

6 Conclusões e Sugestões

6.1. Conclusões

A elaboração de um plano de monitoramento em áreas onde o armazenamento geológico de dióxido de carbono será realizado é de fundamental importância. A primeira etapa deste monitoramento consiste na medição de parâmetros da região antes do início dos processos de injeção do CO₂ no local, para se estabelecer um controle do experimento.

O presente estudo visou avaliar uma metodologia empregada no levantamento de dados iniciais através da análise estatística e geoestatística dos dados obtidos experimentalmente.

As análises de estatística descritiva clássica e geoestatísticas dos dados experimentais tiveram destaque na interpretação dos resultados e apresentaram informações relevantes ao entendimento da distribuição dos parâmetros na região de estudo.

A análise estatística descritiva clássica apresentou parâmetros de distribuição, dispersão e posição dos dados. Através desses valores foi possível concluir que as distribuições do CO₂, CH₄, NMP, Rn e alguns valores da gasometria apresentaram heterogeneidade e assimetria. A distribuição homogênea foi observada para valores de temperatura, teor de umidade, porosidade e alguns valores da gasometria (propeno, 2-Buteno Trans, 1 Buteno, 2-Butano-Cis e N-Pentano).

Os dados não apresentaram ajuste à distribuição normal, exceto pelos valores do teor de umidade. A correlação entre duas a duas variáveis amostradas apresentaram correlação linear muito baixa.

A análise geoestatística apresentou mapas de distribuição dos dados; com o intuito de melhor visualizar a distribuição local das concentrações dos parâmetros amostrados em campo. Conclui-se que os métodos interpoladores que melhor se ajustaram aos dados do presente estudo foram o inverso da distância e a krigagem.

Através da análise semivariográfica foi possível observar a ocorrência de variabilidade espacial dos dados, sendo que para os valores de CO₂ e CH₄ há dependência espacial, descartando assim a independência entre as amostras. Já para os valores de Rn e NMP a dependência espacial mostrou-se menos expressiva.

Outro resultado interessante obtido com a análise semivariográfica foi a determinação da distância entre pontos a partir do maior valor de alcance obtido no semivariograma. Este valor permite assegurar o limite da dependência espacial nas amostras, para o presente estudo obtiveram-se os valores de 1.123,8m para o CO₂, 1.143,13m para o CH₄, 1.500,42m para o Rn e 1.206,23m para o NMP.

A variabilidade espacial de propriedades e parâmetros do solo observadas no presente estudo evidencia que os solos são altamente estruturados espacialmente e que tal condição deve ser levada em consideração na escolha de metodologias mais adequadas para projetos de monitoramento e futuras amostragens.

Os semivariogramas demonstraram que os parâmetros de CO₂, CH₄, Rn e NMP apresentaram componentes aleatórias significativas e muito significativas. Isso caracteriza irregularidade dos dados e variação imprevisível de um ponto para outro.

Em geral, os dados apresentados não demonstraram correlação linear nem tendência expressiva entre eles.

A expectativa da correlação entre o dióxido de carbono e o radônio foi mal sucedida pelo fato de não terem sido realizadas as medidas de fluxo para cada gás de interesse na superfície do terreno. Nas campanhas foram somente realizadas medidas das vazões da amostragem dos gases, essa vazão difere do fluxo de superfície e não apresenta correlação positiva entre os dados. Foi evidenciado também que os dados pontuais de concentração desses dois parâmetros (CO₂ e Rn) não apresentaram correlação positiva.

Uma correlação evidenciada ocorreu entre os valores de Número Mais Provável (NMP) de microorganismos e teor de umidade. Este fato já era esperado, posto que o teor de umidade é um dos parâmetros mais importantes na degradação microbiana. Os valores de NMP apresentaram valores mais elevados em áreas com o teor de umidade maiores.

Outro ponto relevante do estudo foi a comparação entre os valores amostrados em campo e os obtidos pela gasometria do metano. Houve muita

diferença nesses resultados o que conclui a interferência da amostragem e do método de medição deste parâmetro.

A presença de vegetação densa e o tipo de solo também não apresentaram relação com as concentrações dos dados amostrados. Foi observado apenas que em áreas onde o solo é mais permeável há uma tendência de menores concentrações de radônio.

Os valores de porosidade não demonstraram correlação, entretanto não se pode concluir que não haja correspondência com as demais variáveis apresentadas, pois o número de amostras que tiveram o valor da porosidade calculada foi inexpressivo (*i.e.*, cerca de 3% do total de amostras).

Por fim, conclui-se que a análise e interpretação dos dados com um enfoque geoestatístico podem contribuir para o entendimento da distribuição dos dados coletados, além de fornecer parâmetros para estudos futuros.

6.2. Sugestões

O uso de análises geoestatística deveria ser incorporado ao monitoramento do armazenamento do dióxido de carbono. A elaboração de uma rotina que incorpore a metodologia de campo e a interpretação dos dados amostrados utilizando a geoestatística pode ser um trabalho bastante promissor.

Com relação ao trabalho apresentado sugere-se que sejam realizadas novas campanhas com a amostragem dos parâmetros descritos em intervalos de tempo distintos. Com esses novos parâmetros pretende-se realizar um comparativo entre tempos (*i.e.*, antes e depois da injeção de CO₂). Só assim será possível observar a região e estabelecer o grau de confiabilidade da técnica de armazenamento geológico do dióxido de carbono, bem como elaborar um plano de alerta para caso haja algum tipo de vazamento no local.

Sugere-se, em um primeiro momento, que sejam repetidos todos os pontos amostrados, pois não houve tendência nem correlação nas distribuições dos parâmetros iniciais.

Outra sugestão é realizar a medida de porosidade de um número maior de amostras e realizar essa medição de forma mais aleatória e menos concentrada para poder estabelecer correlação com os demais parâmetros descritos.

A medida do teor de matéria orgânica nos pontos amostrados também é uma sugestão válida, pois auxiliaria no entendimento da distribuição do NMP.

A medida do fluxo do radônio e do dióxido de carbono na superfície também deveria ser realizada, justificando assim a tentativa de correlacionar

esses valores através da formulação proposta por Dueñas (1995) expressa na Equação 2.16.

Sugere-se fazer um tratamento para os dados atuais e futuros, coletados em campo, através de testes estatísticos para eliminar assim a presença de possíveis valores anômalos. Também deve ser realizada análise de cluster dos dados.

Para as campanhas futuras sugerem-se a tentativa de correlacionar os dados amostrados com a topografia da região. A realização de um modelo digital do terreno poderá também auxiliar no entendimento da distribuição dos parâmetros coletados em campo.

Finalmente, recomenda-se monitorar a água subterrânea na região da injeção de CO₂ e os poços onde a injeção está sendo realizada. O monitoramento da água pode ser feito através da instalação de poços de monitoramento dispersos na região. Esses poços forneceriam informações interessantes com relação ao fluxo do CO₂, posto que o seu vazamento no reservatório implicaria na acidificação da água subterrânea. O monitoramento poderia ser automatizado e, caso houvesse um vazamento no reservatório, haveria uma indicação em tempo real do ocorrido. O monitoramento nos poços de injeção deveria ser realizado com a análise das pressões do gás no poço e análises de integridade do mesmo.