e menores que 0,7, fraca correlação. Quando  $\rho = 0$ , há ausência de correlação linear entre as variáveis. Isso não significa que não há correlação entre as variáveis, apenas que ela não é linear. É importante não confundir coeficiente de correlação linear,  $\rho$ , com o coeficiente de explicação para regressão linear,  $R^2$ . O coeficiente de correlação indica quão bem duas variáveis distintas se relacionam através de uma equação linear. O coeficiente de explicação para uma regressão linear,  $R^2$ , indica quão próximos os valores reais da variável estão, dos valores da mesma variável, obtidos através da equação de regressão. O  $R^2$  varia de 0 a 1. Ou seja,  $\rho$  está relacionado a duas variáveis distintas e  $R^2$  está relacionado à mesma variável.

### 6.2.3. Coeficiente de Correlação Linear Amostral

O coeficiente de correlação linear  $\rho$  indica a correlação linear entre duas populações. Contudo, é possível estimar o coeficiente  $\rho$  através do coeficiente linear amostral,  $r$ .

Admitindo-se um número  $n$  de pares de valores  $(X, Y)$ , o coeficiente de correlação amostral é dado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6.2)$$

Como o coeficiente  $r$  é uma estimativa de  $\rho$ , é necessário realizar um teste de significância da estimativa. Um dos testes é avaliar a hipótese de que  $\rho = 0$ , ou seja, de que não há relação linear na população. No caso de  $\rho = 0$ , a distribuição amostral de  $r$  é simétrica e representada por uma distribuição  $t$  de Student. No caso de  $\rho \neq 0$ , a distribuição de  $r$  é assimétrica e uma transformação de Fischer produz uma estatística que tem distribuição aproximadamente normal.

Para a hipótese de  $\rho = 0$ , aplica-se a estatística abaixo:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (6.3)$$

onde  $t$  possui uma distribuição de Student com  $n-2$  graus de liberdade. Na equação 6.3,  $n$  é o tamanho da amostra.

Com base em um teste unilateral da distribuição de Student, no nível de 0,01 (confiança de 99%), rejeita-se a hipótese de que  $\rho = 0$  quando  $t > t_{0,99}$ .

Quando se deseja comparar dois coeficientes de correlação distintos, está-se interessado em testar a hipótese  $\rho = \rho_1 \neq 0$ .

Nesse caso, a distribuição de  $\rho$  é assimétrica e utiliza-se a transformação de Z de Fischer, onde:

$$Z = 0,5 \ln \left( \frac{1+r}{1-r} \right) \quad (6.4)$$

possui uma distribuição aproximadamente normal, com média e desvio padrão respectivamente:

$$\mu_z = 0,5 \ln \left( \frac{1+r}{1-r} \right) \quad (6.5)$$

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}} \quad (6.6)$$

Na equação 6.6, n é o tamanho da amostra.

Nesse caso, rejeita-se a hipótese de que  $\rho = \rho_1$  quando  $z = \frac{Z - \mu_z}{\sigma_z}$ , com confiança de 95%, quando  $z < -1,96$  ou  $z > 1,96$ .

### 6.3. Resultados das Correlações

Utilizou-se o software STATIGRAPHICS Plus 5.1 para realizar as correlações entre os instrumentos. O programa já calcula o valor  $p$  no momento em que faz a correlação. O valor  $p$  é a probabilidade de que a hipótese  $\rho = 0$  seja verdadeira. Ou seja, um valor  $p$  menor que 0,01 significa que se pode afirmar com mais de 99 % de confiança que a hipótese  $\rho = 0$  não é verdadeira.

Inicialmente calculou-se as correlações dos medidores de vazão com o reservatório e dos medidores de vazão entre si. Os valores dos coeficientes  $r$  são mostrados na Tabela 12. Utilizou-se a cor azul quando  $p < 0,01$ , vermelho quando  $p > 0,1$  e verde quando  $0,01 < p < 0,1$ .

|      | MVL1    | MVL2   | MVL3   | MVL4    | MVL5    | MVL6   | Reservatório |
|------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|--------------|
| MVL1 | 1       | 0,3794 | 0,4509 | -0,1872 | -0,1585 | 0,4628 | 0,4285       |
| MVL2 | 0,3794  | 1      | 0,3145 | 0,4418  | 0,2516  | 0,373  | 0,7004       |
| MVL3 | 0,4509  | 0,3145 | 1      | 0,0591  | 0,1498  | 0,5836 | 0,1131       |
| MVL4 | -0,1872 | 0,4418 | 0,0591 | 1       | 0,2554  | 0,1365 | 0,06         |
| MVL5 | -0,1585 | 0,2516 | 0,1498 | 0,2554  | 1       | 0,2176 | 0,097        |
| MVL6 | 0,4628  | 0,373  | 0,5836 | 0,1365  | 0,2176  | 1      | 0,1199       |

Tabela 12– Coeficientes  $r$  para os medidores de vazão

Os valores da Tabela 12 foram obtidos correlacionando-se os valores de vazão e nível do reservatório no mesmo dia, de 1 de janeiro de 1990 a 31 de dezembro de 2006. Também correlacionou-se os valores de vazão do MVL2 com a média do nível do reservatório com 1, 2, 3, 4 e 5 dias de atraso. Ou seja, a vazão do dia 18/05/2005, dia de leitura do medidor, foi correlacionada com a média do nível do reservatório nos dias 18/05/2005 e 17/05/2005. Depois com a média nos dias 18/05, 17/05 e 16/05, e assim por diante até 5 dias. A melhor correlação ocorre com a média dos últimos 4 dias. Contudo, a melhora na correlação é pequena. Abaixo são mostrados os valores de  $r$  para o MVL2 com o nível médio do reservatório e os dias de atraso.

| Dias  | $r$    |
|-------|--------|
| mesmo | 0,7044 |
| 1     | 0,7284 |
| 2     | 0,7425 |
| 3     | 0,7445 |
| 4     | 0,7443 |
| 5     | 0,7421 |

Tabela 13 – Coeficiente de Correlação Amostral entre MVL2 e nível médio do reservatório em função dos dias de atraso

Para avaliar se o coeficiente de correlação estimado com valores de vazão e nível do reservatório no mesmo dia difere significativamente do calculado com 3 dias de atraso, é necessário fazer um teste da hipótese  $\rho = \rho_1 \neq 0$ . Nesse caso tem-se:

$$Z_1 = 0,5 \ln \left( \frac{1+r_1}{1-r_1} \right) = 0,5 \ln \left( \frac{1+0,7044}{1-0,7044} \right) = 0,88$$

$$Z_2 = 0,5 \ln \left( \frac{1+r_2}{1-r_2} \right) = 0,5 \ln \left( \frac{1+0,7445}{1-0,7445} \right) = 0,96$$

$$z = \frac{(Z_1 - Z_2) - (\mu_{z1} - \mu_{z2})}{\sigma_{z1-z2}} = \frac{(0,88 - 0,96) - 0}{\sqrt{\frac{1}{700} + \frac{1}{700}}} = -1,58$$

A amostra tem tamanho  $n = 703$ .

Rejeitar-se-ia a hipótese de que  $\rho = \rho_1 \neq 0$  com 95% de confiança apenas se  $z > 1,96$  ou  $z < -1,96$ . Como  $-1,96 < z = -1,58 < 1,96$ , não há diferença significativa entre correlacionar as vazões com o nível do reservatório no dia da leitura da vazão ou com a média do nível nos 3 dias anteriores à leitura da vazão.

Para os demais medidores de vazão não realizou-se correlações com dias de atraso e tampouco teste de significância. Partiu-se da hipótese de que o resultado do teste de significância seja o mesmo para todos os medidores de vazão.

Os piezômetros e medidores de nível de água foram correlacionados com o nível do reservatório e com os medidores de vazão. A Tabela 14 mostra os valores dos coeficientes  $r$  obtidos.

| Instrumento | Coeficiente $r$ |         |         |         |         |         |         |
|-------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|             | Reservatório    | MVL1    | MVL2    | MVL3    | MVL4    | MVL5    | MVL6    |
| PG-L-1      | 0,8878          | 0,5225  | 0,4300  | 0,2154  | -0,2311 | 0,0041  | 0,2691  |
| PG-L-2      | 0,7583          | 0,0416  | 0,6248  | 0,1231  | 0,2616  | 0,3023  | 0,3018  |
| PG-L-3      | xxx             | xxx     | xxx     | xxx     | xxx     | xxx     | xxx     |
| PG-L-4      | xxx             | xxx     | xxx     | xxx     | xxx     | xxx     | xxx     |
| PG-L-5      | 0,4538          | 0,5015  | -0,0556 | 0,3362  | -0,4348 | -0,1637 | 0,2109  |
| PG-L-6      | 0,6107          | 0,0382  | 0,7520  | 0,0382  | 0,4966  | 0,4446  | 0,2743  |
| PG-L-7      | 0,2641          | -0,1721 | 0,6966  | -0,0036 | 0,6285  | 0,5084  | 0,2084  |
| PG-L-8      | 0,0264          | -0,3913 | 0,3891  | -0,1895 | 0,4827  | -0,8982 | -0,0179 |
| PG-L-9      | 0,0969          | -0,3499 | 0,5199  | -0,0975 | 0,6116  | 0,5245  | 0,0617  |
| PS-L-1      | 0,6787          | 0,0358  | 0,8511  | 0,1488  | 0,7167  | 0,479   | 0,2825  |

| Instrumento | Coeficiente <i>r</i> |         |         |         |         |         |        |
|-------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
|             | Reservatório         | MVL1    | MVL2    | MVL3    | MVL4    | MVL5    | MVL6   |
| PS-L-2      | 0,8099               | 0,4996  | 0,7423  | 0,3539  | 0,3293  | 0,2712  | 0,4507 |
| PS-L-3      | 0,2114               | -0,3165 | 0,6953  | -0,0754 | 0,8787  | 0,5327  | 0,1131 |
| PS-L-4      | 0,1879               | -0,3530 | 0,6753  | -0,0995 | 0,8688  | 0,5368  | 0,0756 |
| PS-L-5      | 0,1976               | -0,3384 | 0,6885  | -0,1000 | 0,8745  | 0,5393  | 0,0797 |
| PS-L-6      | 0,2194               | 0,3286  | 0,5367  | 0,4328  | 0,4193  | 0,2345  | 0,5973 |
| PS-L-7      | 0,1665               | -0,2277 | 0,5207  | -0,0767 | 0,6169  | 0,4034  | 0,1084 |
| PS-L-8      | 0,4698               | -0,0722 | 0,8092  | 0,0695  | 0,8133  | 0,5178  | 0,2415 |
| PS-L-9      | 0,4061               | -0,0769 | 0,7938  | 0,1000  | 0,8348  | 0,5227  | 0,2610 |
| PS-L-10     | 0,552                | 0,4868  | 0,7475  | 0,4543  | 0,4199  | 0,2774  | 0,5796 |
| PS-L-11     | 0,5961               | 0,5128  | 0,7657  | 0,4183  | 0,4216  | 0,2978  | 0,5231 |
| PS-L-12     | 0,5902               | 0,4629  | 0,7562  | 0,4040  | 0,4679  | 0,3071  | 0,5155 |
| PS-L-13     | 0,3193               | 0,6156  | 0,3335  | 0,5522  | -0,2630 | -0,0672 | 0,6362 |
| PS-L-14     | 0,4618               | 0,4637  | 0,6646  | 0,4266  | 0,4157  | 0,3148  | 0,6254 |
| PS-L-15     | 0,7989               | 0,3401  | 0,8633  | 0,3425  | 0,4753  | 0,3417  | 0,4653 |
| PS-L-16     | 0,6627               | 0,5209  | 0,7806  | 0,4294  | 0,3650  | 0,2325  | 0,5389 |
| PS-L-17     | 0,6416               | 0,5128  | 0,7809  | 0,4240  | 0,3744  | 0,2326  | 0,5314 |
| PS-L-18     | 0,7817               | 0,2920  | 0,8092  | 0,3476  | 0,3921  | 0,2691  | 0,4486 |
| PS-L-19     | xxx                  | xxx     | xxx     | xxx     | xxx     | xxx     | xxx    |
| PS-L-20     | 0,6841               | 0,4727  | 0,7018  | 0,4411  | 0,2742  | 0,1553  | 0,5031 |
| PS-L-21     | 0,8199               | 0,1990  | 0,8122  | 0,2711  | 0,3410  | 0,225   | 0,3658 |
| PS-L-22     | 0,7703               | 0,2024  | 0,8646  | 0,2898  | 0,4455  | 0,2912  | 0,4182 |
| PS-L-23     | 0,8432               | 0,0626  | 0,8109  | 0,1357  | 0,3849  | 0,3037  | 0,2394 |
| PS-L-24     | 0,2581               | 0,5421  | -0,1875 | 0,3414  | -0,5352 | -0,3685 | 0,1871 |
| PS-L-25     | 0,8649               | 0,3531  | 0,8079  | 0,2737  | 0,2773  | 0,0862  | 0,3135 |
| PS-L-26     | 0,8509               | 0,3640  | 0,8073  | 0,2705  | 0,2975  | 0,1168  | 0,3286 |
| PZ-L-01     | 0,0113               | 0,4744  | -0,6109 | 0,1594  | -0,8442 | -0,5101 | 0,0287 |
| PZ-L-02     | 0,089                | -0,2734 | 0,4102  | -0,0070 | 0,3977  | 0,3979  | 0,1478 |
| PZ-L-03     | 0,136                | 0,3866  | 0,2844  | 0,2489  | -0,0265 | 0,0298  | 0,3724 |
| PZ-L-04     | 0,5857               | 0,5661  | 0,7027  | 0,4520  | 0,2950  | 0,1902  | 0,5634 |
| PZ-L-05     | 0,6788               | 0,4763  | 0,7772  | 0,4723  | 0,3494  | 0,2306  | 0,5500 |
| PZ-L-06     | 0,7727               | 0,3189  | 0,7446  | 0,3221  | 0,3203  | 0,2244  | 0,3985 |
| PZ-L-07     | 0,6661               | 0,4164  | 0,4956  | 0,2984  | 0,0466  | 0,1204  | 0,3143 |
| PZ-L-08     | 0,7863               | 0,4541  | 0,7461  | 0,3306  | 0,1988  | 0,0295  | 0,3548 |



| Instrumento | Coeficiente $r$ |        |        |         |        |        |        |
|-------------|-----------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
|             | Reservatório    | MVL1   | MVL2   | MVL3    | MVL4   | MVL5   | MVL6   |
| PZ-L-09     | 0,8126          | 0,4510 | 0,7878 | 0,3019  | 0,2753 | 0,1302 | 0,3609 |
| PZ-L-10     | xxx             | xxx    | xxx    | xxx     | xxx    | xxx    | xxx    |
| PZ-L-11     | 0,3795          | 0,1306 | 0,7006 | -0,0343 | 0,5722 | 0,1921 | 0,2352 |

Tabela 14 – Coeficientes de Correlação Amostral entre piezômetros e medidores de nível de água com nível do reservatório e medidores de vazão.

Para todos os piezômetros elétricos, realizou-se a correlação entre cota piezométrica e nível do reservatório no mesmo dia e com a média dos valores entre o dia, um dia e dois dias de atraso. A tabela a seguir mostra os valores de  $r$  para o PGL1 em função dos dias utilizados para calcular a média do reservatório.

| Dias  | $r$    |
|-------|--------|
| mesmo | 0,8878 |
| 1     | 0,8899 |
| 2     | 0,8857 |

Tabela 15 – Coeficiente de Correlação Amostral entre PGL1 e nível do reservatório em função dos dias de atraso

Realizando-se o teste de significância entre os valores de  $r$  com nenhum ou um dia de atraso, obtém-se um valor de  $z = -0,19$ . Como  $-1,96 < z = -0,19 < 1,96$ , não há diferença significativa entre os valores de  $r$ . As amostras possuem tamanho de 754. Para os demais piezômetros e medidores de nível de água, não foi calculado teste de significância. Partiu-se da hipótese de que não haja diferenças entre os coeficientes calculados no dia e com a média de um dia de atraso.

Para visualizar melhor os resultados, traçou-se curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral para cada caso analisado ( reservatório, MVL1, MVL2, MVL3, MVL4, MVL5 e MVL6), separando os instrumentos por feição (argila e solo saprolítico) e tipo (piezômetros e medidores de nível de água). Os pontos em vermelho nas figuras são os instrumentos, o eixo horizontal são as coordenadas norte e o eixo vertical as coordenadas leste. Colocou-se os eixos nessa posição para o fluxo aparecer nas figuras de cima para baixo, como é a convenção de Itaipu. A idéia de se utilizar essas figuras para correlações entre piezômetros e reservatório é que as regiões de mesma cor estariam

sujeitas às mesmas condições de fluxo. As figuras de correlações entre medidores de vazão de demais instrumentos (piezômetros e medidores de nível de água) indicariam, a partir das regiões de mesma cor, as regiões de maior contribuição para o medidor. Isso porque uma elevada correlação entre um medidor e outro instrumento indicaria que ambos estariam ligados ao mesmo fluxo.

As figuras são mostradas a seguir.

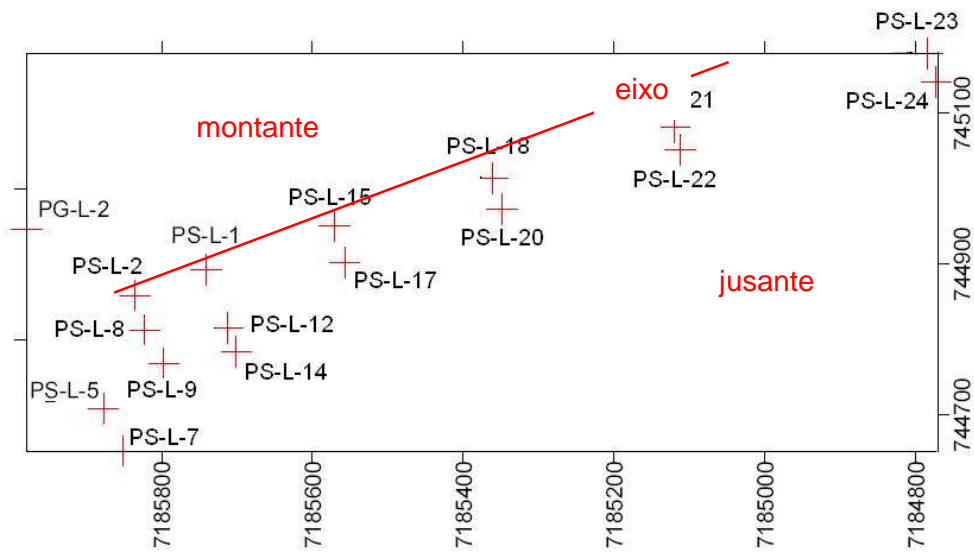


Figura 39 – Localização dos piezômetros do solo saprolítico

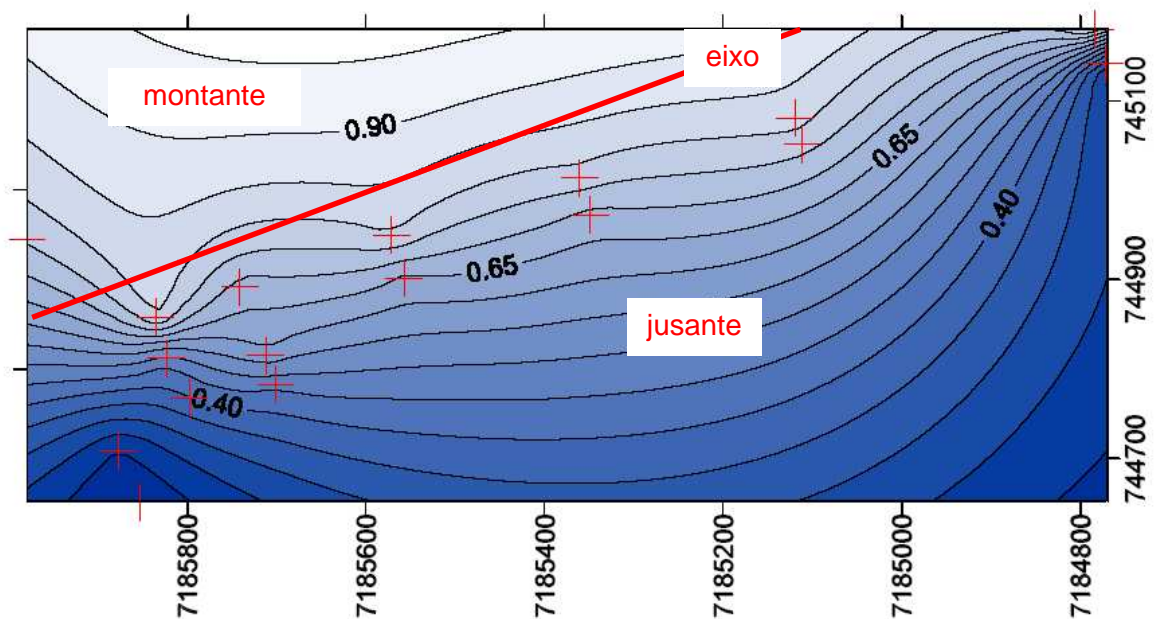


Figura 40 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros do solo saprolítico e reservatório

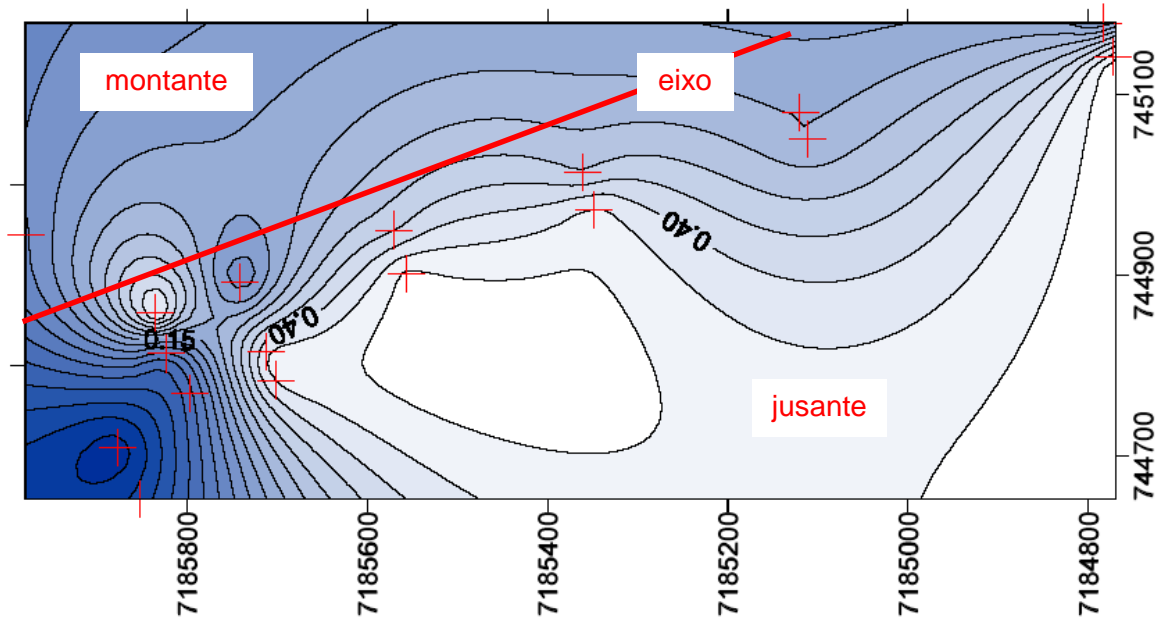


Figura 41 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros do solo saprolítico e MVL1

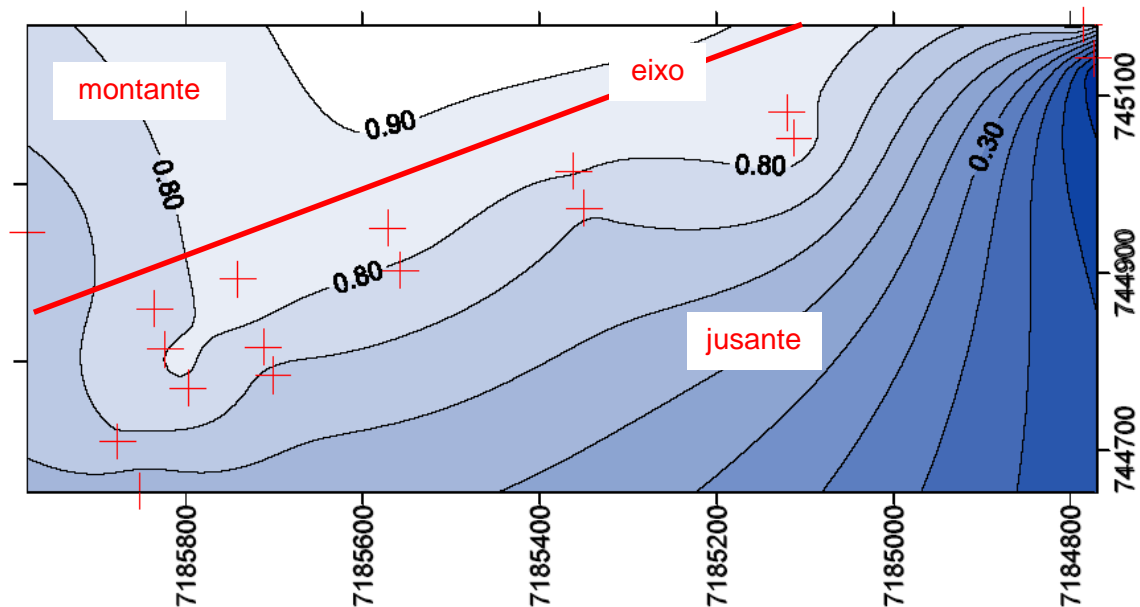


Figura 42 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros do solo saprolítico e MVL2

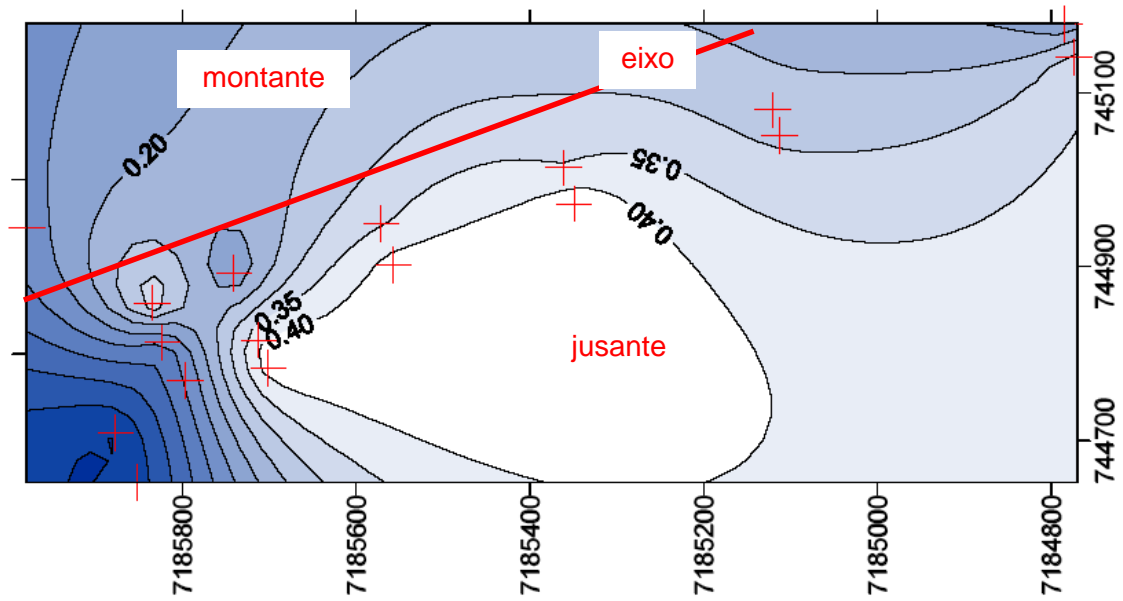


Figura 43 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros do solo saprolítico e MVL3

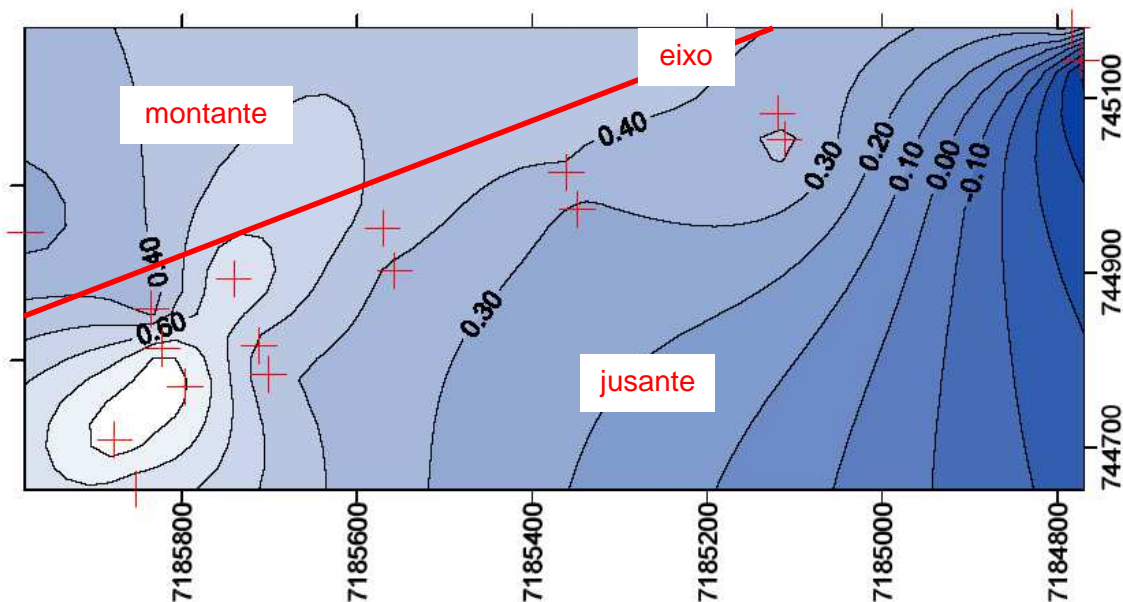


Figura 44 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros do solo saprolítico e MVL4

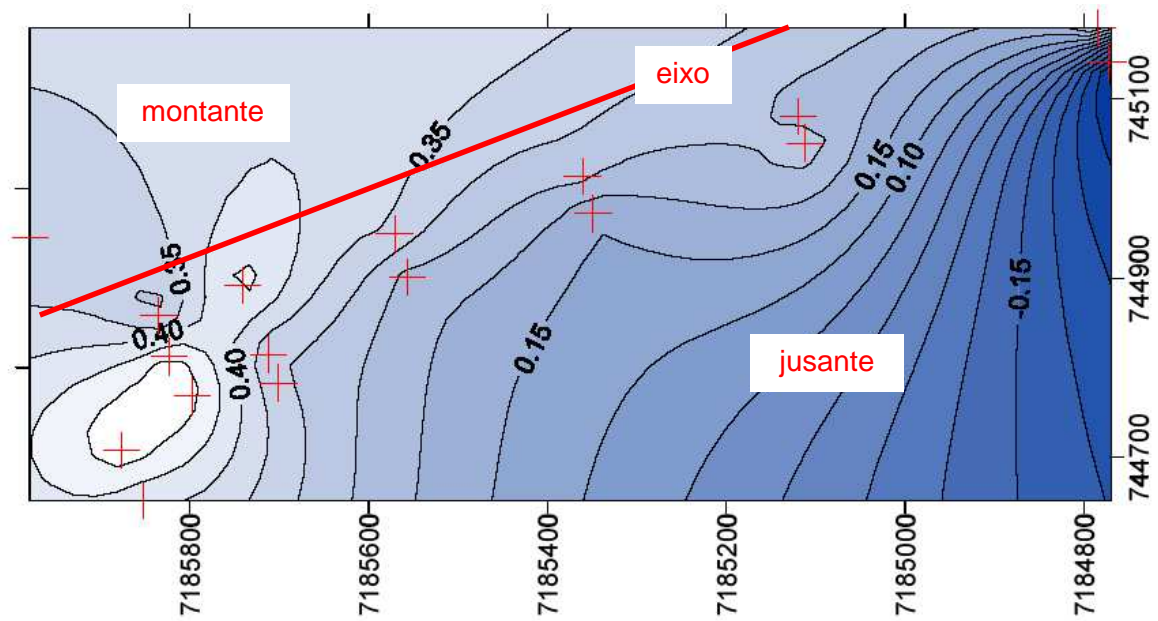


Figura 45 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros do solo saprolítico e MVL5

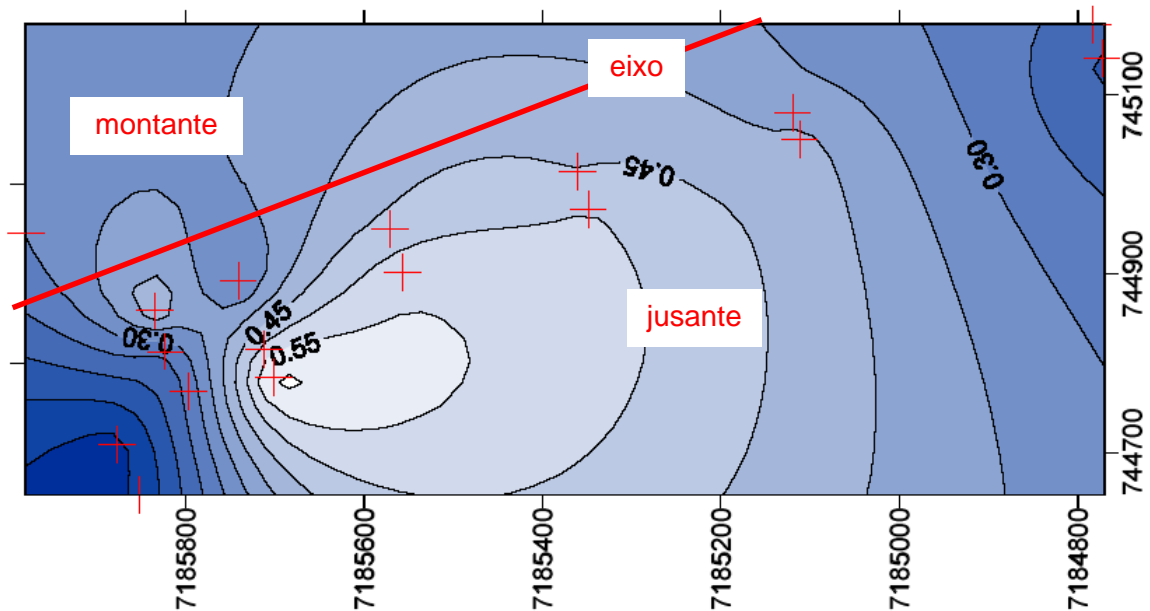


Figura 46 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros do solo saprolítico e MVL6

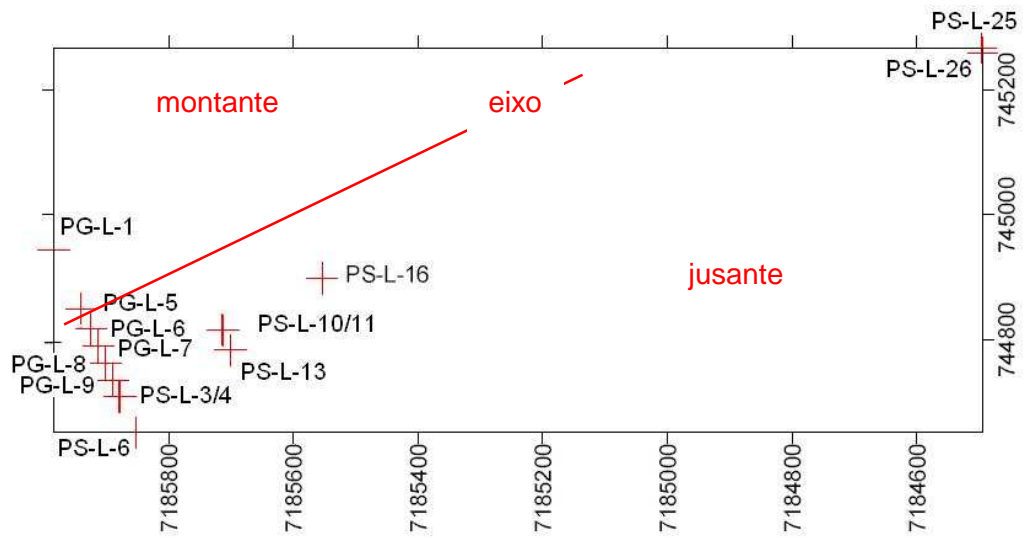


Figura 47 – Localização dos Piezômetros da argila

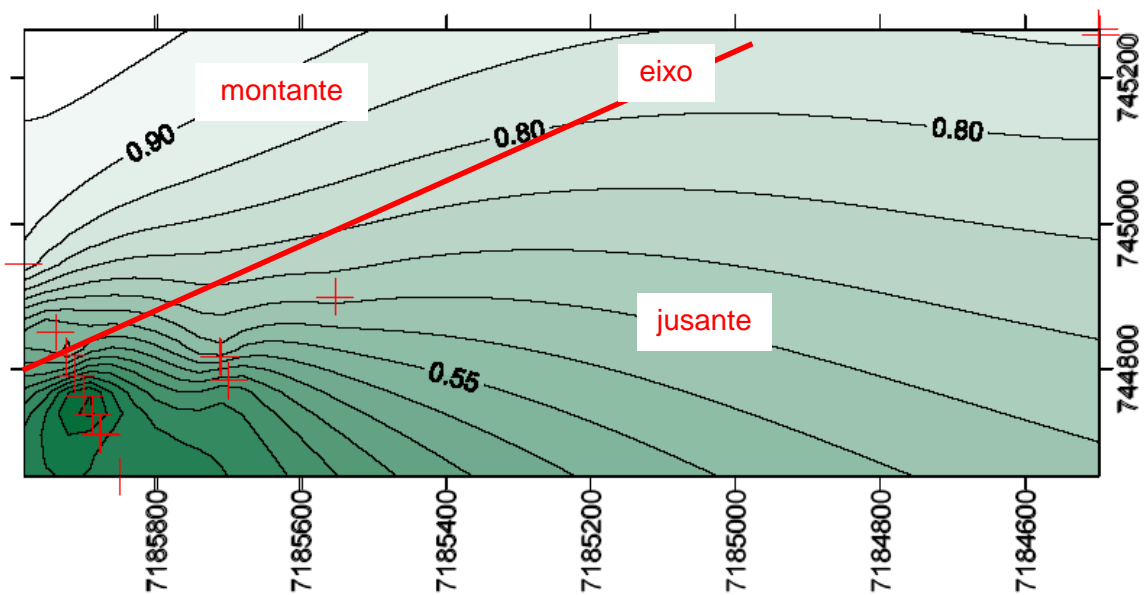


Figura 48 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros da argila e reservatório



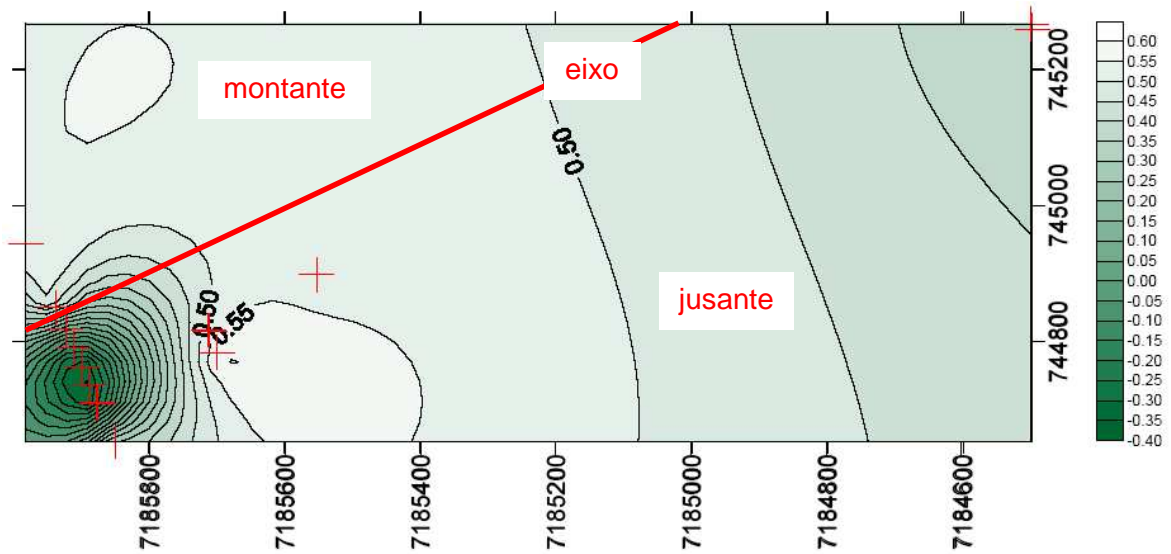


Figura 49 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros da argila e MVL1

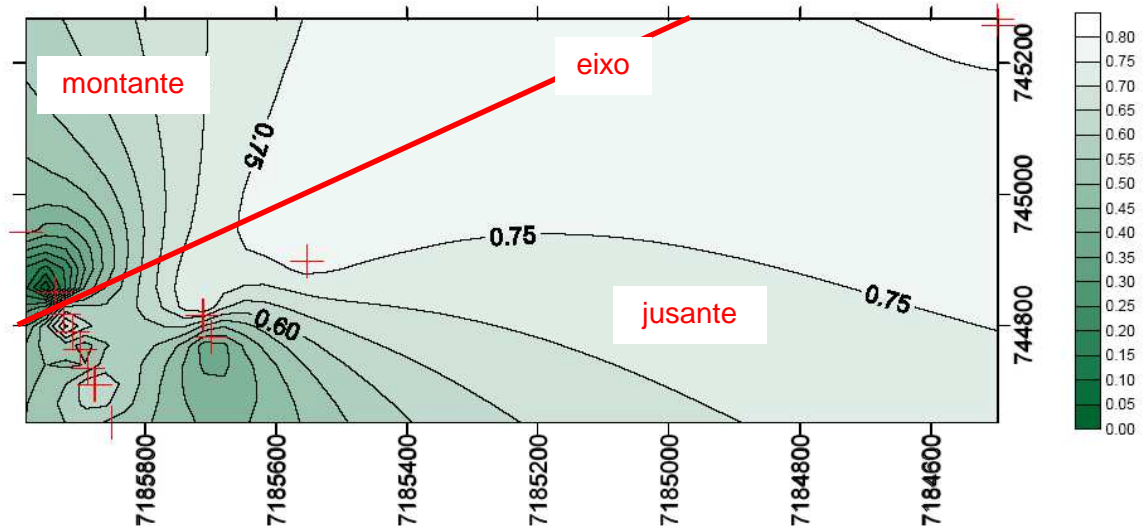


Figura 50 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros da argila e MVL2

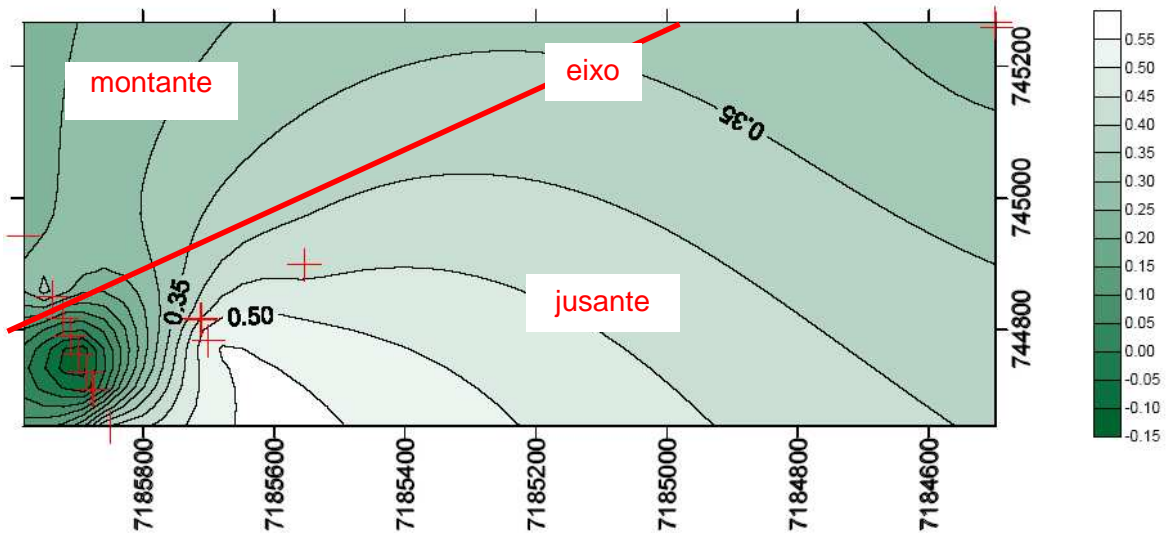


Figura 51 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros da argila e MVL3

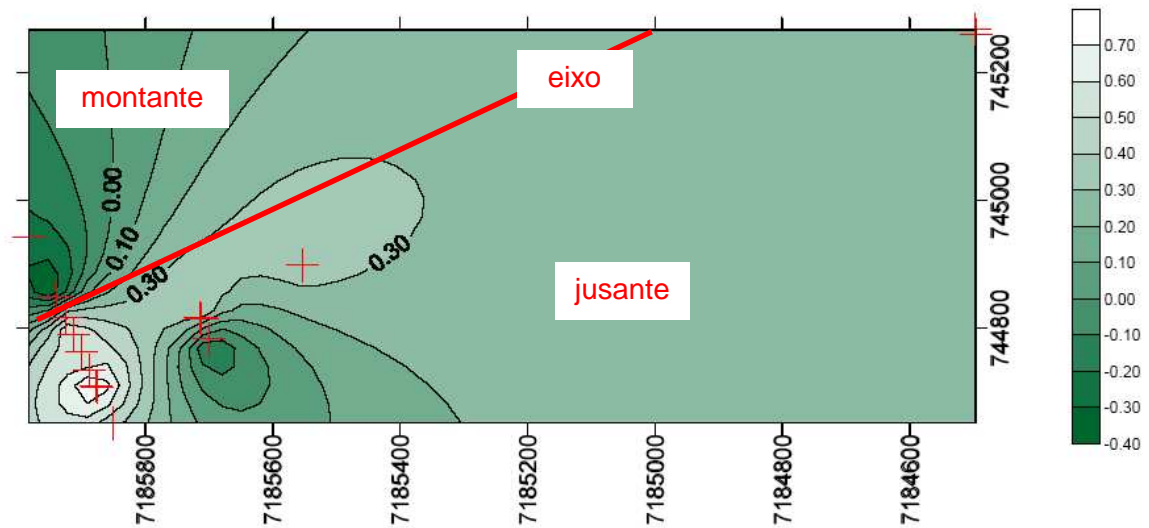


Figura 52 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros da argila e MVL4



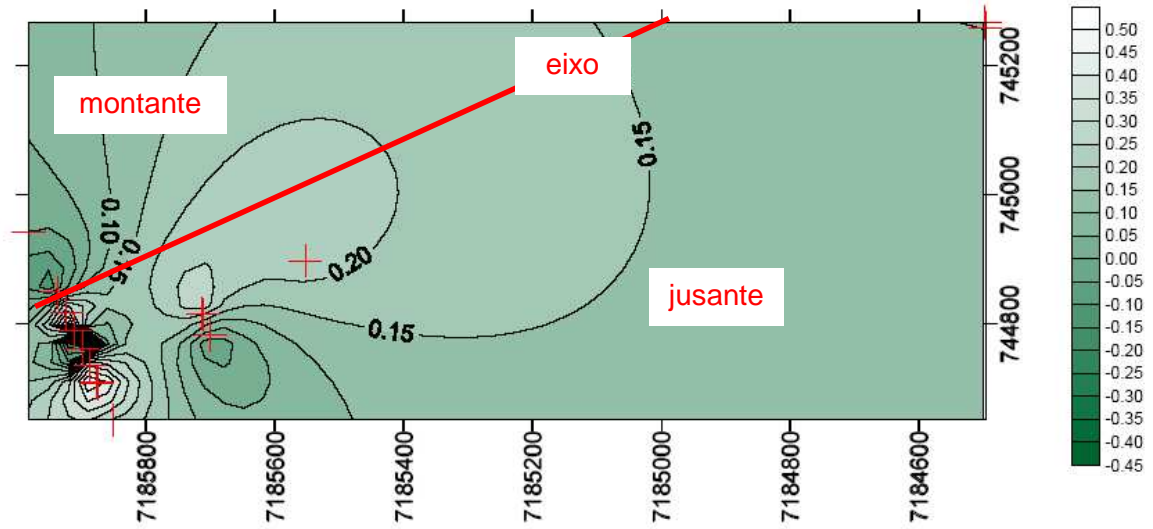


Figura 53 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros da argila e MVL5

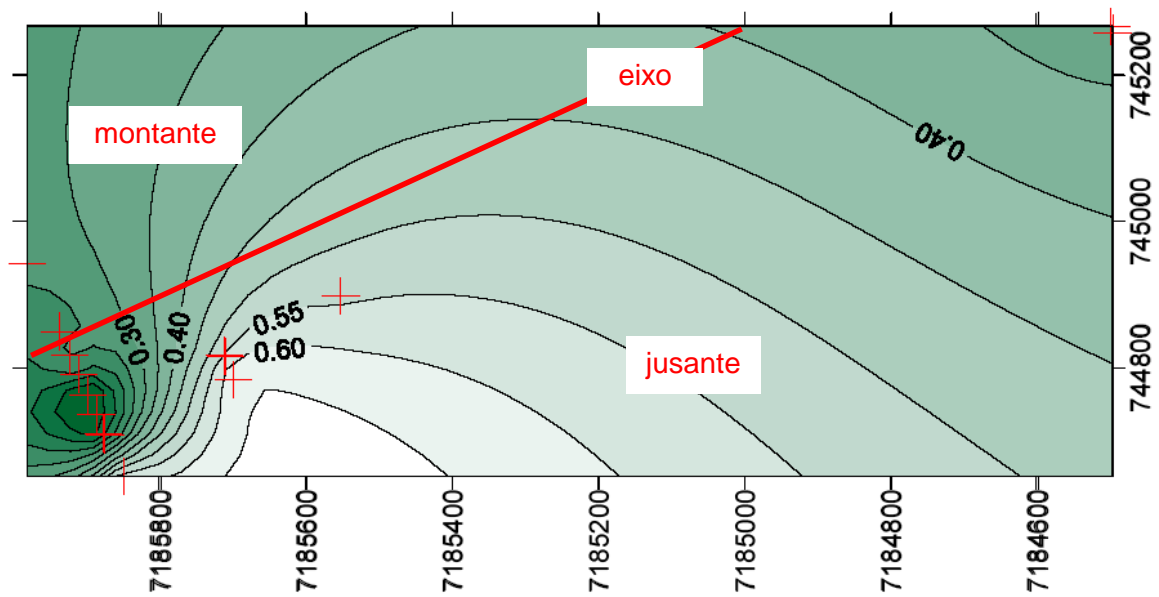


Figura 54 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre piezômetros da argila e MVL6

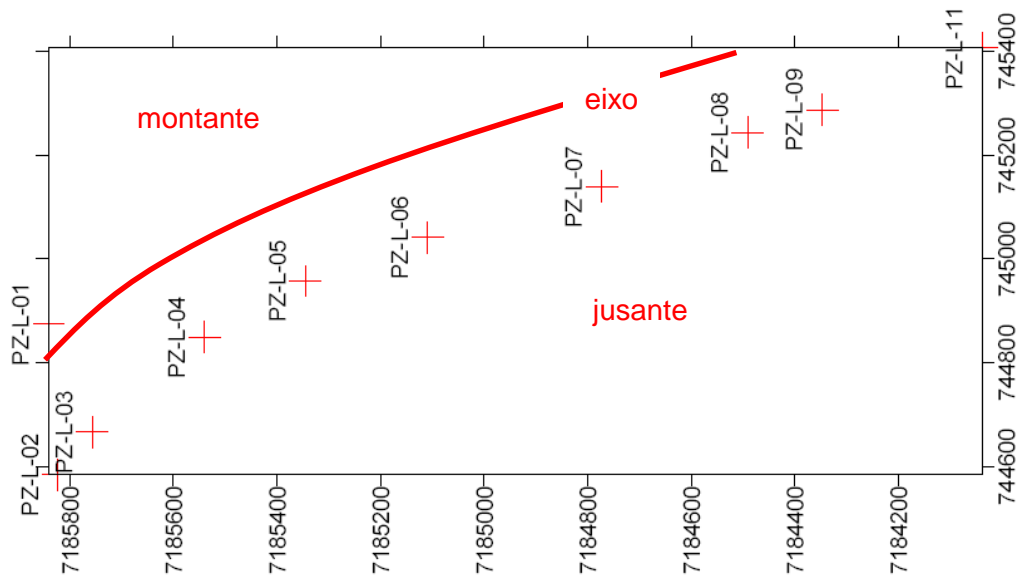


Figura 55 – Localização dos medidores de nível de água

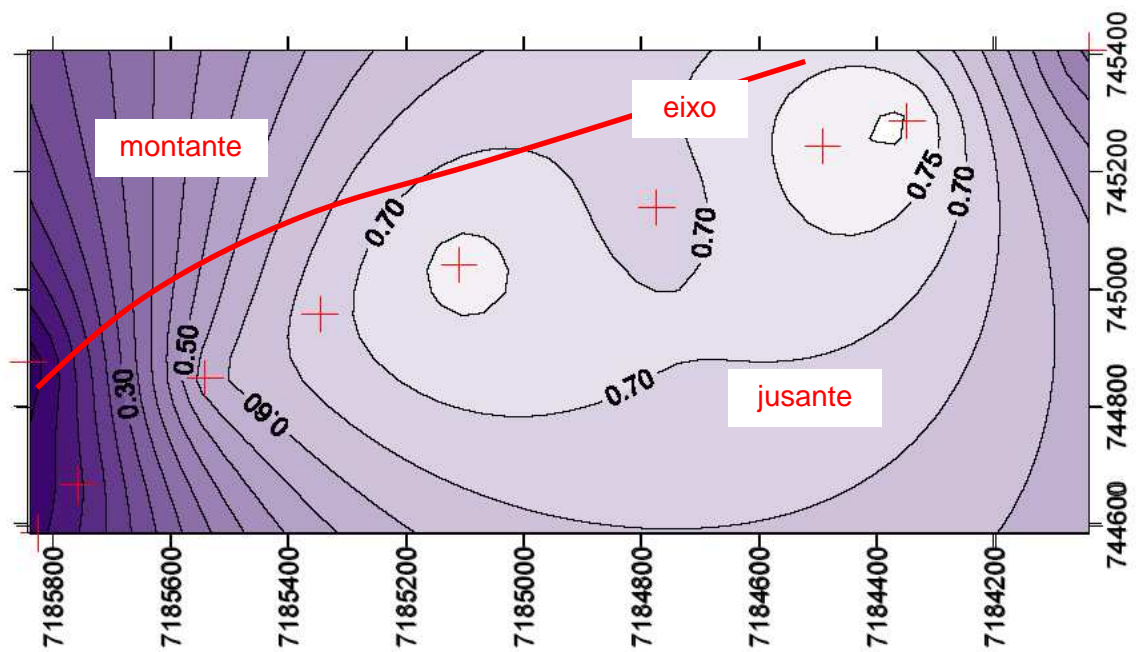


Figura 56 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre medidores de nível de água e reservatório

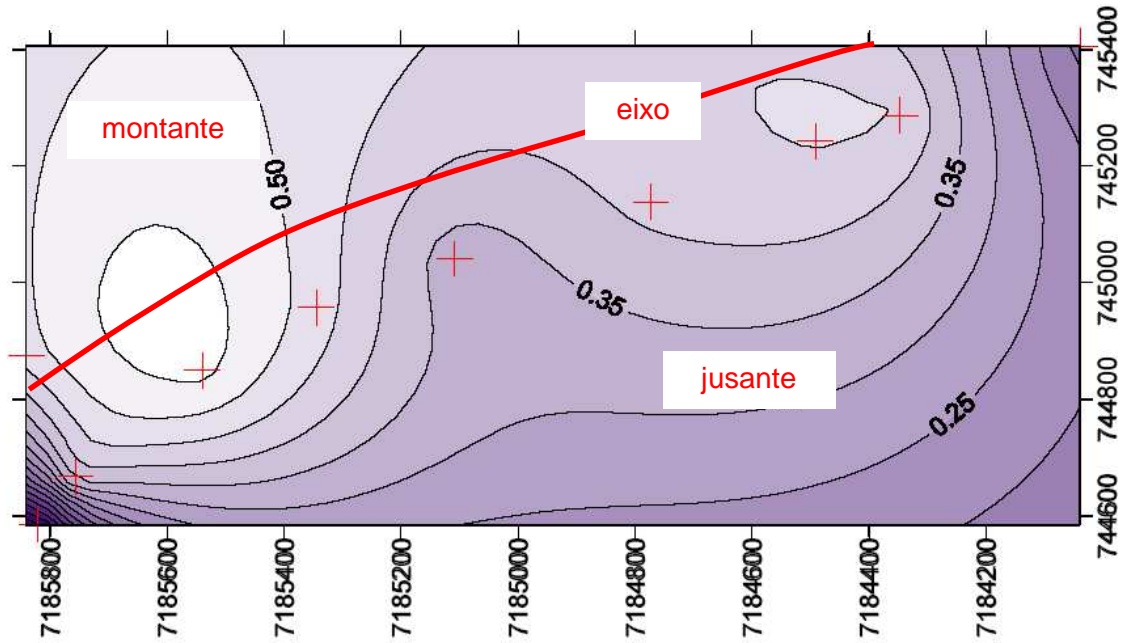


Figura 57 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação amostral entre medidores de nível de água e MVL1

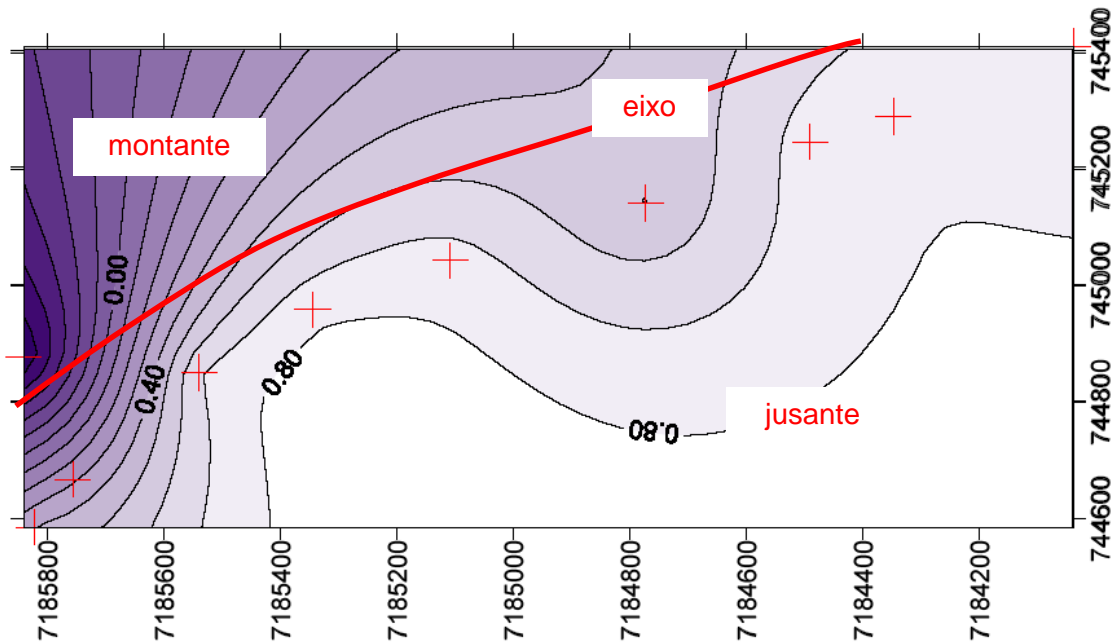


Figura 58 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre medidores de nível de água e MVL2

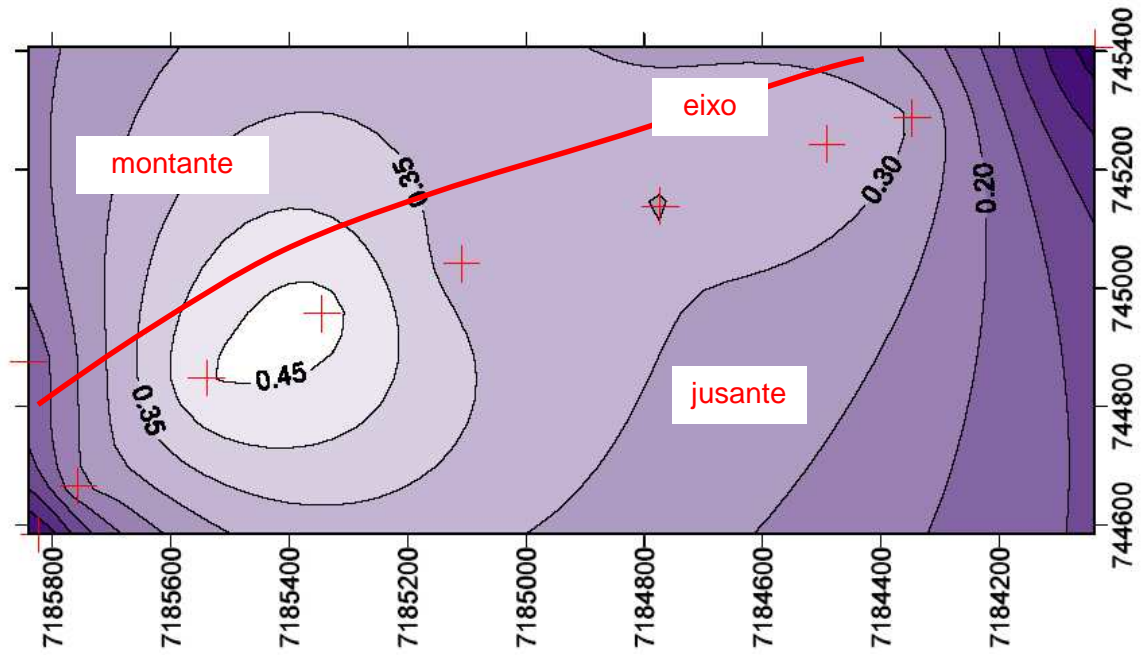


Figura 59 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre medidores de nível de água e MVL3

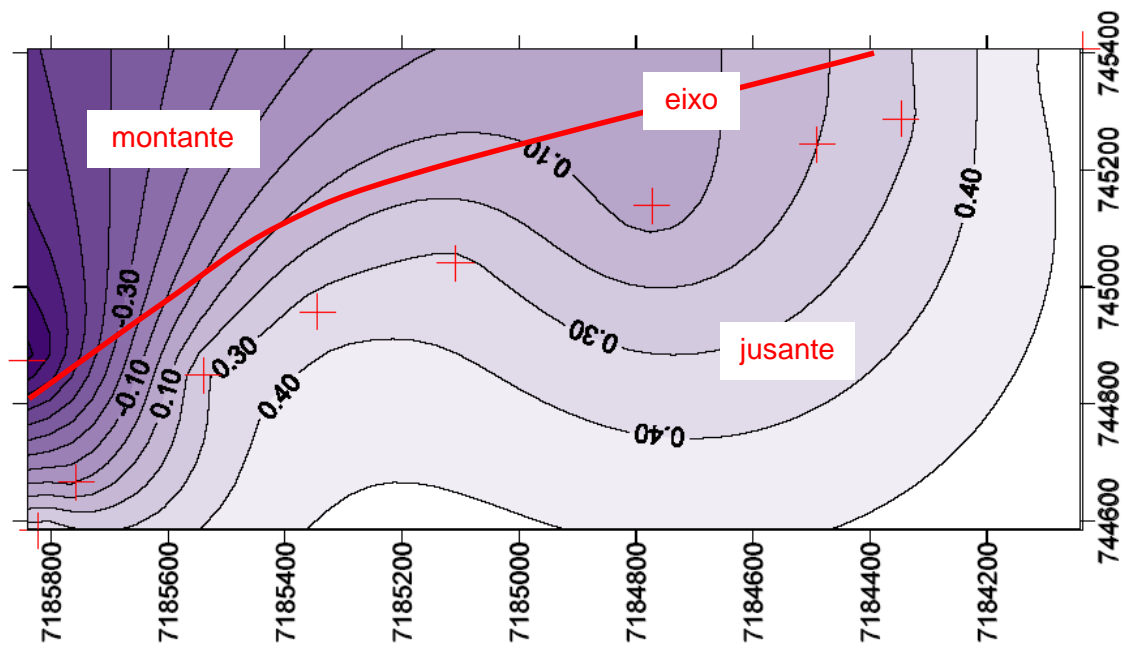


Figura 60 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre medidores de nível de água e MVL 4

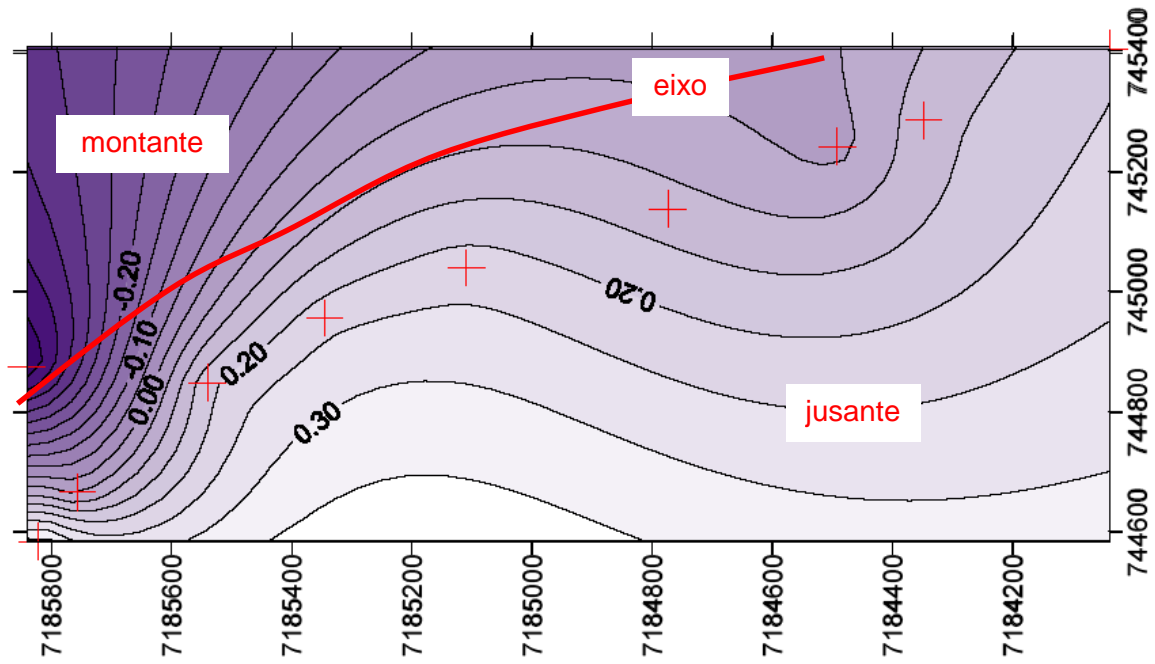


Figura 61 - Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre medidores de nível de água e MVL5

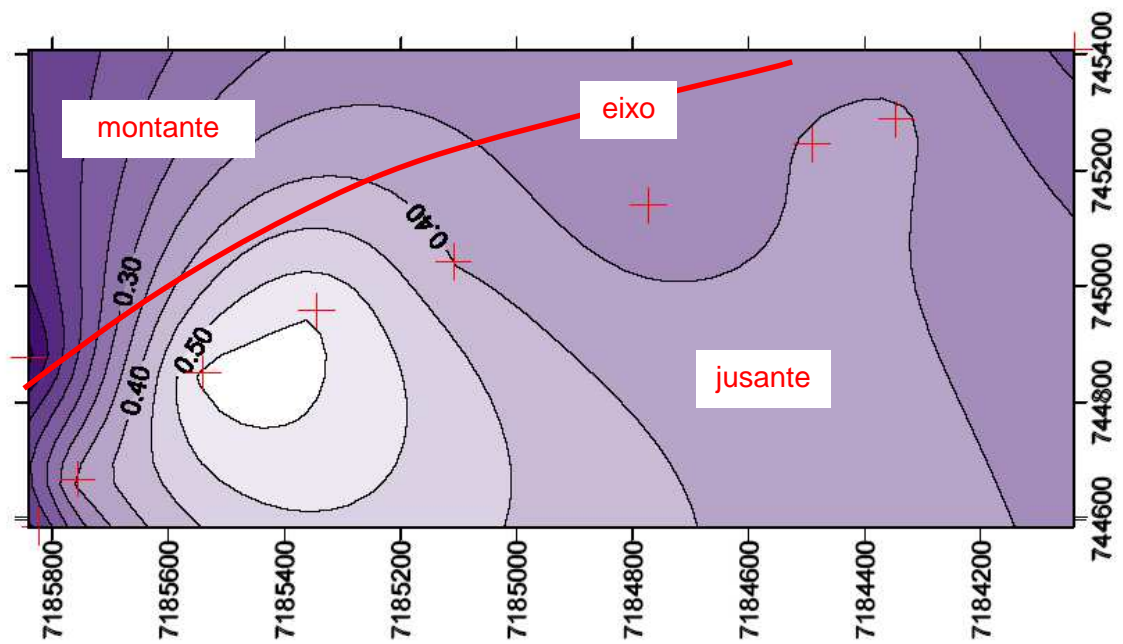


Figura 62 – Curvas de mesmo coeficiente de correlação linear amostral entre medidores de nível de água e MVL6

#### 6.4. Avaliação da Influência da Chuva nas Vazões dos Medidores

Como a água que chega aos medidores de vazão é conduzida pelo sistema de canaletas que também é responsável pela coleta das águas pluviais, as vazões medidas sofrem influência direta da precipitação pluviométrica.

Antes da implantação do Sistema de Aquisição Automática de Dados (ADAS), em 2005, não era possível avaliar adequadamente a influência da chuva nas vazões, pois quando chovia não eram realizadas leituras nos instrumentos da BTME. Além do mais, como será mostrado, as chuvas influenciam por pouco tempo as vazões dos medidores. A projetista da obra, Hidroservice, quando fazia o acompanhamento da auscultação da barragem, tentou correlacionar as vazões médias mensais com as precipitações acumuladas mensais. Contudo, não obteve resultados satisfatórios. Para uma mesma precipitação, registraram-se vazões diferindo de até 10 l/s. É importante mencionar que a projetista usou dados de precipitação da estação meteorológica, que fica na margem direita, a mais de 7 km da BTME. O resultado desse estudo encontra-se no relatório 4286.50.8016.P.R0 da Itaipu Binacional.

Com a automação das leituras dos medidores de vazão de placa, as mesmas passaram a ser feitas a cada 30 min. Também foi instalado um pluviômetro integrado ao sistema, com leituras no mesmo intervalo de tempo.

Buscou-se então avaliar a influência da chuva nas vazões dos medidores. Para tanto, colocou-se em colunas os valores de vazão e precipitação acumulada, nos mesmos horários. Correlacionou-se aumento de vazão com precipitação, apenas quando houve acréscimo de vazão entre uma leitura e outra. Procedeu-se dessa maneira para todos os dias em que houve chuva, desde a implantação do sistema, em 2005, até março de 2007. A tabela a seguir mostra o que foi realizado para o MVL2 no dia 19/11/2006.

| Data e hora      | MVL2 (l/s) | Precipitação acumulada (mm) |
|------------------|------------|-----------------------------|
| 19/11/2006 03:00 | 14,46      | 0                           |
| 19/11/2006 03:30 | 14,46      | 0                           |
| 19/11/2006 04:00 | 14,44      | 0                           |
| 19/11/2006 04:30 | 14,46      | 0                           |

| Data e hora      | MVL2 (l/s) | Precipitação acumulada (mm) |
|------------------|------------|-----------------------------|
| 19/11/2006 05:00 | 14,46      | 0                           |
| 19/11/2006 05:30 | 14,47      | 1                           |
| 19/11/2006 06:00 | 14,49      | 3                           |
| 19/11/2006 06:30 | 14,95      | 3                           |
| 19/11/2006 07:00 | 14,93      | 3                           |
| 19/11/2006 07:30 | 14,81      | 3                           |
| 19/11/2006 08:00 | 14,75      | 4                           |
| 19/11/2006 08:30 | 16,12      | 8                           |
| 19/11/2006 09:00 | 29,07      | 19                          |
| 19/11/2006 09:30 | 25,76      | 21                          |
| 19/11/2006 10:00 | 18,86      | 23                          |
| 19/11/2006 10:30 | 18,23      | 25                          |
| 19/11/2006 11:00 | 17,78      | 26                          |
| 19/11/2006 11:30 | 16,98      | 26                          |
| 19/11/2006 12:00 | 16,73      | 26                          |
| 19/11/2006 12:30 | 16,66      | 26                          |
| 19/11/2006 13:00 | 16,72      | 26                          |

Tabela 16 – Valores de vazão e precipitação utilizados para avaliar a influência da chuva no MVL2 no dia 19/11/2006

Até 4 mm de precipitação, não houve alteração na vazão. Das 08:00 às 08:30 horas, choveu 4 mm (8 – 4), produzindo um acréscimo de vazão de 1,37 l/s (16,12 – 14,75). Das 08:30 às 09:00, choveu 11 mm (19 – 8), resultando num acréscimo de vazão de 12,95 l/s (29,07 – 16,12). Após as 09:00 horas ainda choveu 7 mm, contudo a vazão não aumentou mais. Utilizou-se para a correlação, apenas os pares de pontos (4 ; 1,37) e (11 ; 12,95). Como pode ser observado na Figura 63, que mostra a vazão no MVL2 no dia 19/11/2006, o efeito da chuva na vazão dura muito pouco.

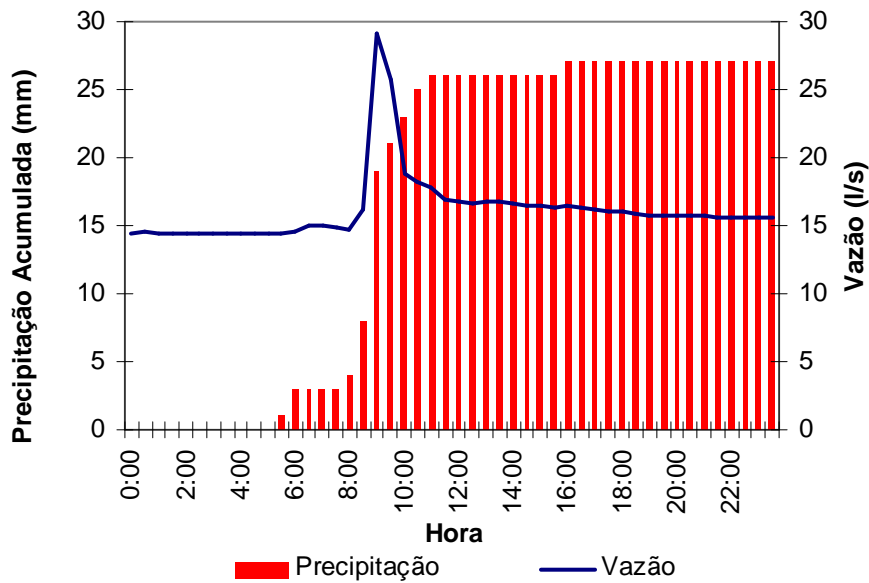


Figura 63 – Vazão no MVL2 e Precipitação Acumulada no dia 19/11/2006

O mesmo efeito ocorre para o MVL1, MVL3 e MVL4. Procedeu-se como descrito acima para o MVL1, MVL2 e MVL3, em todos os dias de chuva. Para o MVL4 não aplicou-se essa metodologia pois os resultados não foram bons. Correlacionando-se o acréscimo de vazão com a precipitação, obtiveram-se as equações de regressão mostradas nas figuras abaixo, para os três medidores de vazão estudados.

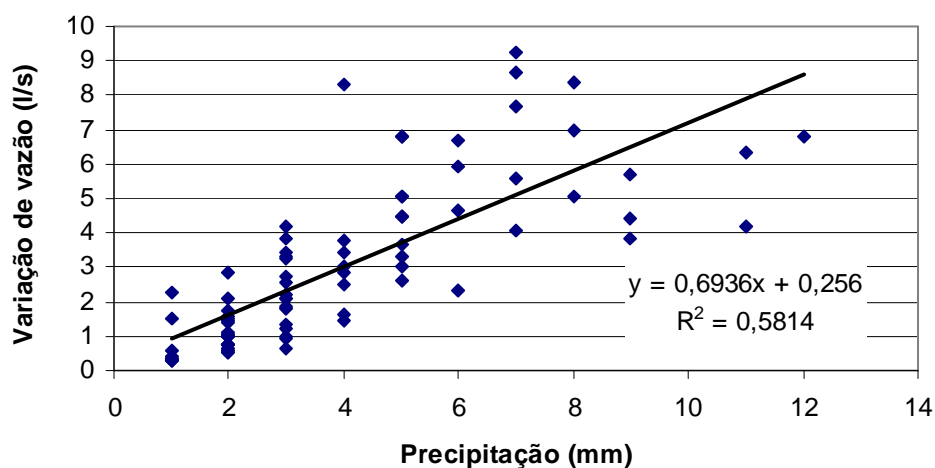


Figura 64 – Variação da vazão em função da precipitação para o MVL1



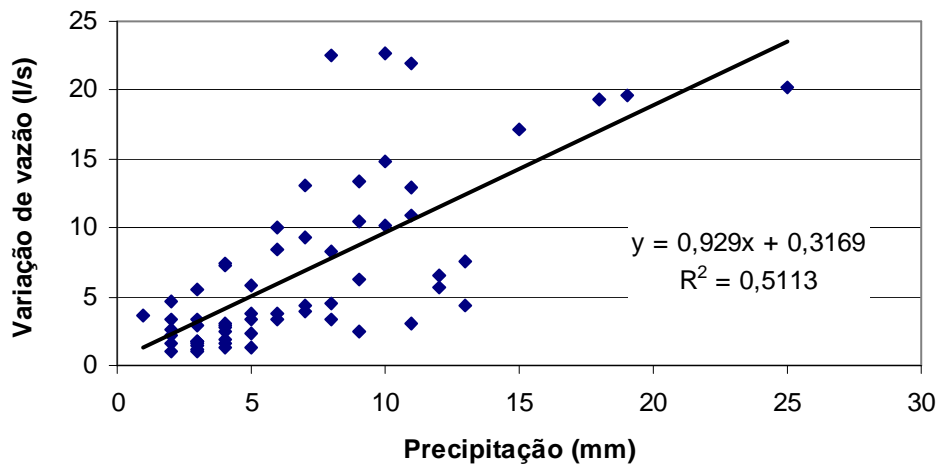


Figura 65 – Variação de vazão em função da precipitação para o MVL2

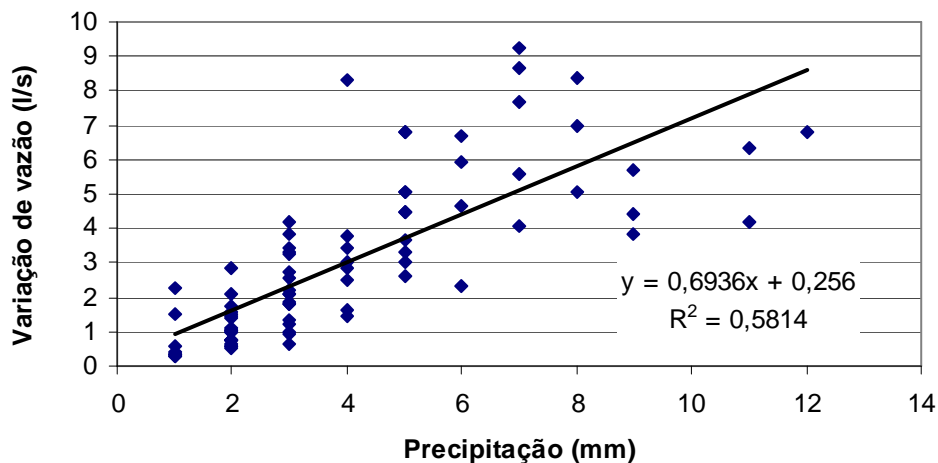


Figura 66 – Variação de vazão em função da precipitação para o MVL3

Como fica evidente nos gráficos acima, o resultado dessa metodologia não foi satisfatório. Para uma mesma precipitação, ocorriam acréscimos de vazão muito diferentes. Talvez o mais correto fosse correlacionar intensidade de chuva (mm/min) com acréscimo de vazão. No caso analisado na

Tabela 16, considerou-se que das 08:30 às 09:00 horas, choveu 11 mm, pois era o dado de que se dispunha. Contudo, não há como saber se os 11 mm se distribuíram uniformemente ao longo dos 30 min (o que é improvável) ou se caíram em 5 min. Chover 11 mm em 5 min é bem diferente de chover 11 mm em

30 min. Muito provavelmente os diferentes acréscimos de vazão para uma mesma precipitação são decorrentes de intensidades de chuva distintas.