

5

Apresentação e Discussão dos Resultados

Os resultados serão apresentados de acordo com os procedimentos de análise dos dados descritos no Capítulo 4.

5.1. Estatística Descritiva Clássica

Os resultados da estatística descritiva clássica são apresentados por meio de tabelas.

A Tabela 5.1 apresenta os dados estatísticos para os valores das concentrações de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), Radônio (Rn), temperatura, número mais provável (NMP), porosidade, teor de umidade das amostras coletadas em campo.

A Tabela 5.2 apresenta os dados estatísticos para os valores obtidos com a gasometria.

A Tabela 5.3 apresenta os valores calculados de correlação linear simples entre os dados amostrados.

Tabela 5.1 – Estatística Descritiva Clássica dos dados coletados em campo.

Dados Estatísticos		CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	Rn (Bq/m3)	Temperatura	NMP	Porosidade	Teor de Umidade
Número de Amostras		625	625	626	608	631	20	614
Medidas de Posição								
Média (\bar{X})		46870,4	3320	42534,24	32,13	7,61E+11	3,99E-01	1,10E+01
Moda		17000	1000	54	33	9,31E+02	Não Existe	5,50E+00
1º Quartil (25%)		21000	1000	5942,25	29	873	0,35	7,68
Mediana (50%)		40000	1000	27591,5	32	9,06E+02	4,30E-01	1,12E+01
3º Quartil (75%)		62000	1000	63337,25	35	947,50	0,48	14,07
Máximo		229000	1265000	257934	46	9,74E+13	5,35E-01	2,56E+01
Mínimo		1000	0	4	24	1,00E+02	1,30E-01	6,97E-01
Erro Padrão da Média		1356,36	2022,22	1849,25	0,17	3,20E+11	0,02	0,18
Desvio entre Quartis (Dq)		41000	0	57395	6	74,50	0,13	6,39
Medidas de Dispersão								
Amplitude		228000	1265000	257930	22	9,74E+13	0,41	2,49E+01
Variância (S ²)		1149824523	2555868590	2140758220	18,51	6,47E+25	0,01	20,48
Desvio Padrão (S)		33909,06	50555,60	46268,33	4,30	8,04E+12	1,09E-01	4,53E+00
Medidas de Forma da Distribuição								
Coeficiente de Variação (CV)		0,72	15,23	1,09	0,13	10,57	0,27	0,41
Coeficiente de Assimetria (A3)		1,36	24,87	1,40	-2,45	11,05	-0,73	0,08
Coeficiente de Curtose (A4)		5,47	620,64	4,64	23,19	124,28	182,31	2,65
Parâmetros Assimetria ±		0,29	0,29	0,29	0,30	0,29	1,64	0,30
Parâmetros Curtose ±		0,59	0,59	0,59	0,60	0,59	3,29	0,59
Ajuste ao Modelo Normal		Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Classificação com Relação ao CV		Levemente Heterogêneo	Heterogêneo	Heterogêneo	Homogêneo	Heterogêneo	Homogêneo	Homogêneo
Classificação com Relação ao A3		Fortemente Assimétrica	Fortemente Assimétrica	Fortemente Assimétrica	Fortemente Assimétrica	Fortemente Assimétrica	Moderada Assimetria	Simétrica

Tabela 5.2 – Estatística Descritiva Clássica dos dados obtidos com a gasometria.

[illegible]

Tabela 5.3 – Correlação Linear Simples dos dados coletados em campo.

Correlação Linear Simples		
r (CO₂ x CH₄)	0,006	Correlação Muito Fraca
r (CO₂ x Rn)	0,336	Correlação Relativamente Fraca
r (CH₄ x Rn)	-0,025	Correlação Muito Fraca
r (CO₂ x Teor de Umidade)	-0,095	Correlação Muito Fraca
r (CO₂ x NMP)	-0,004	Correlação Muito Fraca
r (NMP x Teor de Umidade)	0,020	Correlação Muito Fraca
r (CO₂ x Temperatura)	-0,150	Correlação Muito Fraca
r (Rn x NMP)	-0,033	Correlação Muito Fraca
r (Rn x Temperatura)	0,056	Correlação Muito Fraca
r (Rn x Teor de Umidade)	0,182	Correlação Muito Fraca
r (CH₄ x NMP)	-0,004	Correlação Muito Fraca
r (CH₄ x Temperatura)	-0,068	Correlação Muito Fraca
r (CH₄ x Teor de Umidade)	-0,089	Correlação Muito Fraca
r (NMP x Temperatura)	-0,003	Correlação Muito Fraca
r (Teor de Umidade x Temperatura)	0,027	Correlação Muito Fraca

Dentre os dados coletados foi observado que a distribuição da temperatura, teor de umidade e porosidade apresentaram homogeneidade, cabe ressaltar que a homogeneidade da porosidade é questionável devido ao baixo número de amostras com esse parâmetro.

Para a gasometria os dados de propeno, 2-Buteno Trans, 1 Buteno, 2-Butano-Cis e N-Pentano apresentaram homogeneidade (menor dispersão/variabilidade dos dados) de distribuição. Os demais hidrocarbonetos apresentaram heterogeneidade (maior dispersão/variabilidade dos dados).

Com relação à assimetria, observou-se que apenas o teor de umidade apresentou uma distribuição simétrica, os demais dados apresentaram moderada a forte assimetria. Para os dados da gasometria todas as distribuições foram consideradas como fortemente assimétricas.

Dos dados apresentados somente o teor de umidade apresentou ajuste ao modelo normal. Outro fator relevante é que todas as distribuições apresentaram coeficiente de curtose maior que 3 o que define distribuições leptocúrticas.

A correlação entre parâmetros amostrados em campo obtido pela correlação linear simples de duas a duas variáveis apresentou correlações muito baixas. Não se pode concluir se há ou não relações entre as unidades amostradas.

Os histogramas foram produzidos com o auxílio do programa RockWorks. Uma das limitantes deste programa é a não possibilidade de alterar os intervalos das classes. A Figura 4.2 apresenta o histograma das concentrações de CO₂, a Figura 5.2 apresenta o histograma das concentrações de CH₄, a Figura 5.3

apresenta o histograma das concentrações do Rn e a Figura 5.4 apresenta o histograma das concentrações do NMP.

Os histogramas referentes aos dados de gasometria encontram-se no Apêndice I.

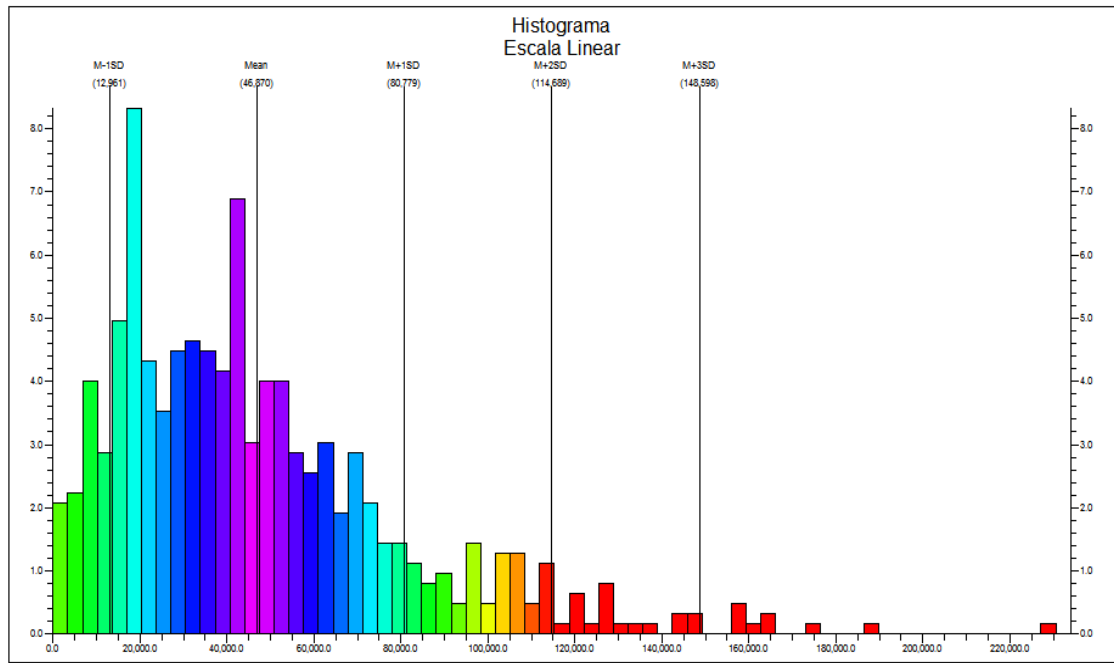


Figura 5.1– Histograma Linear das concentrações do dióxido de carbono (CO₂).

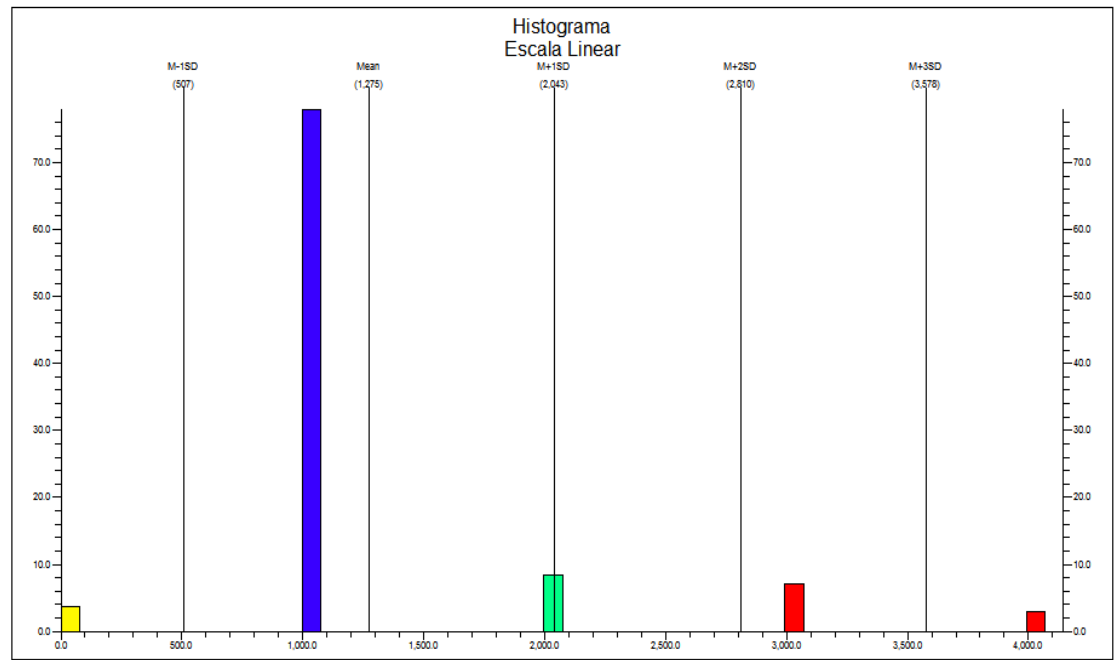


Figura 5.2– Histograma Linear das concentrações do metano (CH₄), para valores de 0 a 4000 ppm.

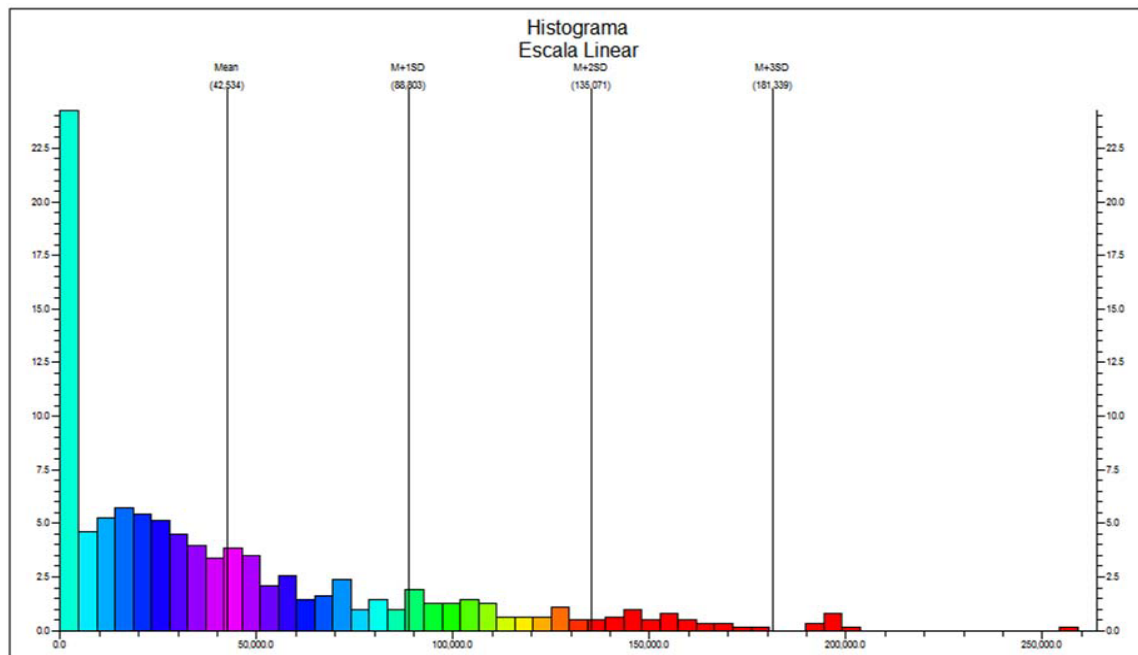


Figura 5.3— Histograma Linear das concentrações do Radônio.

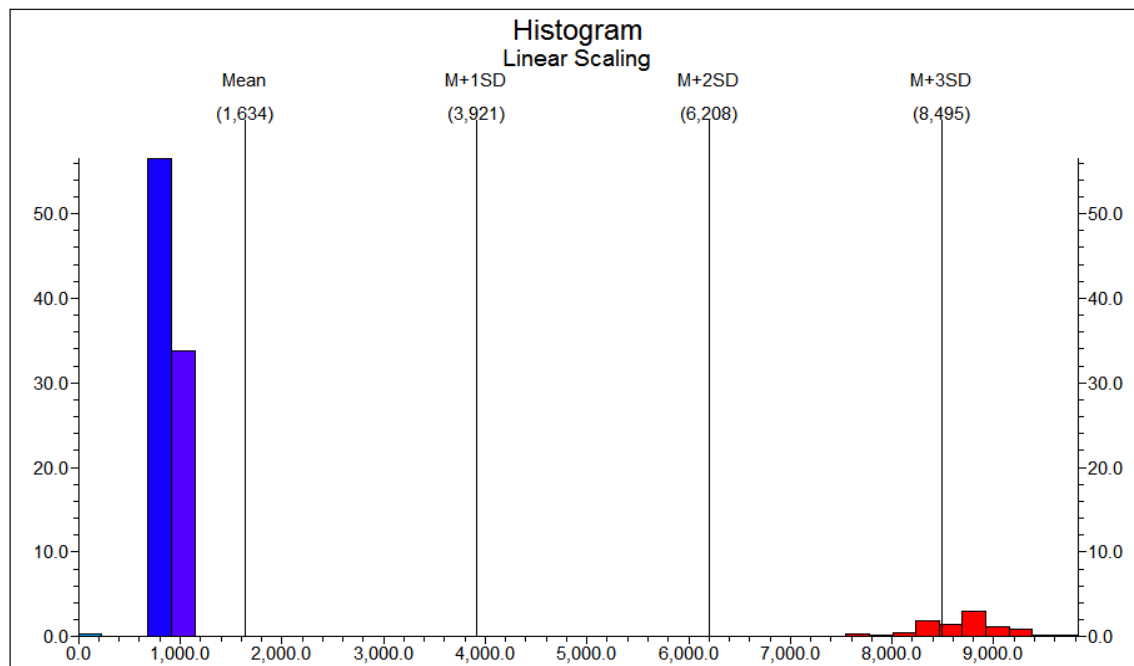


Figura 5.4— Histograma Linear das concentrações do número mais provável (NMP), para valores até 10^4 .

Os histogramas de CO_2 e Rn apresentaram uma leve tendência a distribuição lognormal. Os demais histogramas não apresentaram distribuição

conhecida dos dados para esse intervalo de classes. As distribuições podem ser classificadas como assimétricas.

5.2. Geoestatística

Conforme descrito no Capítulo 4, foram analisados diversos métodos de interpolação dos dados para a geração dos mapas de distribuição de concentração. Devido ao grande número de mapas gerados, por conveniência serão mostrados apenas os mapas de concentração de CO₂ para os métodos de interpolação menos eficazes para o presente estudo.

Em sequência, para os demais parâmetros amostrados, serão apresentados mapas de distribuição e gráficos utilizando a interpolação pelo inverso da distância, análise semivariográfica e krigagem.

5.2.1. Dióxido de Carbono (CO₂)

O primeiro método de interpolação a ser apresentado será o vizinho mais próximo. Este mapa de distribuição foi produzido pelo programa ArcGIS 9.3. As concentrações de CO₂ apresentam-se mais fortes na parte inferior esquerda da (ao sul da coordenada 8.636.000) região de estudo, a Figura 5.5 apresenta a distribuição dessas concentrações.

O método de interpolação pelo vizinho mais próximo atribui o valor do ponto mais próximo para cada nó, por isso a interpolação apresentou um efeito “degrau”. A vantagem do método é que os valores não foram alterados, houve apenas uma redistribuição dos mesmos em grade regular.

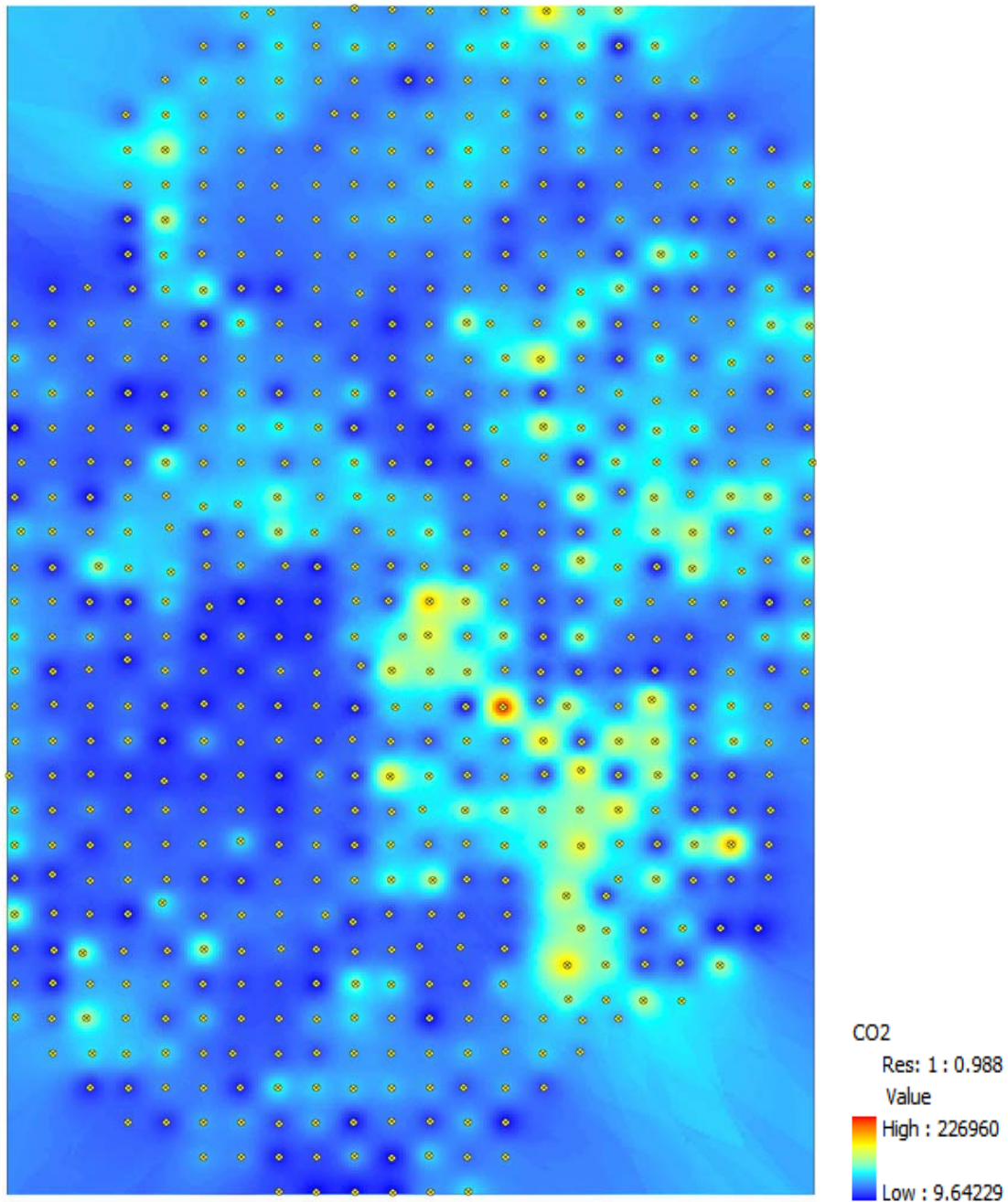


Figura 5.5— Mapa de concentração do CO₂ pelo método interpolador do vizinho mais próximo. Elaborado pelo programa ArcGis.

O segundo método de interpolação utilizado foi o método acumulativo. O programa utilizado para a elaboração deste e dos seguintes mapas de distribuição foi o RockWorks 15.

A Figura 5.6 apresenta este mapa de distribuição; como se pode observar o interpolador não apresentou uma boa distribuição dos dados, isso ocorreu devido ao fato dos dados não serem ponderados.

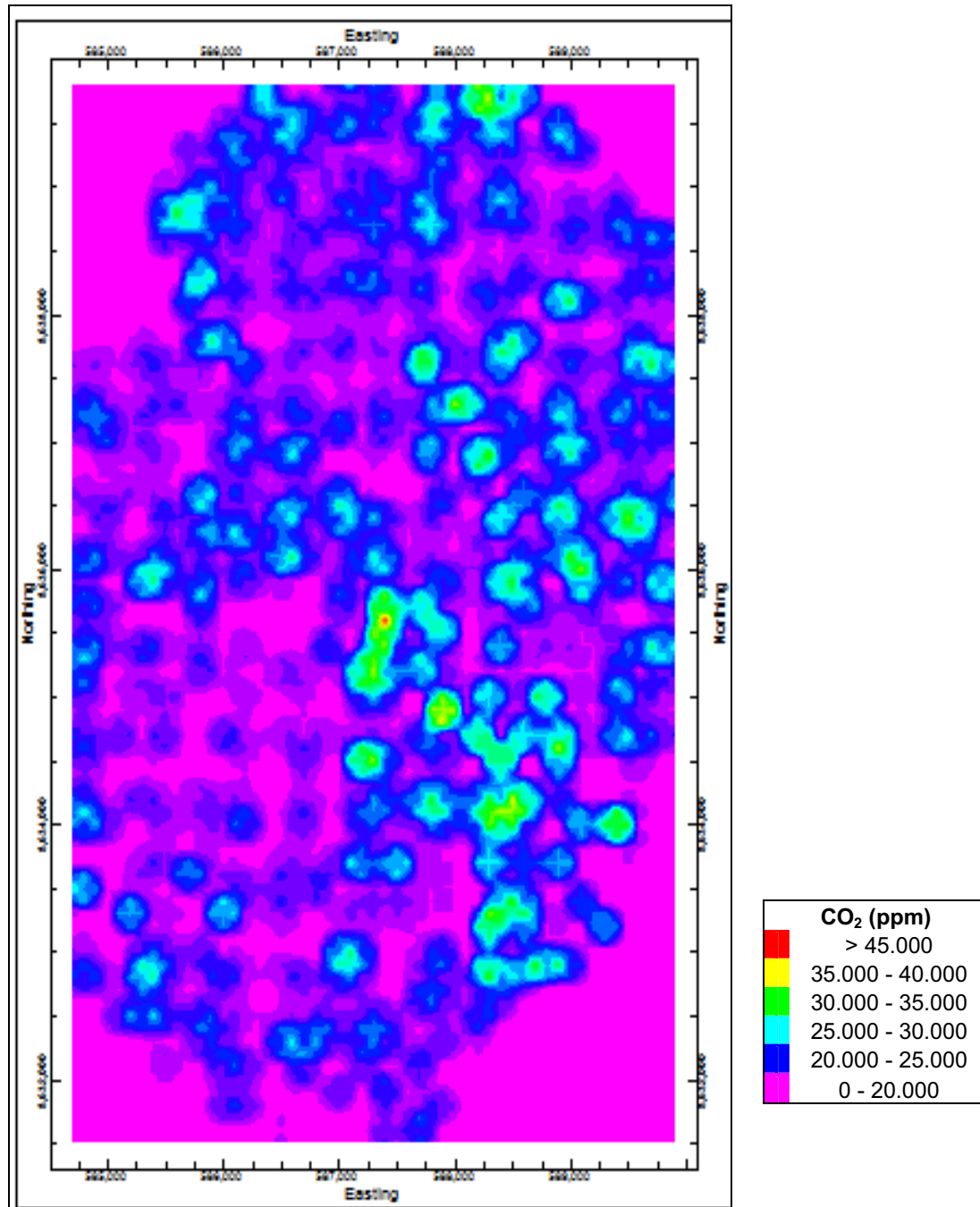


Figura 5.6— Mapa de concentração do CO₂ pelo método interpolador acumulativo. Elaborado pelo programa RockWorks.

O terceiro método de interpolação foi a ponderação direcional bidirecional. O método utiliza o inverso da distância aliado a ponderação, neste caso foi utilizada a ponderação automática para duas direções. O mapa de distribuição está apresentado na Figura 5.7, a distribuição das concentrações ficou bem definida, entretanto o fato de ponderar dados não se aplica a esse estudo.

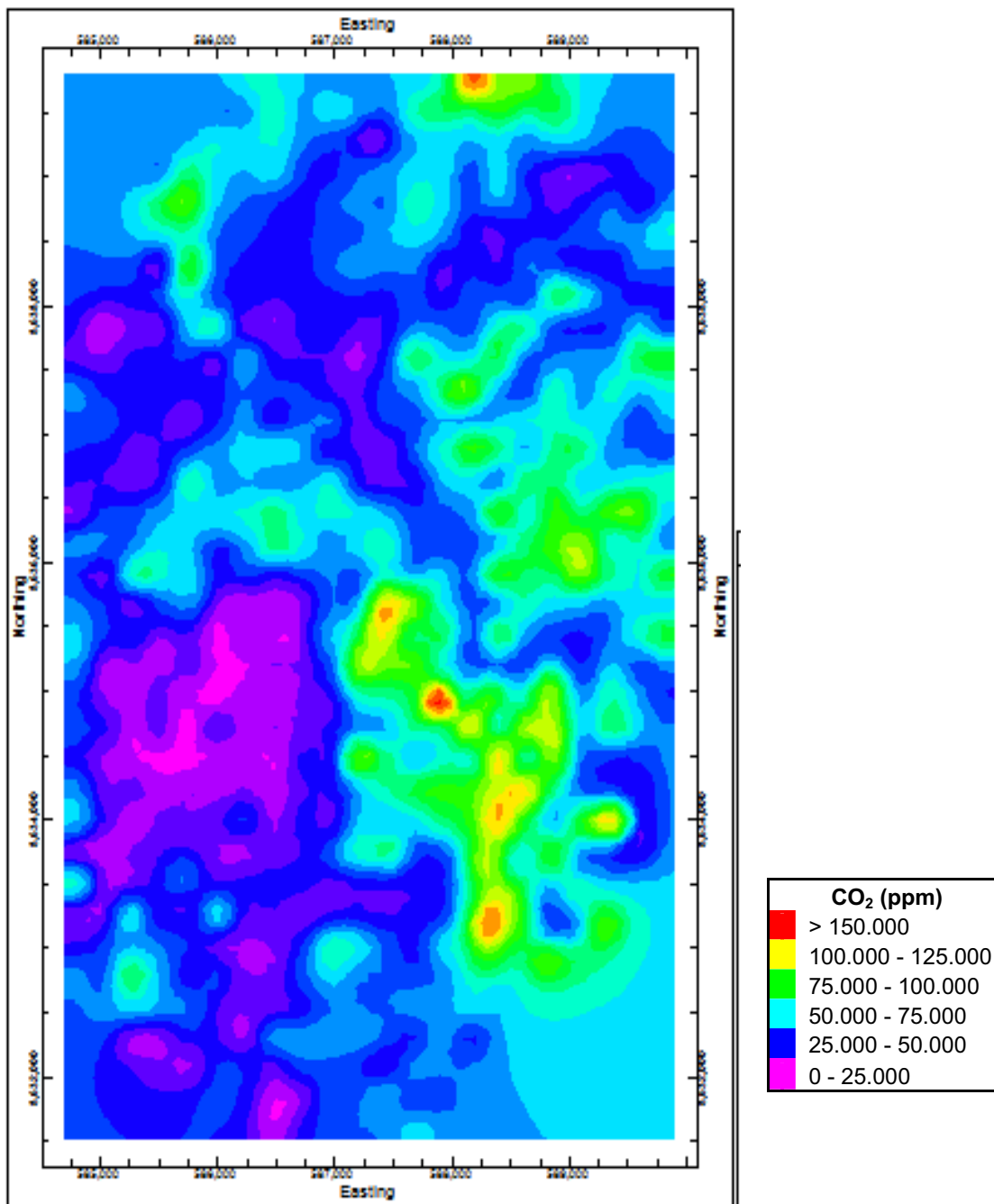


Figura 5.7– Mapa de concentração do CO₂ pelo método de ponderação bidirecional. Elaborado pelo programa RockWorks.

O quarto e quinto método de interpolação foram a tendência polinomial e tendência residual. Ambos os métodos são ajustados de acordo com as tendências regionais.

A tendência polinomial não apresentou boa distribuição dos dados, diferentemente da tendência residual que apresentou uma distribuição mais coerente com a realidade. Isso ocorre porque a superfície calculada para a tendência residual utiliza-se de dados interpolados com o inverso da distância. Nas Figura 5.8 e Figura 5.9 esses métodos podem ser observados.

Observa-se que na região superior oeste da Figura 5.8 há a presença de concentrações elevadas de CO₂. Acredita-se que esse fenômeno seja devido a erros do método de interpolação que extrapola valores além dos limites amostrados.

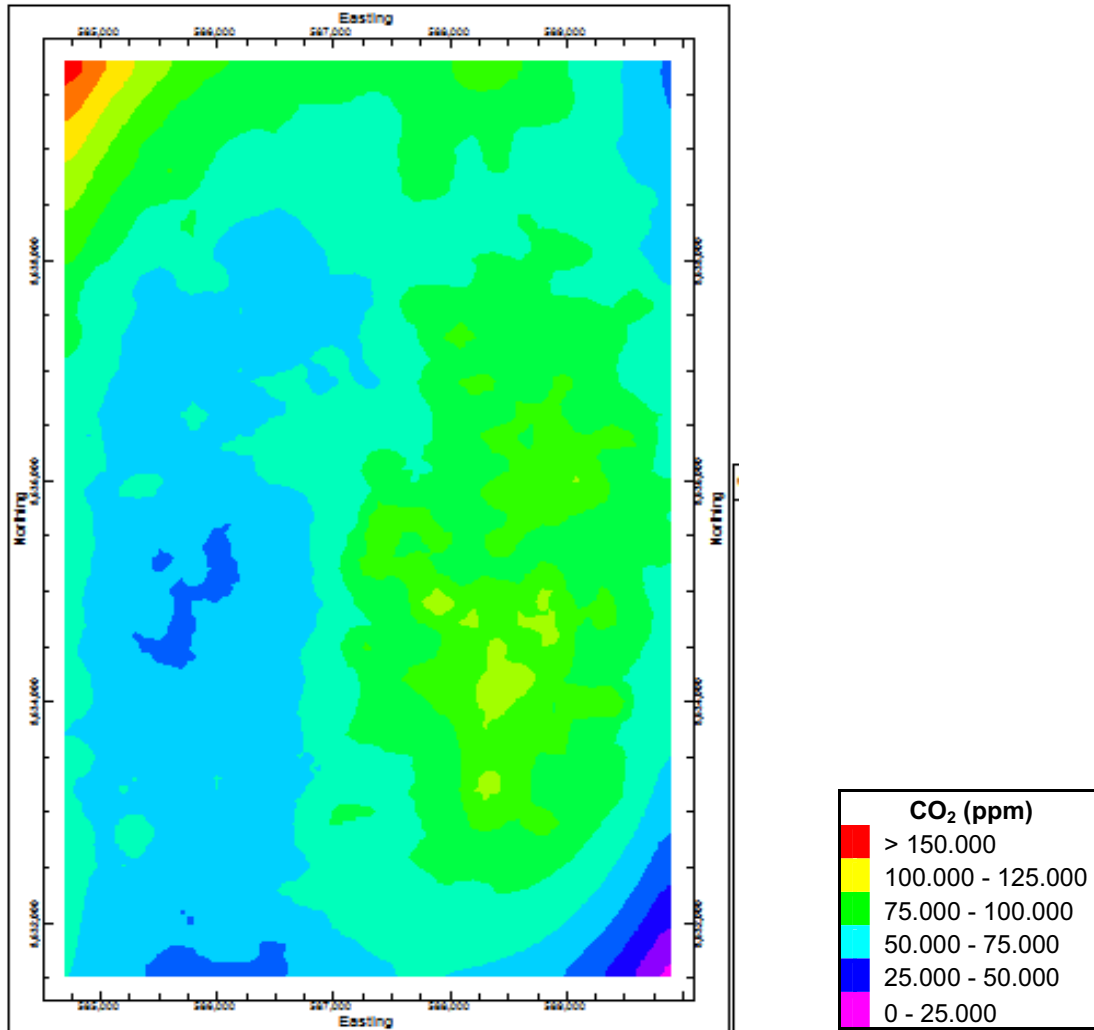


Figura 5.8— Mapa de concentração do CO₂ pelo método de tendência polinomial. Elaborado pelo programa RockWorks.

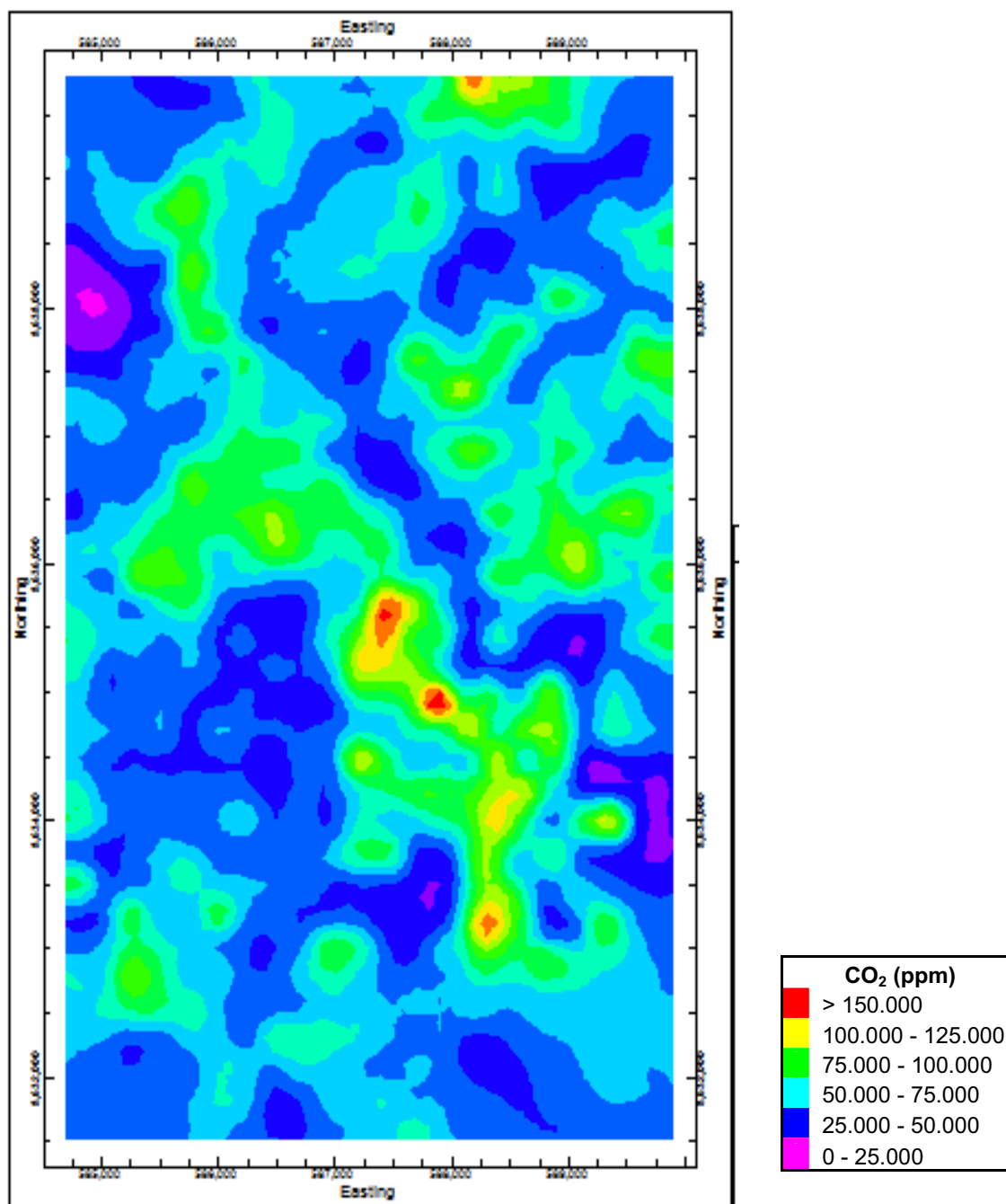


Figura 5.9– Mapa de concentração do CO₂ pelo método de tendência residual. Elaborado pelo programa RockWorks.

O sexto método de interpolação utilizado foi a triangulação. Este método utiliza uma estimativa direta dos dados amostrados. Observa-se na Figura 5.10 que os contornos não ficaram suaves e há presença de superfícies angulares provenientes deste método de interpolação.

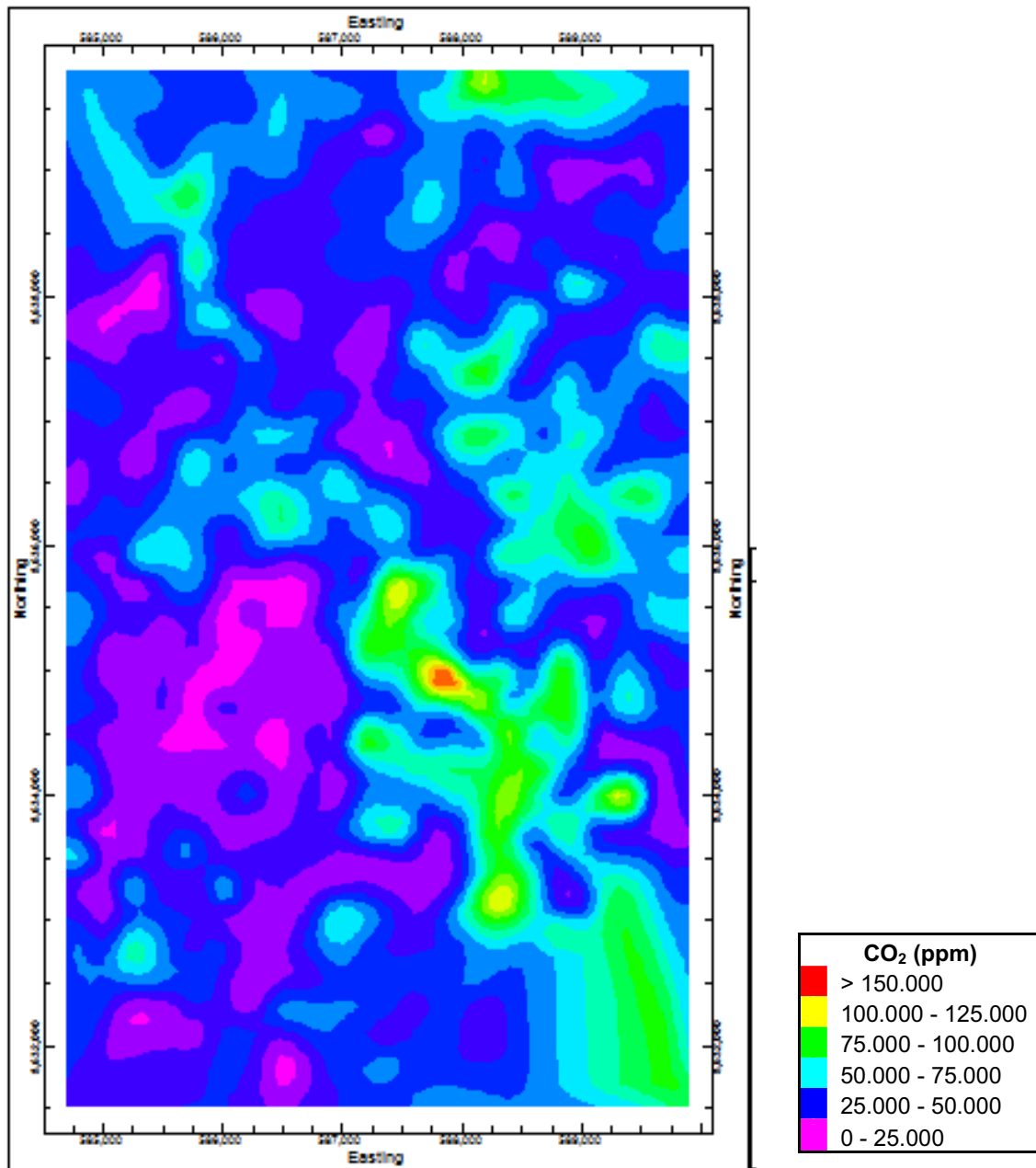


Figura 5.10– Mapa de concentração do CO₂ pelo método de triangulação. Elaborado pelo programa RockWorks.

O sétimo método de interpolação utilizado foi o inverso da distância. O método apresentou uma representação adequada dos dados amostrados, com o destaque em áreas de anomalias locais como observado na parte central da região onde há uma maior concentração do CO₂ (região em vermelho). A Figura 5.11 apresenta o mapa de concentrações desse método obtido pelo programa RockWorks. A Figura 5.12 apresenta o mesmo mapa de distribuição elaborado pelo programa Petrel para efeitos comparativos.

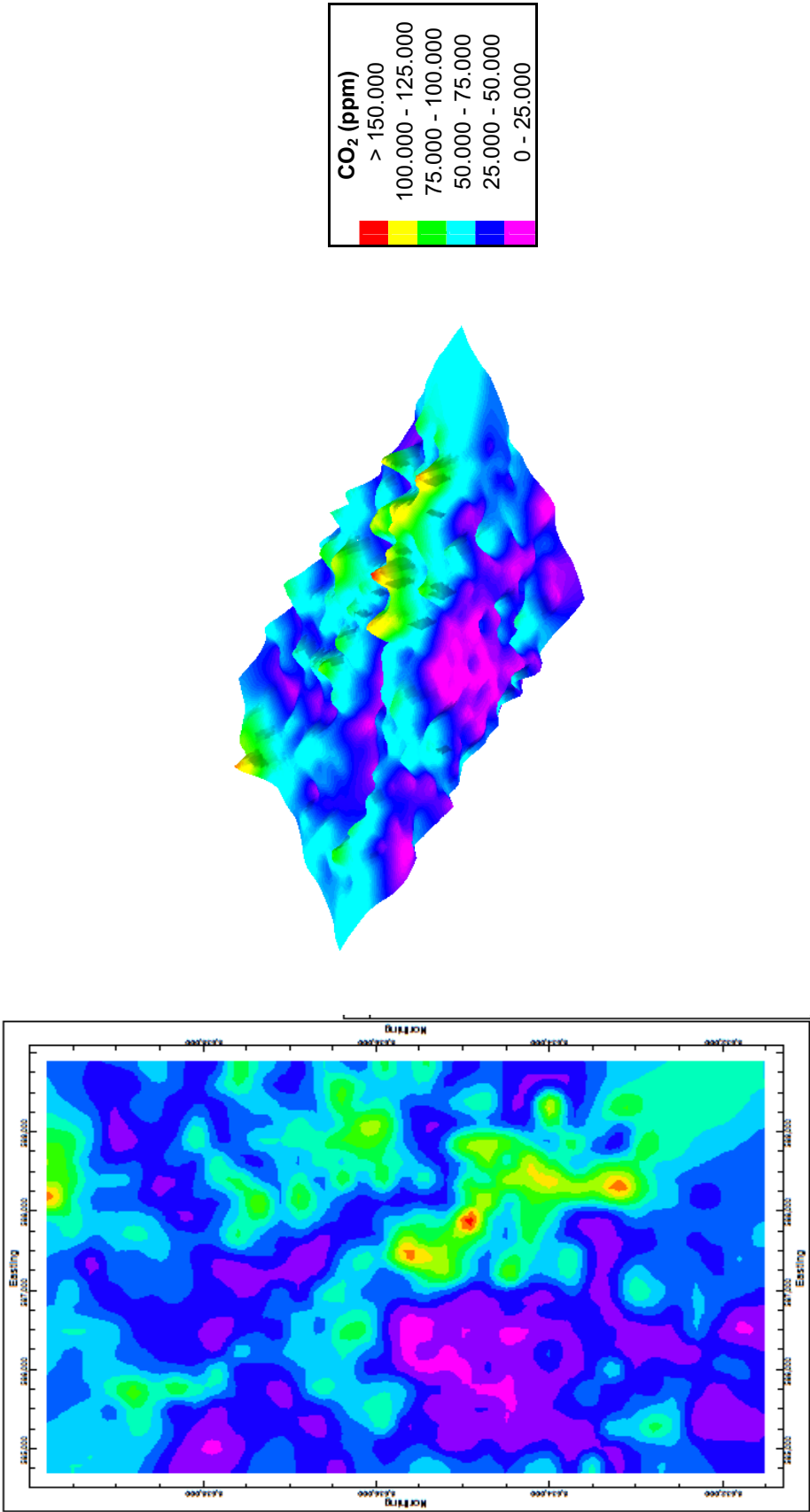


Figura 5.11– Mapa de concentração do CO₂ pelo método do inverso da distância em 2D e 3D. Elaborado pelo programa RockWorks.

MONITORAMENTO TEMPO ZERO EM MIRANGA

MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE CO₂

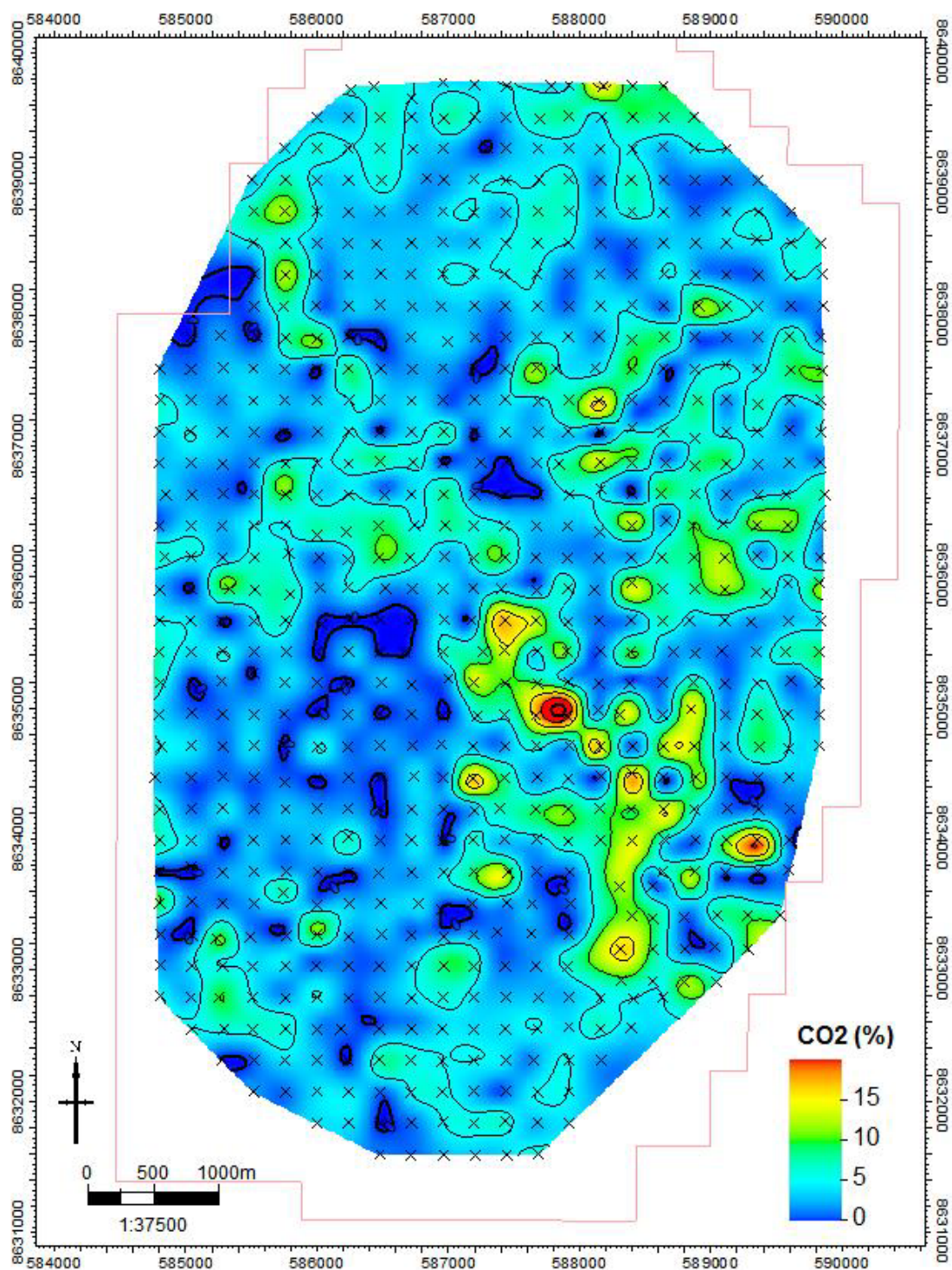


Figura 5.12– Mapa de concentração do CO₂ pelo método do inverso da distância. Elaborado pelo programa Petrel.

Observa-se que ambos os mapas de distribuição apresentaram mesma distribuição dos dados de campo, posto que o método de interpolação utilizado foi o mesmo.

O último método de interpolação avaliado foi a krigagem, entretanto antes de realizar essa interpolação foi elaborado o semivariograma pelo programa RockWoks. Para a concentração de CO₂ o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados foi exponencial com efeito pepita.

Primeiramente foi elaborado o semivariograma em uma única direção, ou seja, os dados foram interpretados como se estivessem em um meio isotrópico. A Figura 5.13 apresenta o semivariograma para essa situação.

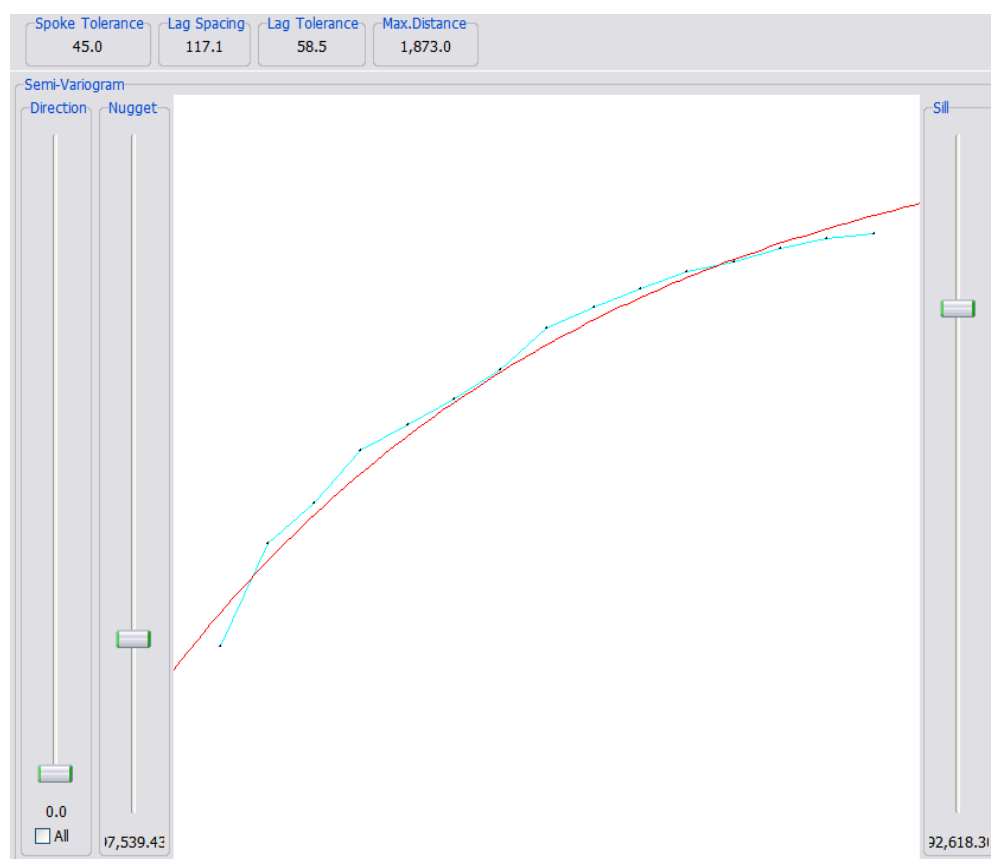


Figura 5.13– Semivariograma considerando uma única direção para os dados de CO₂. Elaborado pelo programa RockWorks.

O fato do meio estudado apresentar diferentes propriedades físicas caracteriza a anisotropia do local. Por isso foi elaborado um novo semivariograma considerando todas as direções, ou seja, considerando a anisotropia da área. O semivariograma que pondera todas as direções está apresentado na Figura 5.14.

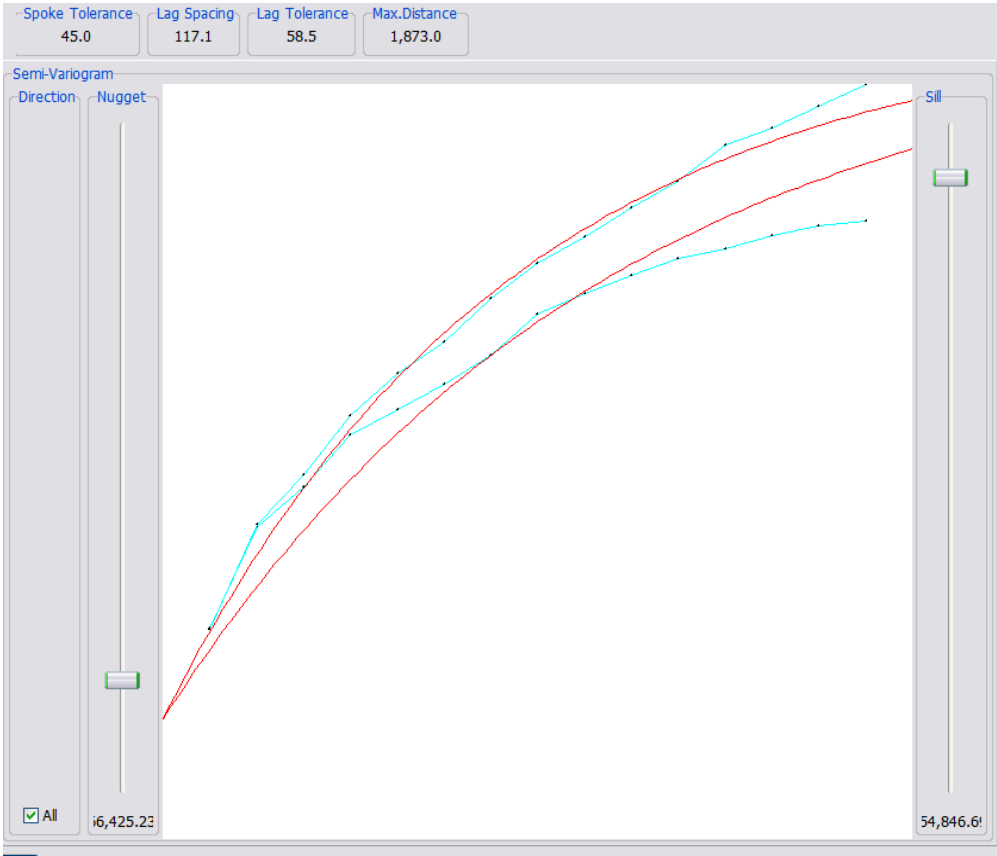


Figura 5.14– Semivariograma considerando todas as direções para os dados de CO₂. Elaborado pelo programa RockWorks.

Os valores dos coeficientes do modelo teórico estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Coeficientes dos Semivariogramas de CO₂.

Semivariograma - CO ₂	1 Direção	Omnidirecional
Modelo	Exponencial com efeito pepita	Exponencial com efeito pepita
Distância do Incremento (h)	117,6 m	117,6 m
Tolerância da Distância	±58,53 m	±58,53 m
Distância Máxima de Corte	1873 m	1873 m
Coefficiente de Correlação para o Variograma	0,99	0,99
Efeito Pepita (C ₀)	81197539,44	51966425,24
Patamar (C ₀ +C)	243592618,3	302054846,7
Maior Alcance (A ₀)	1123,8 m	1123,8 m
Menor Alcance (A ₀)	880,31 m	880,31 m
Razão C ₀ /(C ₀ +C) (%)	33,33%	17,20%
Grau de Aleatoriedade E=C ₀ /C	0,50	0,21

Observa-se que para os semivariogramas propostos o valor do efeito pepita foi elevado, entretanto a relação entre o efeito pepita e o patamar (C₀/(C₀+C),

apresentou-se inferior a 25% para o semivariograma considerando todas as direções (omnidirecional). Segundo Cambardella *et al.* (1994) esse valor de razão indica que o CO₂ apresenta forte dependência espacial na área e sua variabilidade pode ser explicadas pelas estruturas espaciais indicadas na Tabela 5.4.

A forte dependência espacial dos atributos do solo é usualmente atribuída à fatores intrínsecos como os fatores de formação do solo (material de origem, relevo, clima, organismos e tempo).

Cabe ressaltar que a dependência espacial entre as amostras indicam a existência de semelhanças entre pontos vizinhos. Tais semelhanças devem ser consideradas para a realização de estimativas de valores amostrados e mapeamento do parâmetro em estudo. De acordo com McBratney e Webster (1983), uma das principais utilizações dos semivariogramas consiste na determinação do número ideal de amostras para a estimativa dos parâmetros do solo.

Desta forma, o semivariograma pode informar as distâncias mínimas de dependência espacial do parâmetro estudado. No caso do CO₂ este valor foi calculado como sendo 1.123,8m.

Outra consideração importante é a determinação do grau de aleatoriedade que é determinado pela razão $E=C_0/C$, o resultado obtido para o CO₂ foi de 0,50 o que indica que a componente aleatória é muito significativa para a análise em uma direção e o valor de 0,21 para a análise omnidirecional que determina componente aleatória significativa.

Após a elaboração do semivariograma os dados foram interpolados por krigagem. A krigagem é um método de interpolação que é considerada por diversos autores incluindo Trangmar *et al.*, (1985); Journel e Rossi, (1989); Oliver e Webster, (1991); Robertson *et al.*, (1997). Bourenname *et al.*, (1996) como sendo um método bastante adequado para a geração de mapas de distribuição.

O mapa de concentrações do CO₂ interpolado por krigagem com base no semivariograma em todas as direções pode ser observado na Figura 5.15.

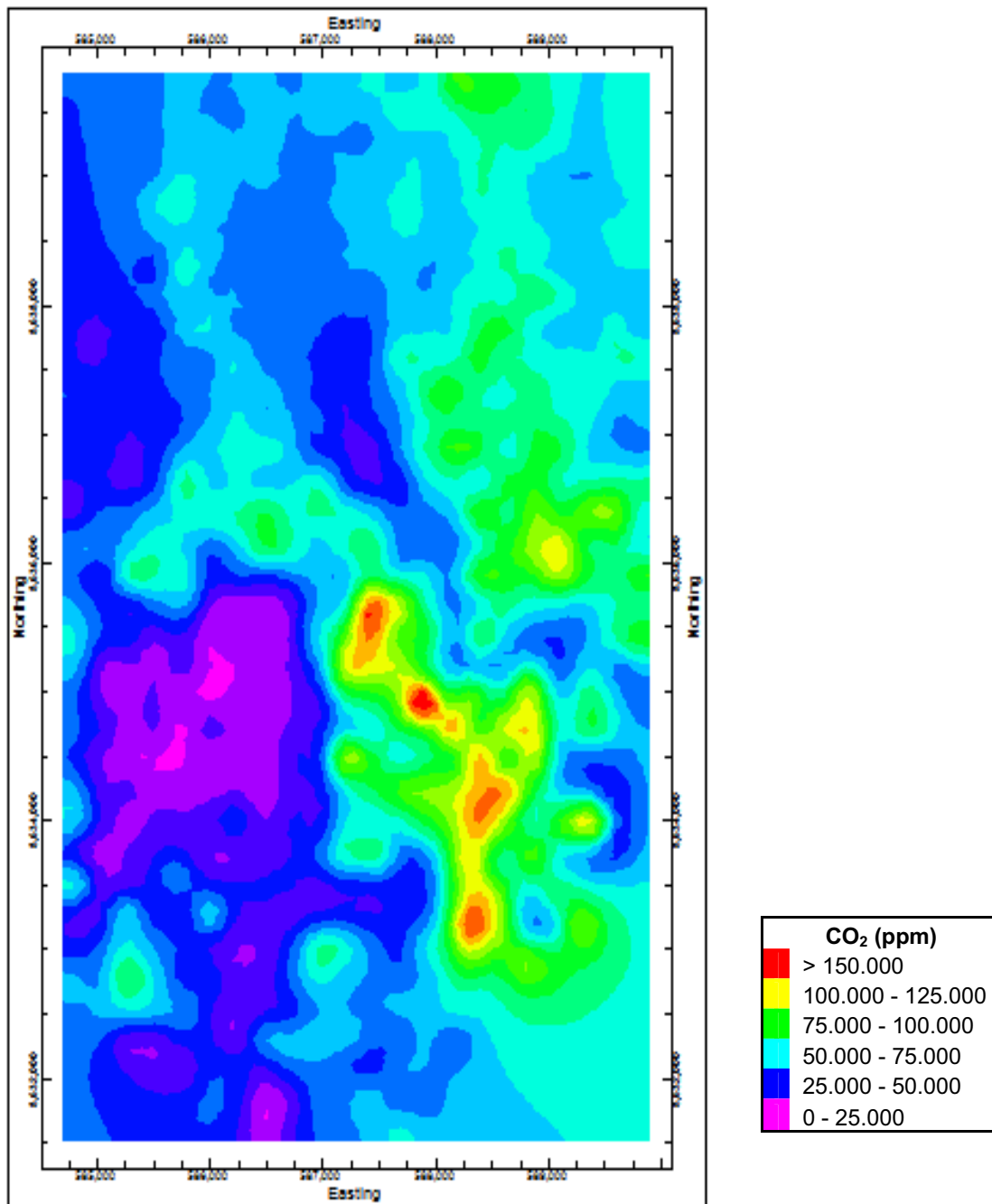


Figura 5.15— Mapa de concentração do CO₂ pelo método de krigagem. Elaborado pelo programa RockWorks.

Nota-se que os mapas de distribuição interpolados pelo inverso da distância (Figura 5.11) e por krigagem (Figura 5.15) apresentaram semelhanças.

Devido a essa boa representatividade dos dados o método de interpolação pelo inverso da distância foi um dos métodos escolhido e utilizado para analisar os demais parâmetros coletados em campo.

5.2.2. Metano (CH₄)

Conforme descrito anteriormente, para o metano e os demais parâmetros coletados do solo, serão apresentados os mapas de distribuição com a interpolação pelo inverso da distância, análise semivariográfica e krigagem.

A Figura 5.16 apresenta o mapa de concentrações do metano com a interpolação do inverso da distância.

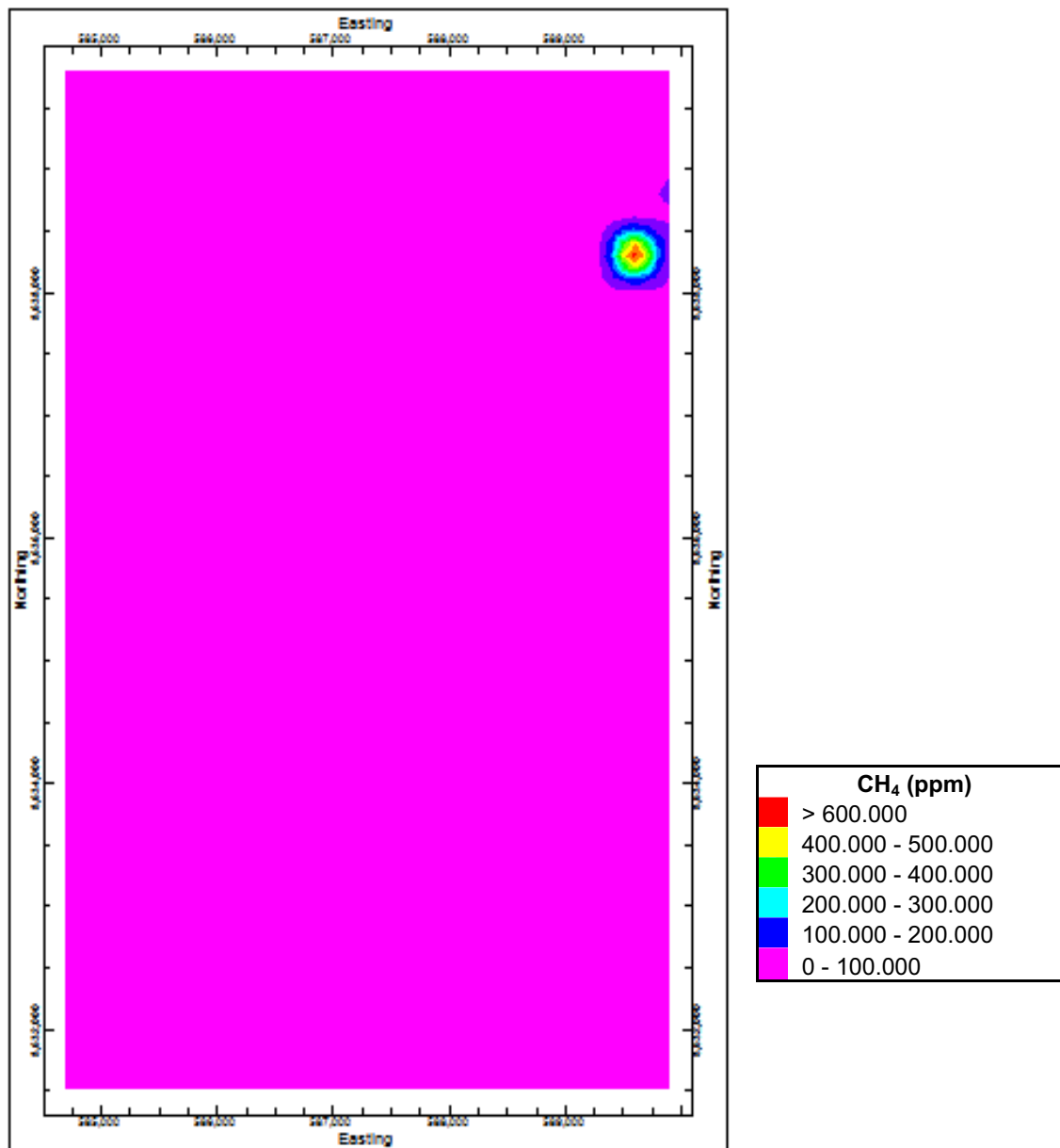


Figura 5.16– Mapa de concentração do CH₄ pelo método do inverso da distância. Elaborado pelo programa RockWorks.

Observa-se que no ponto amostral de número 111 foi medido um valor de CH_4 de 1.265.000 ppm. Acredita-se que a elevada concentração presente neste ponto pode estar associada a decomposição anaeróbia de matéria orgânica. Em virtude desta anomalia o mapa de distribuição não corresponde à realidade, pois o método interpolador extrapolou esta concentração elevada para toda a região, o que não é válido, pois os demais valores não ultrapassam o valor de 4.000 ppm.

Com o intuito de visualizar a distribuição das concentrações do CH_4 na região como um todo foi eliminado este ponto de maior concentração. A Figura 5.17 apresenta o mapa de concentrações com valores entre 0 e 4000 ppm. Desta forma os dados apresentam-se melhor distribuídos dando uma melhor idéia da disposição do metano em campo.

A interpolação por krigagem obedeceu aos mesmos procedimentos utilizados para as concentrações do dióxido de carbono, e para o metano foram utilizados os dados no intervalo de 0 a 4000 ppm.

O primeiro semivariograma apresentado na Figura 5.18 foi gerado considerando-se apenas uma direção, ou seja, considerando a isotropia do meio. O segundo semivariograma apresentado na Figura 5.19 considerou a anisotropia do meio e foi elaborado ponderando todas as direções. Ambos semivariogramas foram ajustados ao modelo exponencial com efeito pepita.

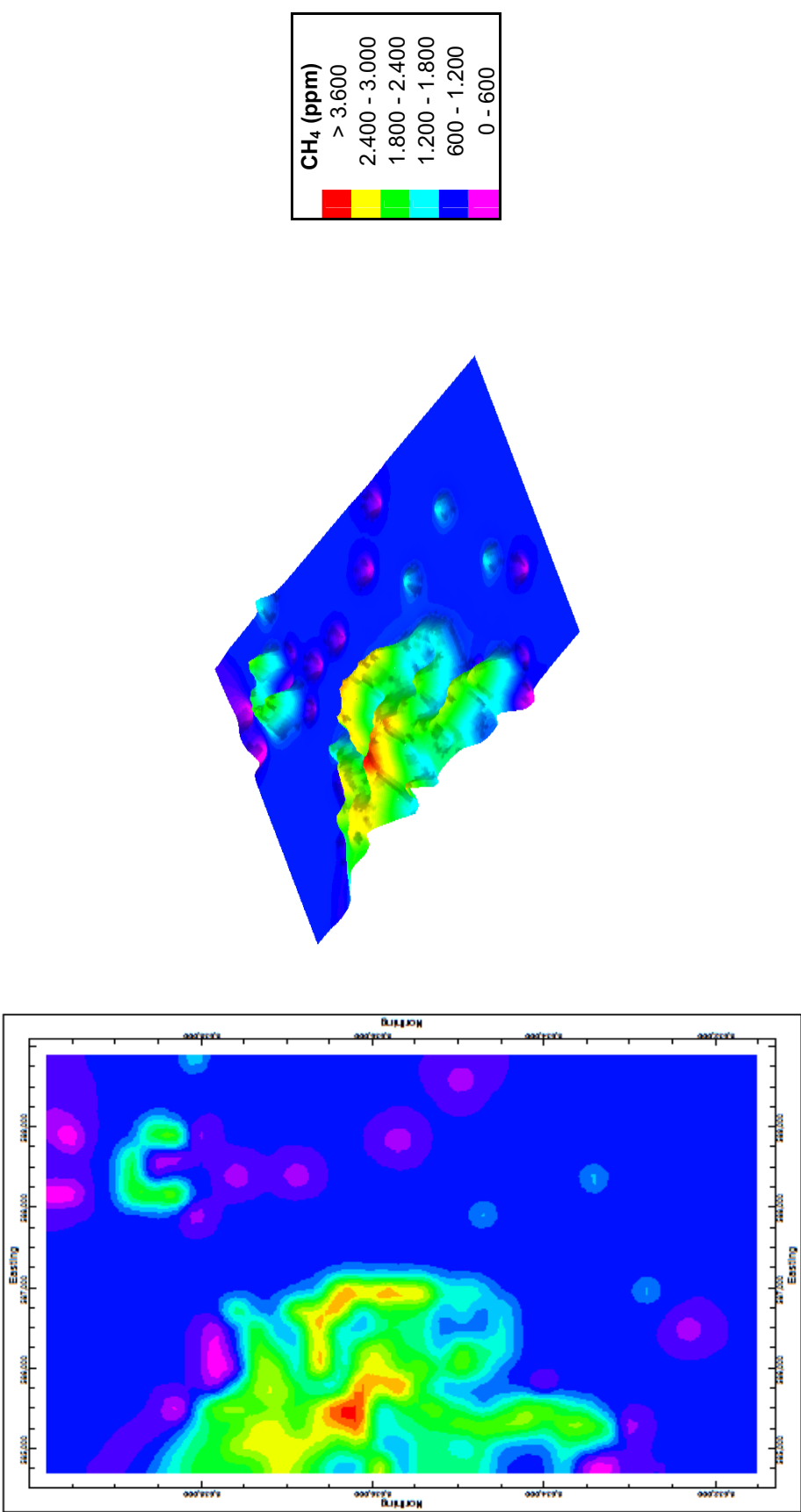


Figura 5.17– Mapa de concentração do CH₄ pelo método do inverso da distância em 2D e 3D. Elaborado pelo programa RockWorks.

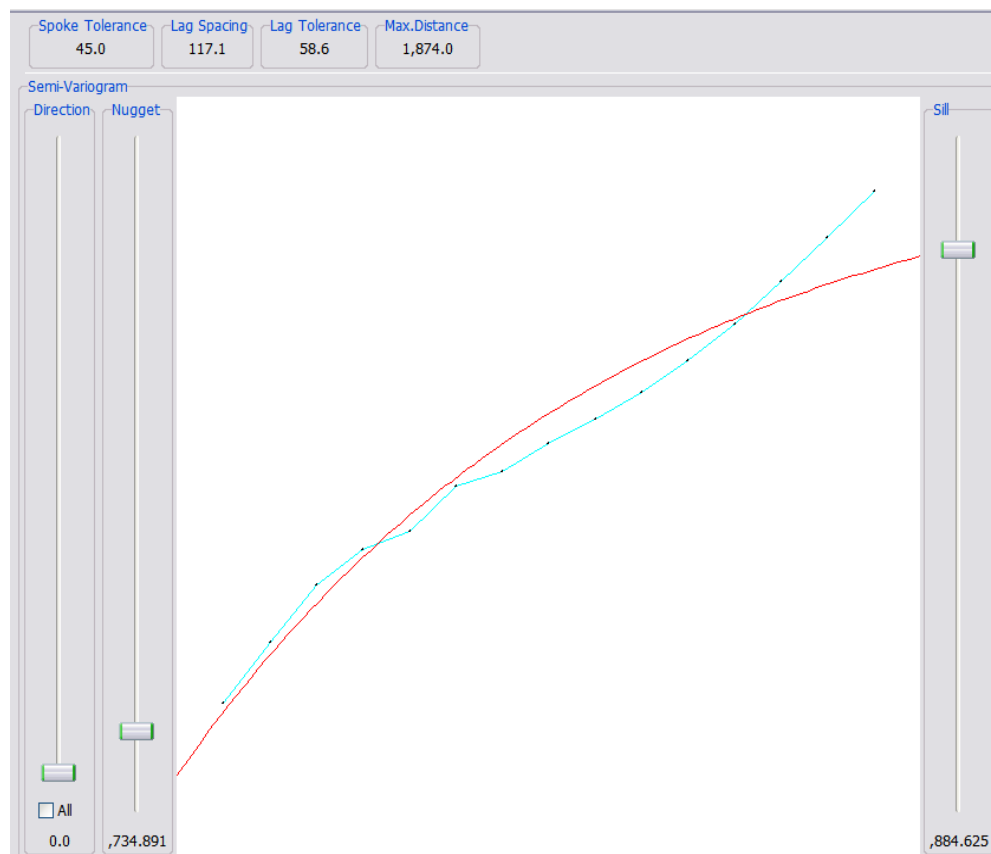


Figura 5.18– Semivariograma considerando uma única direção para os dados de CH₄. Elaborado pelo programa RockWorks.

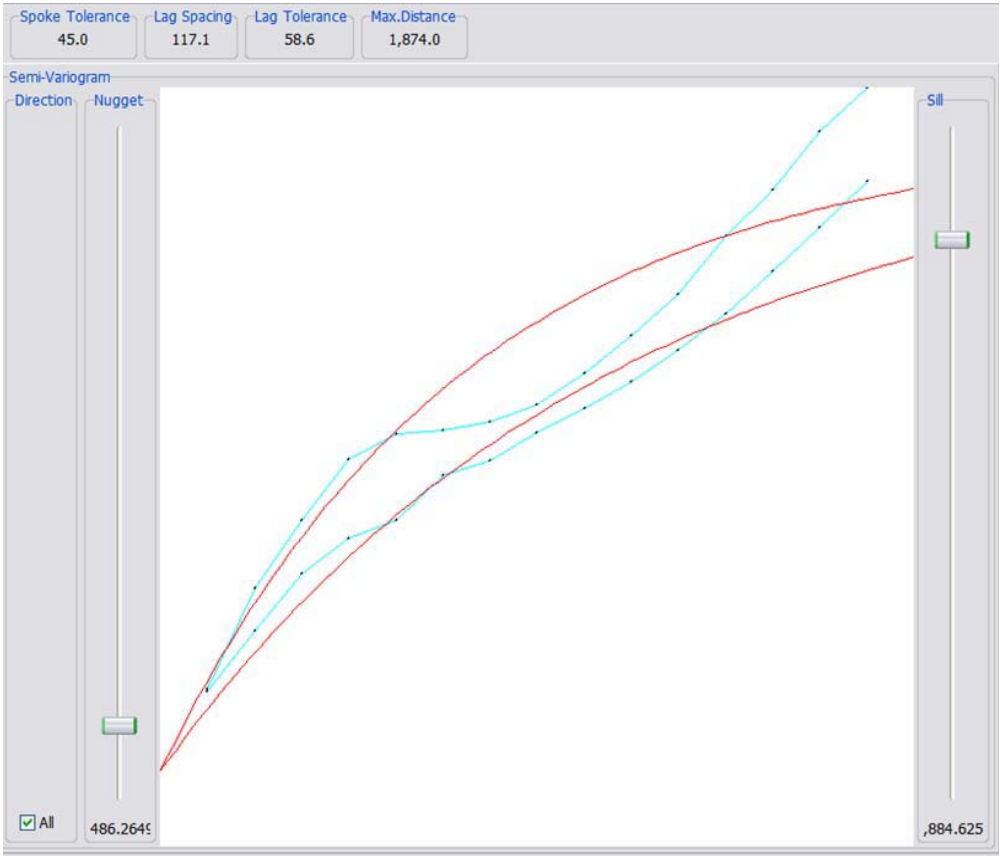


Figura 5.19– Semivariograma considerando todas as direções para os dados de CH₄. Elaborado pelo programa RockWorks.

Os valores dos coeficientes do modelo teórico estão apresentados na Tabela 5.5

Tabela 5.5 – Coeficientes dos Semivariogramas de CH₄.

Semivariograma - CH ₄	1 Direção	Omnidirecional
Modelo	Exponencial com efeito pepita	Exponencial com efeito pepita
Distância do Incremento (h)	117,12 m	118,12 m
Tolerância da Distância	±58,56 m	±58,57 m
Distância Máxima de Corte	1873,98 m	1873,98 m
Coefficiente de Correlação para o Variograma	0,97	0,96
Efeito Pepita (C ₀)	13734,89	12486,26
Patamar (C ₀ +C)	104884,63	104884,63
Maior Alcance (A ₀)	1124,39 m	1143,13 m
Menor Alcance (A ₀)	805,81 m	768,33 m
Razão C ₀ /(C ₀ +C) (%)	13,10%	11,90%
Grau de Aleatoriedade E=C ₀ /C	0,15	0,14

Segundo Cambardella *et al.*(1994), assim como o CO_2 , o metano também apresenta forte dependência espacial, pois a relação efeito pepita e o patamar ($C_0/(C_0+C)$), apresentou valores inferiores a 25%.

O grau de aleatoridade determinado pela razão $E=C_0/C$ apresentou como resultado os valores de 0,14 e 0,15 que indicam componente aleatória significante.

O mapa de concentrações do CH_4 interpolado por krigagem com base no semivariograma em todas as direções pode ser observado na Figura 5.20.

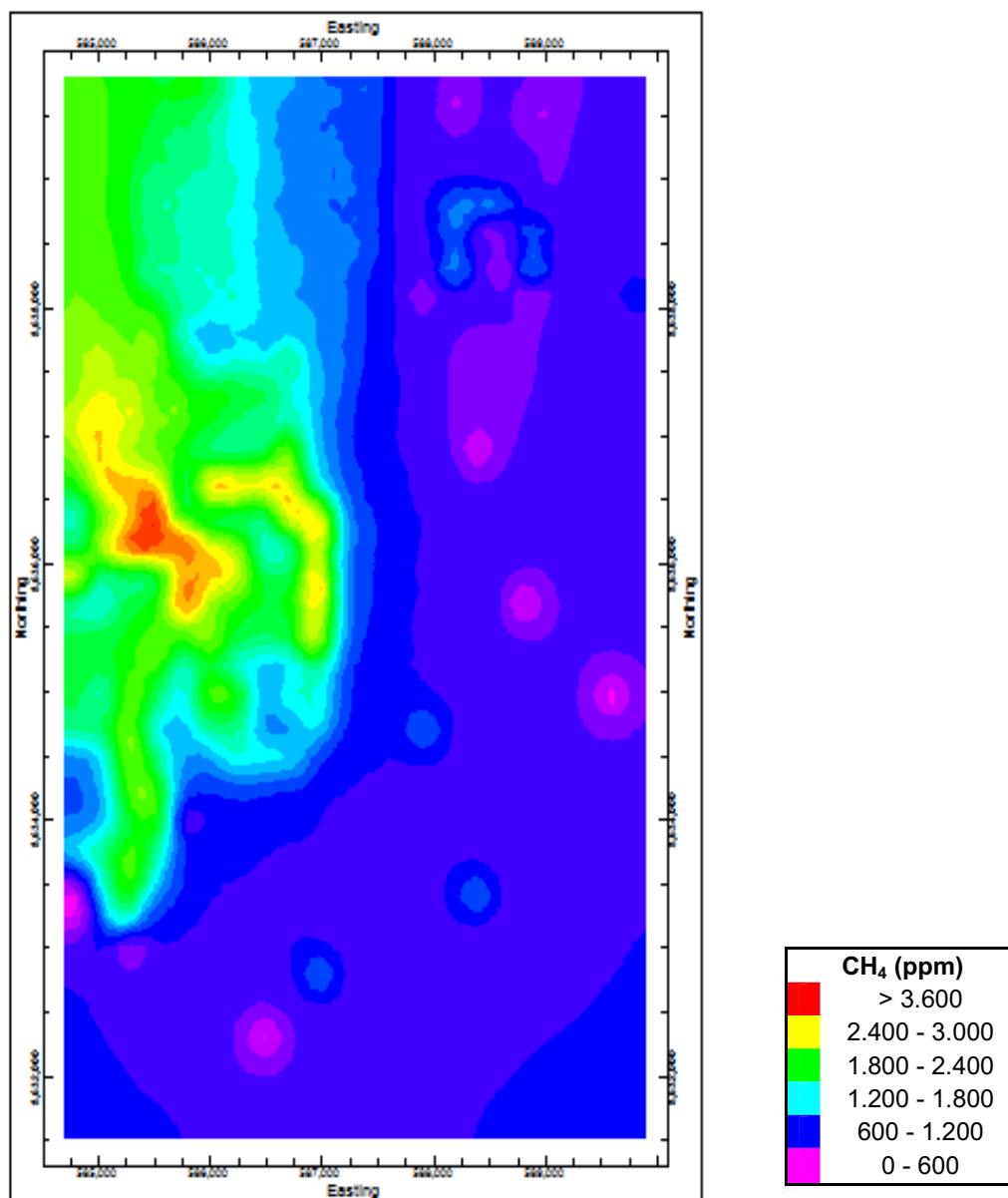


Figura 5.20– Mapa de concentração do CH_4 pelo método de krigagem. Elaborado pelo programa RockWorks.

Observa-se que os semivariogramas não apresentaram um bom ajuste ao modelo teórico. Outra observação é com relação aos mapas de distribuição, o mapa interpolado pelo inverso da distância e o mapa interpolado por krigagem ambos tiveram regiões discrepantes na parte superior esquerda (ao norte da coordenada 8.636.000) da região de estudo o que não foi observado para os dados de dióxido de carbono.

5.2.3. Radônio (Rn)

Um dos objetivos do estudo era demonstrar a correlação entre o dióxido de carbono e o radônio. Conforme descrito no Capítulo 2, item 0, o radônio é utilizado como gás traçador para medida indireta da concentração do CO₂. Assim sendo os mapas de concentração de radônio serão expressos adotando os procedimentos descritos no item anterior 5.2.2.

O primeiro mapa de concentração do radônio está expresso na Figura 5.21 e foi elaborado pelo método de interpolação do inverso da distância.

Observa-se que as concentrações de radônio e de dióxido de carbono não apresentaram correlação na região. Para exemplificar esta ausência de correlação a Figura 5.22 apresenta um gráfico com os valores de Rn x CO₂ separados por textura do solo.

Acredita-se que a correlação não ficou evidente, pois em campo os dados amostrados do CO₂ e do Rn foram dados de concentração pontuais. Para se estabelecer a correlação seria necessária além das medidas das concentrações se faz necessário a medida dos fluxos na superfície do terreno desses gases. Com a ausência desses dados de fluxos não foi possível estabelecer correlação entre esses dois parâmetros amostrados.

Com base nesse gráfico tentou-se traçar linhas de tendência para ilustrar a baixa correlação entre radônio e dióxido de carbono. A Tabela 5.6 mostra os baixos valores de R². O valor de R² varia de -1 a 1, onde quanto mais próximo de 1, mais significativo é o valor da correlação e tendência. Como se pode observar os valores de R² apresentaram-se bem baixos o que afirma novamente a baixa correlação entre esses parâmetros amostrados.

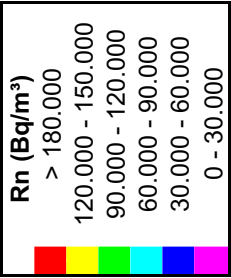
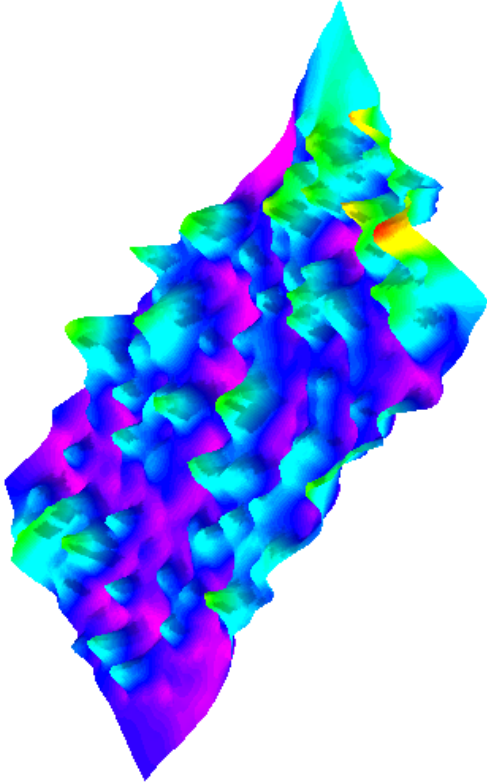
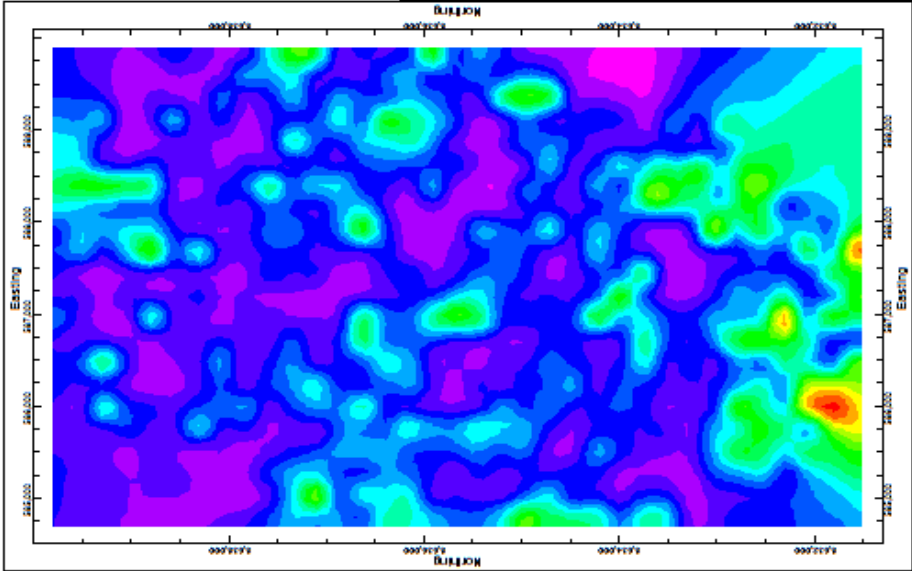


Figura 5.21– Mapa de concentração do Rn pelo método do inverso da distância em 2D e 3D. Elaborado pelo programa RockWorks.

Tabela 5.6 – Valores de R^2 para linhas de tendência de valores de $R_n \times CO_2$ por tipo de solo.

Tipo de solo	Linha de Tendência	R^2
Argiloso	Linear	0,268
	Logarítmica	0,298
	Polinomial (ordem 3)	0,353
	Exponencial	0,308
Argilo-arenoso	Linear	0,079
	Logarítmica	0,169
	Polinomial (ordem 3)	0,155
	Exponencial	0,178
Areno-argiloso	Linear	0,086
	Logarítmica	0,131
	Polinomial (ordem 3)	0,132
	Exponencial	0,130
Areno-siltoso	Linear	0,123
	Logarítmica	0,001
	Polinomial (ordem 3)	0,341
	Exponencial	0,070
Arenoso	Linear	0,115
	Logarítmica	0,162
	Polinomial (ordem 3)	0,191
	Exponencial	0,116

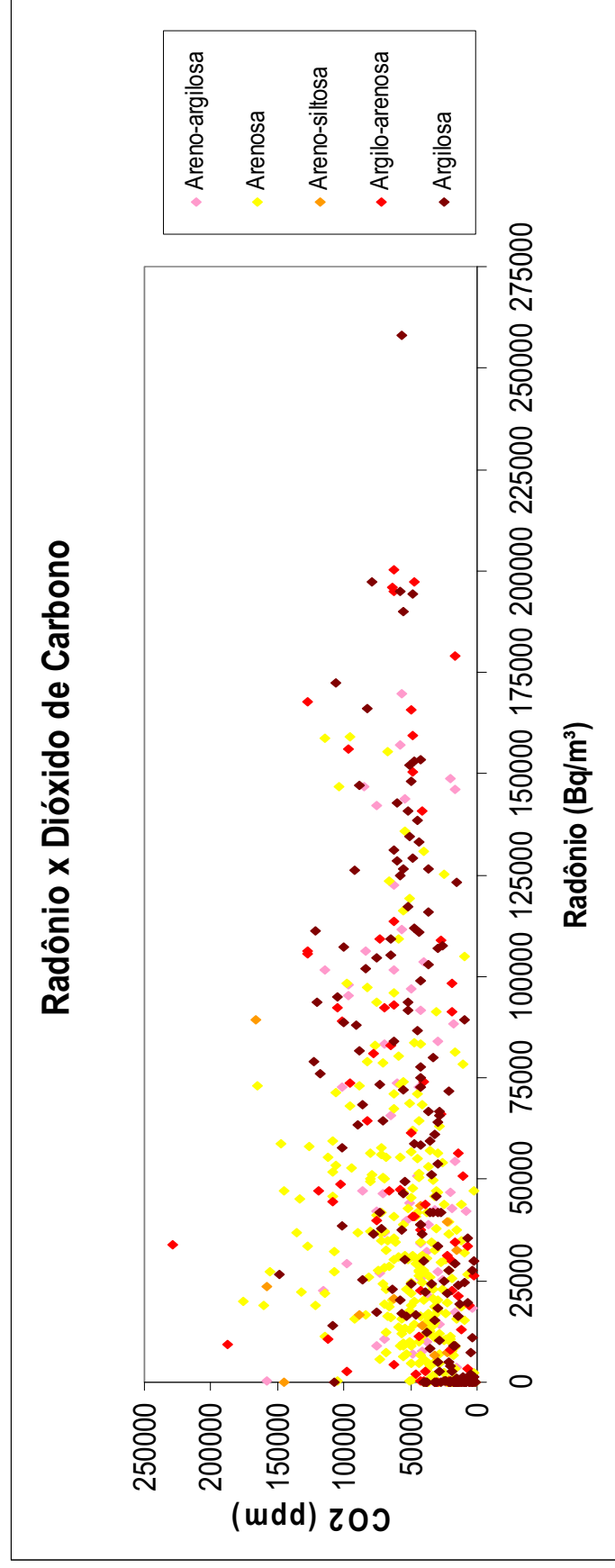


Figura 5.22– Gráfico de dispersão dos valores de radônio versus dióxido de carbono, separados por tipo de solo.

O método de krigagem para as concentrações de radônio foi realizado após a análise semivariográfica. O semivariograma apresentado na Figura 5.23 foi gerado considerando isotropia e o semivariograma apresentado na Figura 5.24 considerou anisotropia do meio.

Ambos semivariogramas foram ajustados ao modelo exponencial com efeito pepita.

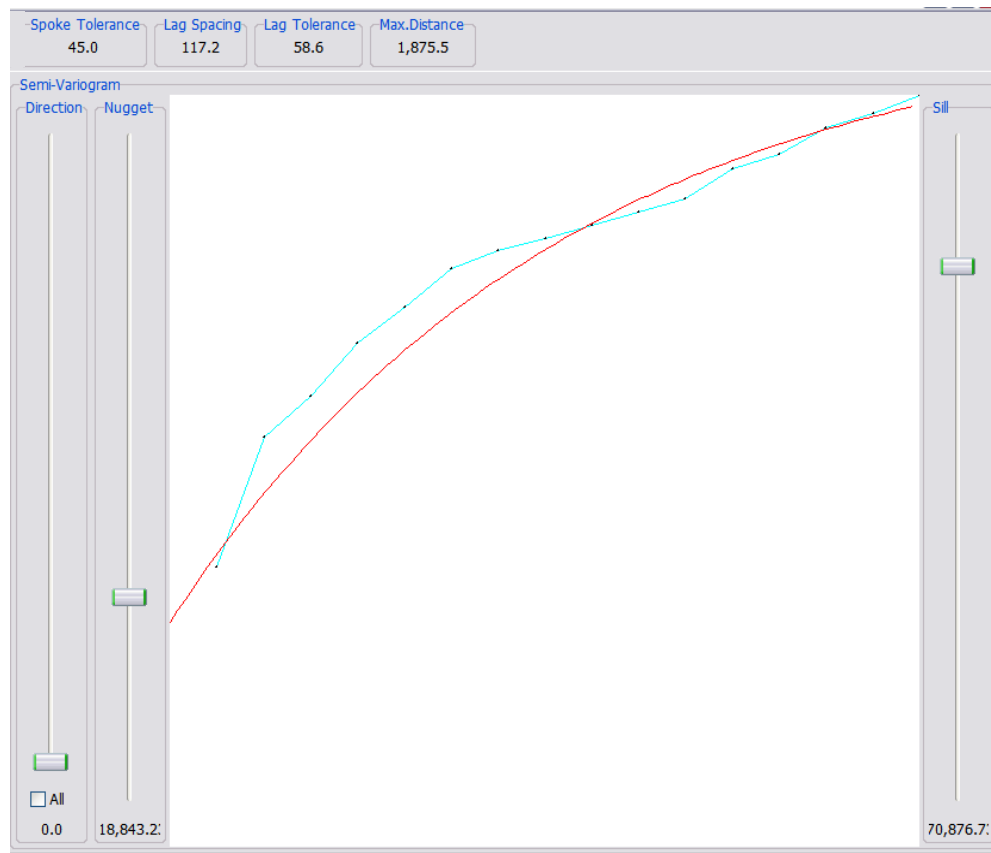


Figura 5.23– Semivariograma considerando uma única direção para os dados de Rn. Elaborado pelo programa RockWorks.

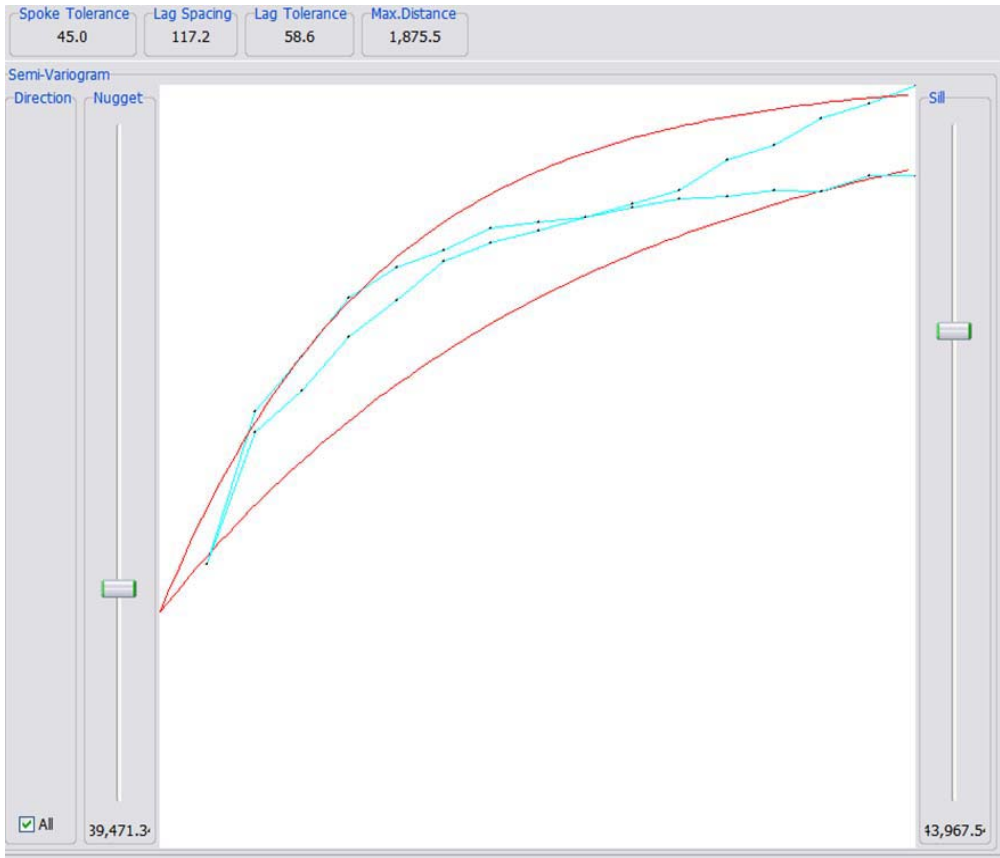


Figura 5.24– Semivariograma considerando todas as direções para os dados de Rn. Elaborado pelo programa RockWorks.

Os valores dos coeficientes do modelo teórico estão apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Coeficientes dos Semivariogramas de Rn.

Semivariograma - Rn	1 Direção	Omnidirecional
Modelo	Exponencial com efeito pepita	Exponencial com efeito pepita
Distância do Incremento (h)	117,22 m	117,22 m
Tolerância da Distância	±58,61 m	±58,61 m
Distância Máxima de Corte	1875,52 m	1875,52 m
Coefficiente de Correlação para o Variograma	0,96	0,89
Efeito Pepita (C ₀)	141618843,2	146339471,3
Patamar (C ₀ +C)	382370876,7	330443967,6
Maior Alcance (A ₀)	994,03m	1500,42m
Menor Alcance (A ₀)	862,74m	506,39m
Razão C ₀ /(C ₀ +C) (%)	37,04%	44,29%
Grau de Aleatoriedade E=C ₀ /C	0,59	0,79

O radônio apresentou menor dependência espacial se comparado aos demais parâmetros apresentados i. e. CO₂ e CH₄. A razão entre o efeito pepita e

o patamar apresentou valores acima de 25% caracterizando uma moderada dependência espacial dos dados (Cambardella *et al.*, 1994).

O grau de aleatoriedade determinado pela razão $E=C_0/C$ apresentou como resultado os valores de 0,59 e 0,59 que indicam componente aleatória muito significante para ambas as análises.

O mapa de concentrações do Rn interpolado por krigagem com base no semivariograma em todas as direções pode ser observado na Figura 5.25.

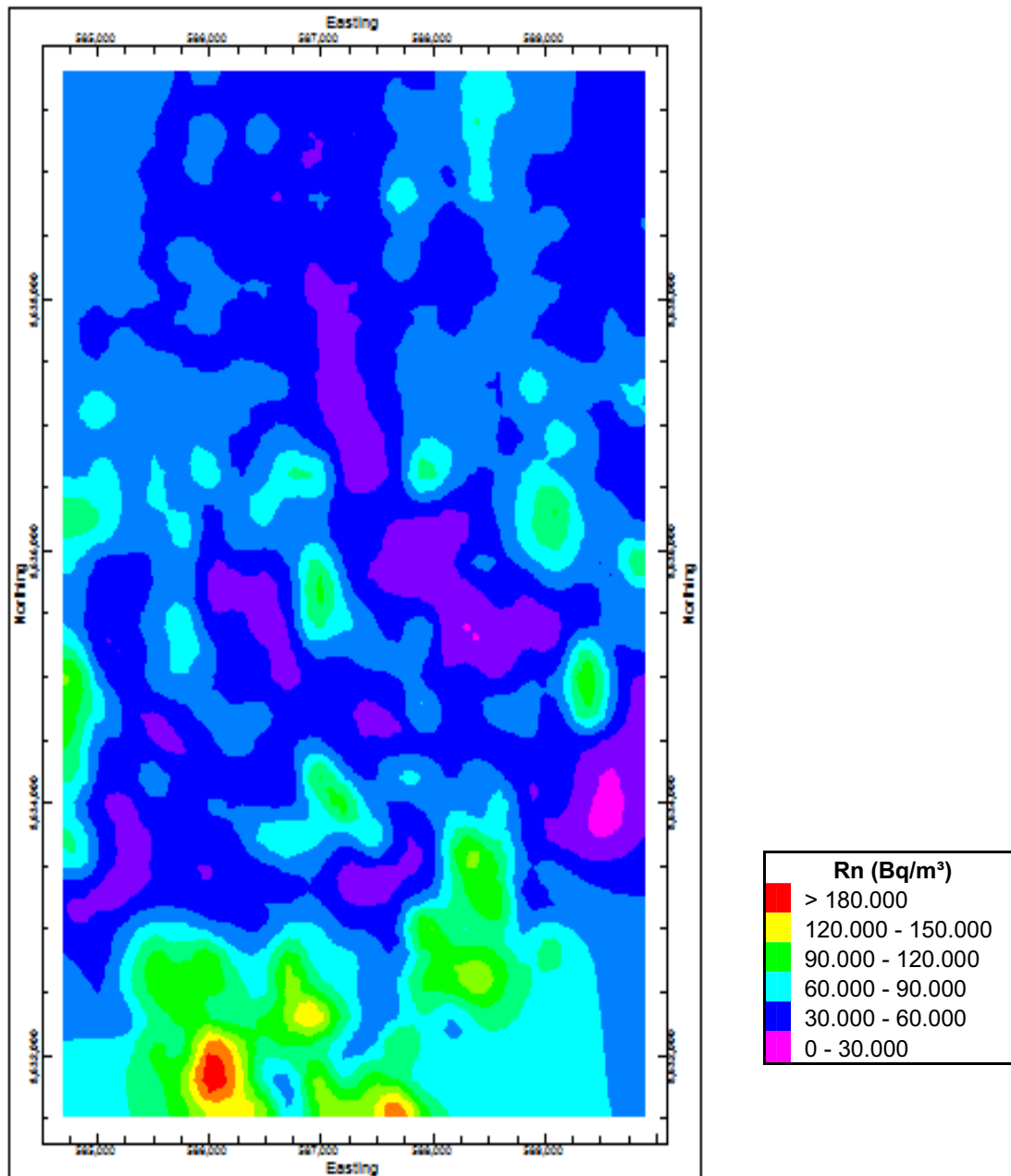


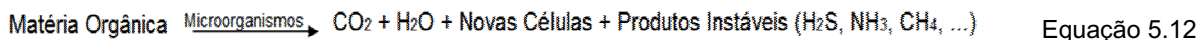
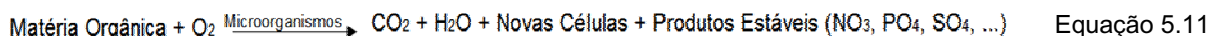
Figura 5.25— Mapa de concentração do Rn pelo método de krigagem. Elaborado pelo programa RockWorks.

5.2.4. Número mais Provável (NMP)

Os valores de microbiologia apresentaram pontos de discrepância, por isso para a análise dos dados foi proposta a redução da escala. A geração dos mapas de distribuição e dos semivariogramas foram realizados utilizando dados no intervalo de 0 a 10.000.

A Figura 5.26 apresenta o mapa de concentrações do NMP com a interpolação do inverso da distância.

Observa-se que a distribuição do NMP não apresenta correlação com a distribuição do dióxido de carbono e nem com a distribuição de metano. A análise visual das amostras coletadas não apresentou presença significativa de matéria orgânica. Sabe-se como pode ser visto nas Equação 5.11 e Equação 5.12 que a degradação de matéria orgânica pode gerar CO₂ e CH₄ a depender da presença ou ausência de O₂ no meio. No entanto o programa experimental não contemplou a determinação do teor de matéria orgânica o que dificultou a correlação NMP com esses parâmetros.



O método de krigagem para os valores de NMP foi realizado após a análise semivariográfica. O semivariograma apresentado na Figura 5.27 foi gerado considerando isotropia e o semivariograma apresentado na Figura 5.28 considerou anisotropia do meio.

Ambos semivariogramas foram ajustados ao modelo exponencial com efeito pepita.

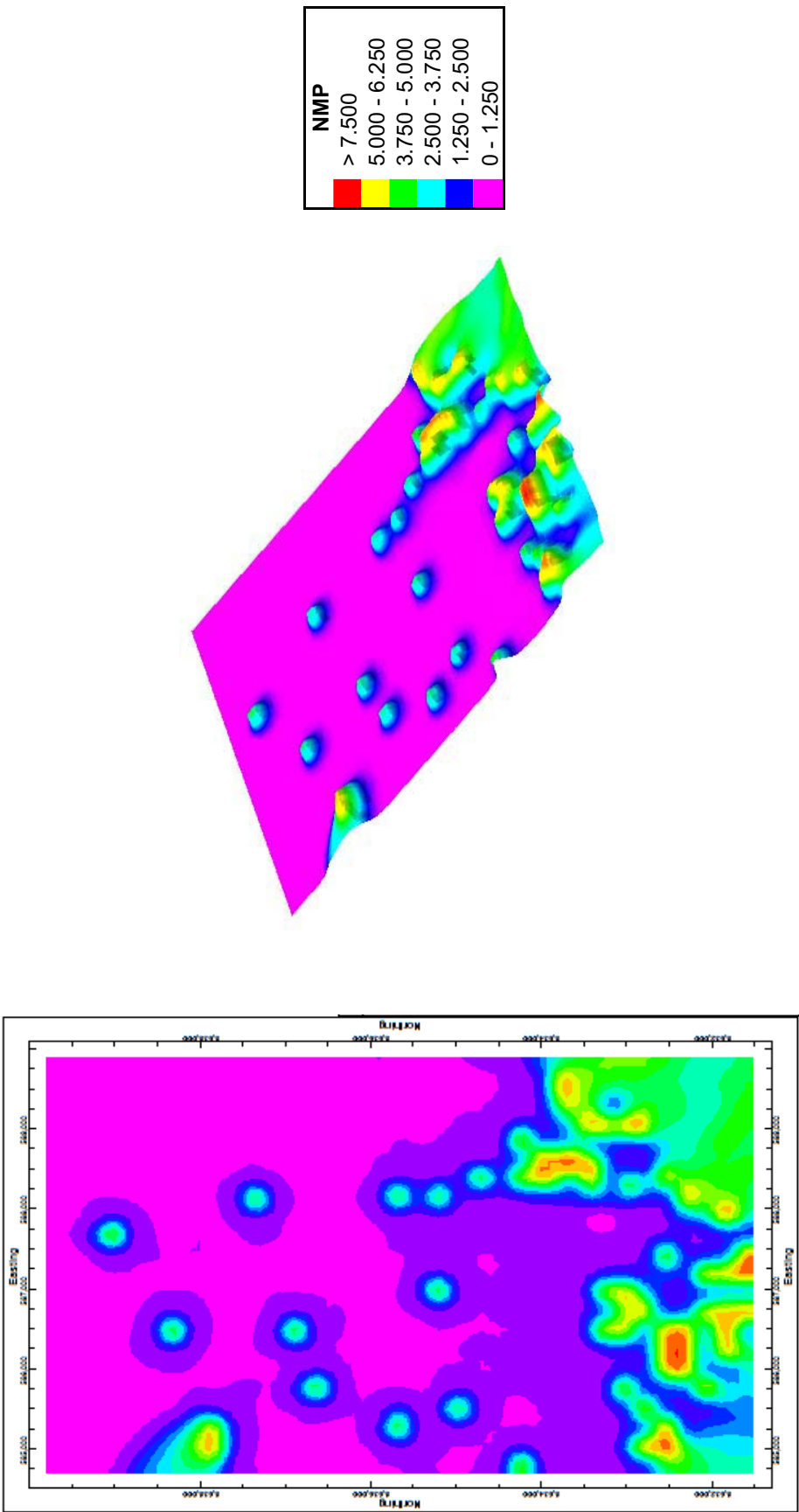


Figura 5.26– Mapa de concentração do NMP pelo método do inverso da distância em 2D e 3D. Elaborado pelo programa RockWorks.

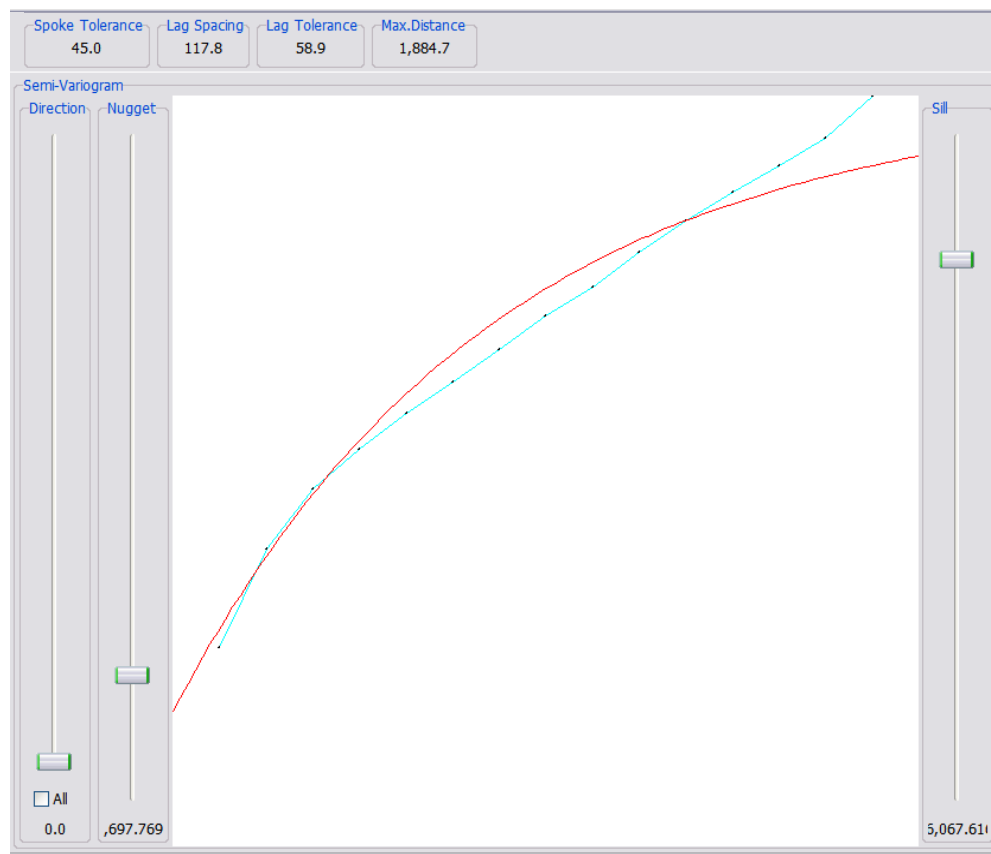


Figura 5.27– Semivariograma considerando uma única direção para os dados de NMP. Elaborado pelo programa RockWorks.

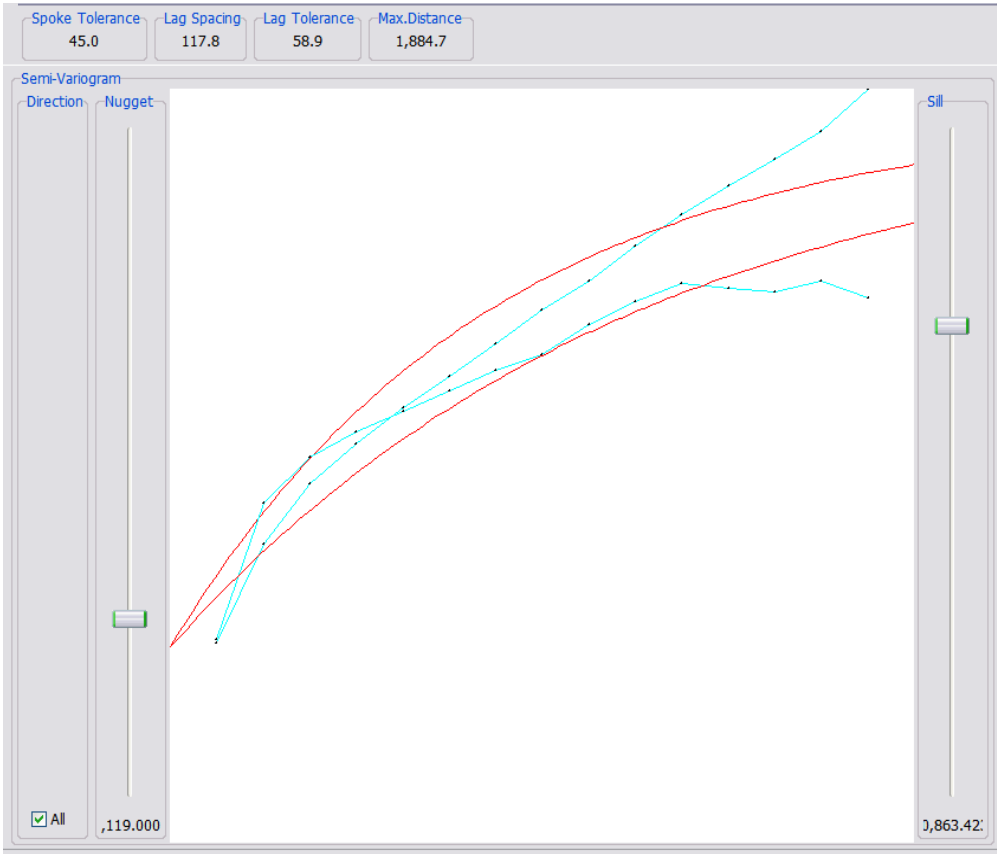


Figura 5.28– Semivariograma considerando todas as direções para os dados de NMP. Elaborado pelo programa RockWorks.

Os valores dos coeficientes do modelo teórico estão apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Coeficientes dos Semivariogramas de NMP.

Semivariograma - NMP	1 Direção	Omnidirecional
Modelo	Exponencial com efeito pepita	Exponencial com efeito pepita
Distância do Incremento (h)	117,8 m	117,8 m
Tolerância da Distância	±58,9 m	±58,9 m
Distância Máxima de Corte	1884,74 m	1884,74 m
Coefficiente de Correlação para o Variograma	0,97	0,97
Efeito Pepita (C ₀)	286697,77	414119,00
Patamar (C ₀ +C)	1306067,62	1130863,42
Maior Alcance (A ₀)	1074,3 m	1206,23 m
Menor Alcance (A ₀)	810,44 m	810,44 m
Razão C ₀ /(C ₀ +C) (%)	21,95%	36,62%
Grau de Aleatoriedade E=C ₀ /C	0,28	0,58

Os valores de NMP apresentaram de moderada a forte dependência espacial. E o grau de aleatoriedade apresentou componente aleatória significativa

para análise em uma direção e componente muito aleatória muito significativa para análise omnidirecional.

O mapa de concentrações do NMP interpolado por krigagem com base no semivariograma em todas as direções pode ser observado na Figura 5.29.

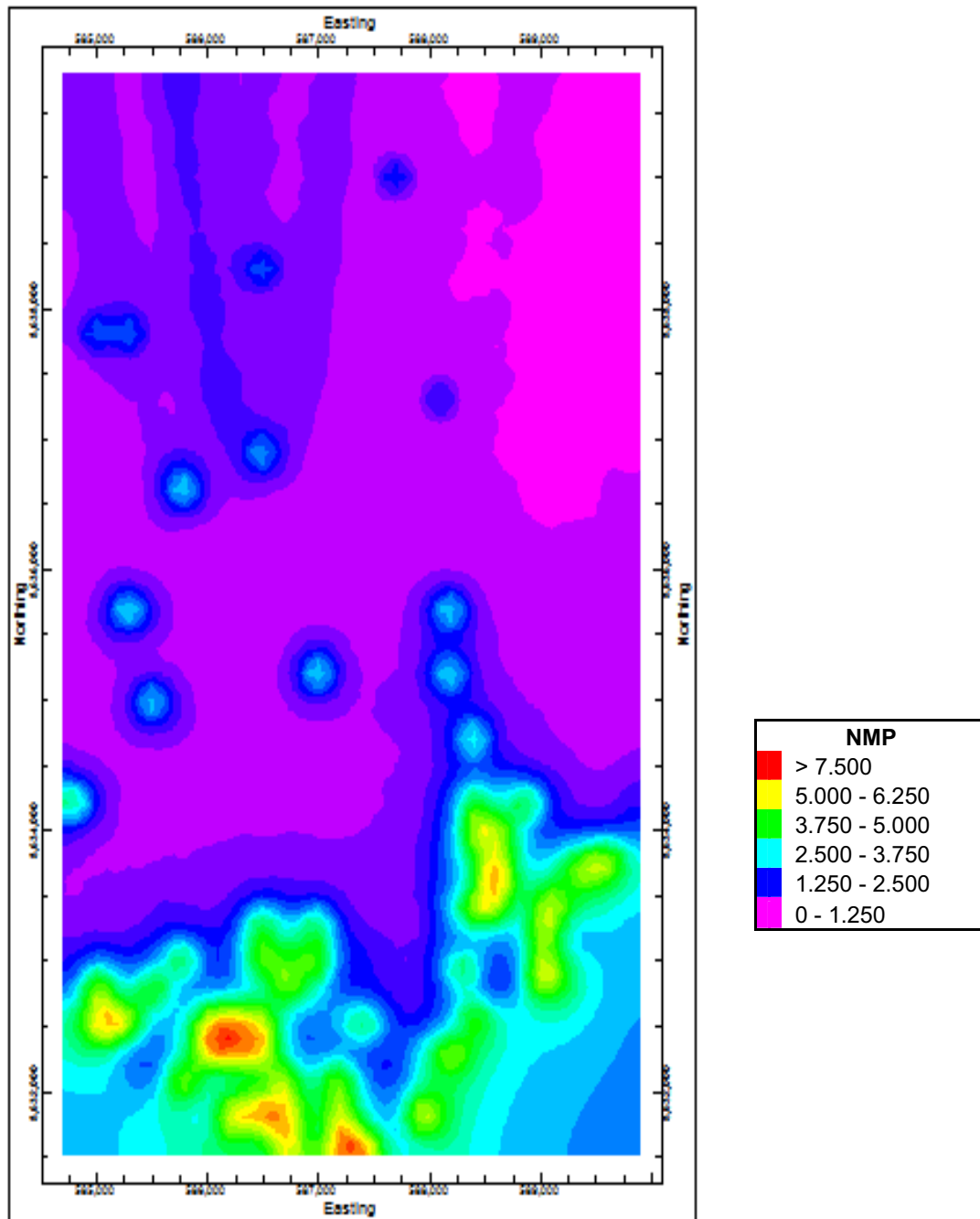


Figura 5.29— Mapa de concentração do NMP pelo método de krigagem. Elaborado pelo programa RockWorks.

O laboratório que realizou os ensaios microbiológicos também fez a medição do teor de umidade das amostras. Cabe ressaltar que o teor de umidade medido em laboratório difere bastante da umidade medida em campo. Essa variação é decorrente do processo de armazenamento e transporte das amostras, como também do intervalo de tempo decorrido entre a coleta da amostra e da realização da determinação do teor de umidade.

Também foi gerado um mapa de distribuição com o interpolador inverso da distância para os dados de teor de umidade, a Figura 5.30 apresenta este mapa.

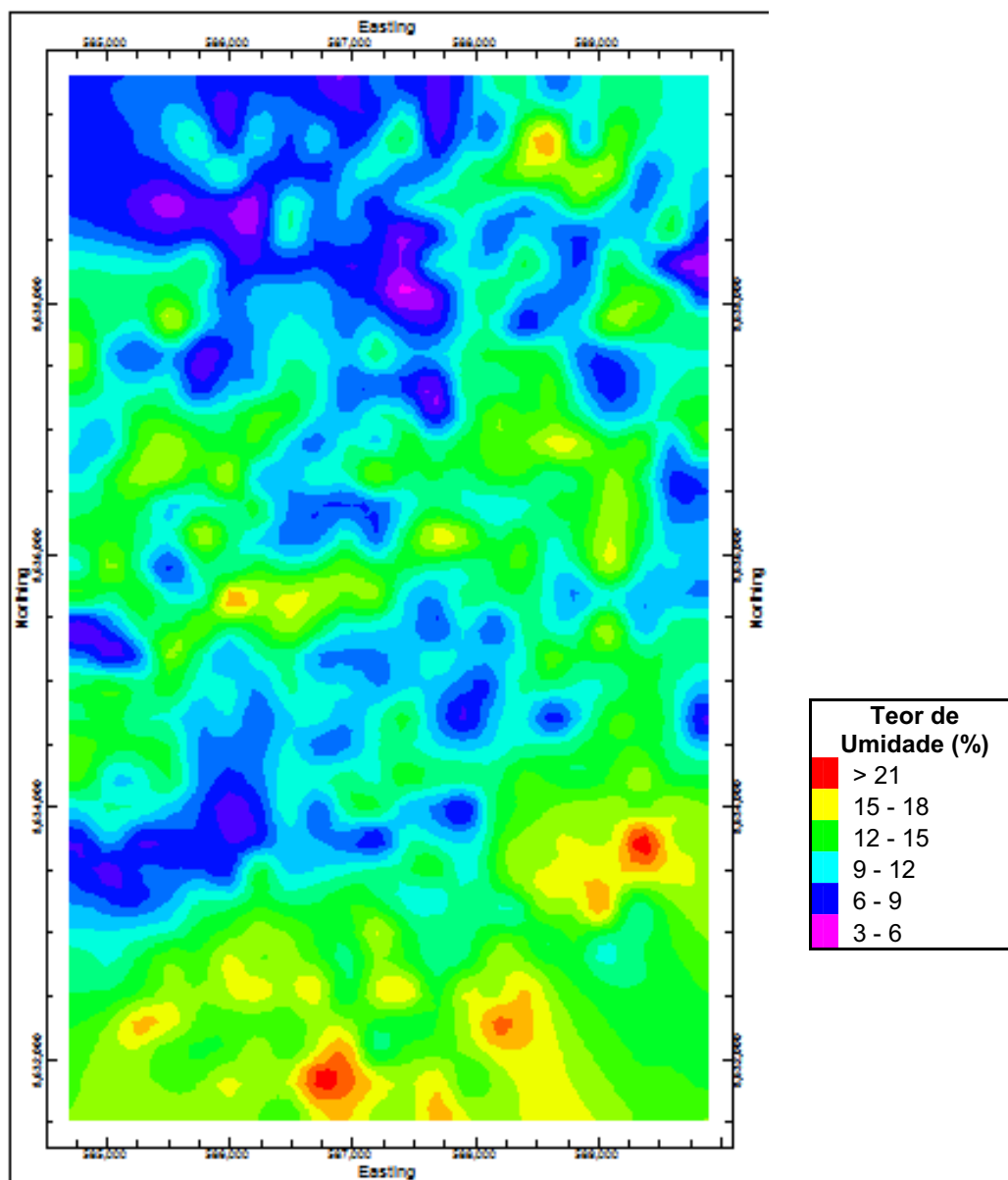


Figura 5.30– Mapa de concentração do Teor de Umidade pelo método de krigagem. Elaborado pelo programa RockWorks.

Observa-se que há uma correlação na parte inferior da região (ao sul da coordenada 8.634.000), para os valores de maior NMP há um maior valor do teor de umidade como pode ser observado nas Figura 5.29 e Figura 5.30.

5.2.5. Gasometria

Para os dados de gasometria foram elaborados mapas de concentração utilizando o interpolador inverso da distância. Para cada hidrocarboneto foi proposto em mapa de concentração de acordo com os valores obtidos em laboratório. Esses mapas encontram-se no Apêndice II, exceto o mapa de concentração do metano que será exposto neste item.

Observou-se que os mapas gerados com as informações da gasometria não apresentaram correlação com os dados medidos de CH₄ em campo.

A Figura 5.31 apresenta o mapa de concentração do metano com os dados da gasometria.

Para realizar um comparativo entre os dados de campo e de laboratório foi elaborado um mapa com a mesma escala de concentrações medida em campo (0 a 4000ppm) para os dados da gasometria. A Figura 5.32 apresenta esse mapa de concentração do metano para os dados da gasometria no intervalo de 0 a 4000ppm.

A Figura 5.32 em comparativo com a Figura 5.17 não apresenta nenhuma correlação, ou seja, as medidas de campo e de laboratório apresentaram resultados distintos.

Depois de constatado esse fato tentou-se correlacionar os dados de metano com o tipo de solo, pois a textura do meio poderia ter interferido na amostragem do gás, a Figura 5.33 apresenta a distribuição dos tipos de solo da área estudada.

A presença de solos mais permeáveis (solos arenoso e areno-siltoso) na região de maior concentração de metano em campo (região oeste) pode ter sido uma das causas dessa diferença entre dados de campo e de laboratório.

Solos mais permeáveis tendem a volatilizar o gás, como houve um tempo entre a amostragem e o ensaio de gasometria o metano presente neste tipo de solo pode ter sido reduzido por volatilidade; justificando assim a presença de valores menores de concentração para o mapa com os dados de laboratório.

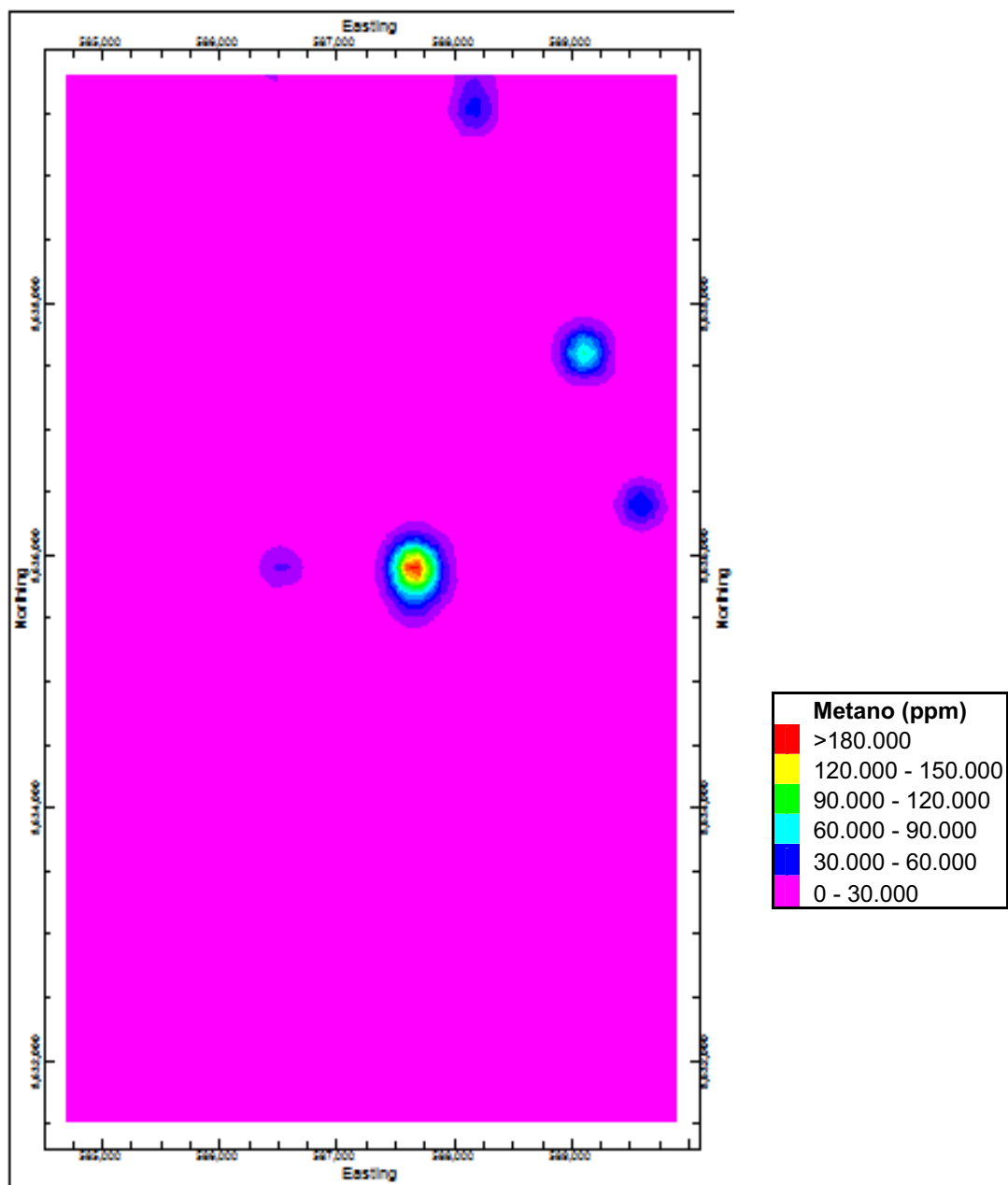


Figura 5.31– Mapa de concentração do Metano pelo método do inverso da distância com os dados da Gasometria. Elaborado pelo programa RockWorks.

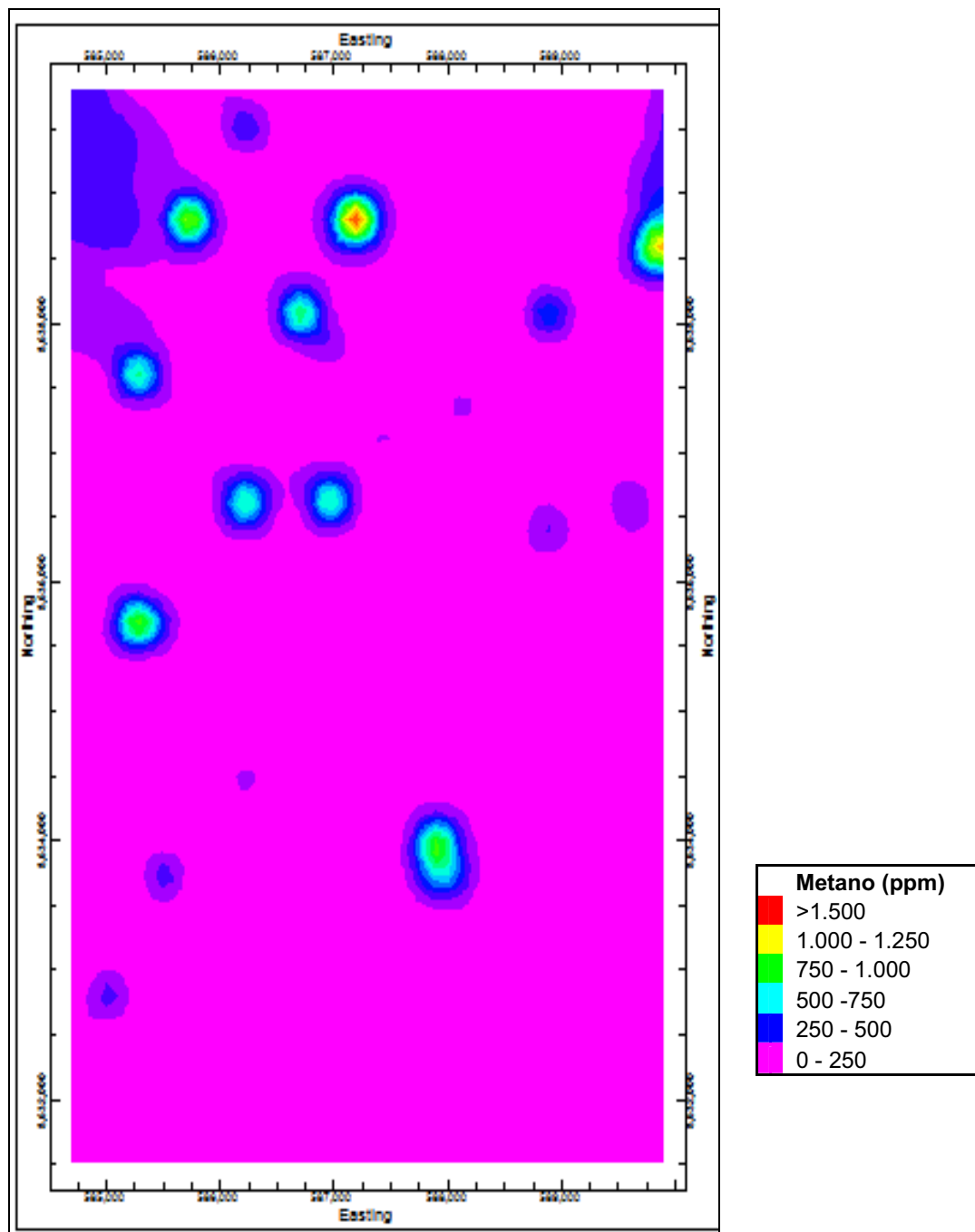


Figura 5.32– Mapa de concentração do Metano pelo método do inverso da distância com os dados da Gasometria entre 0 a 4000. Elaborado pelo programa RockWorks.

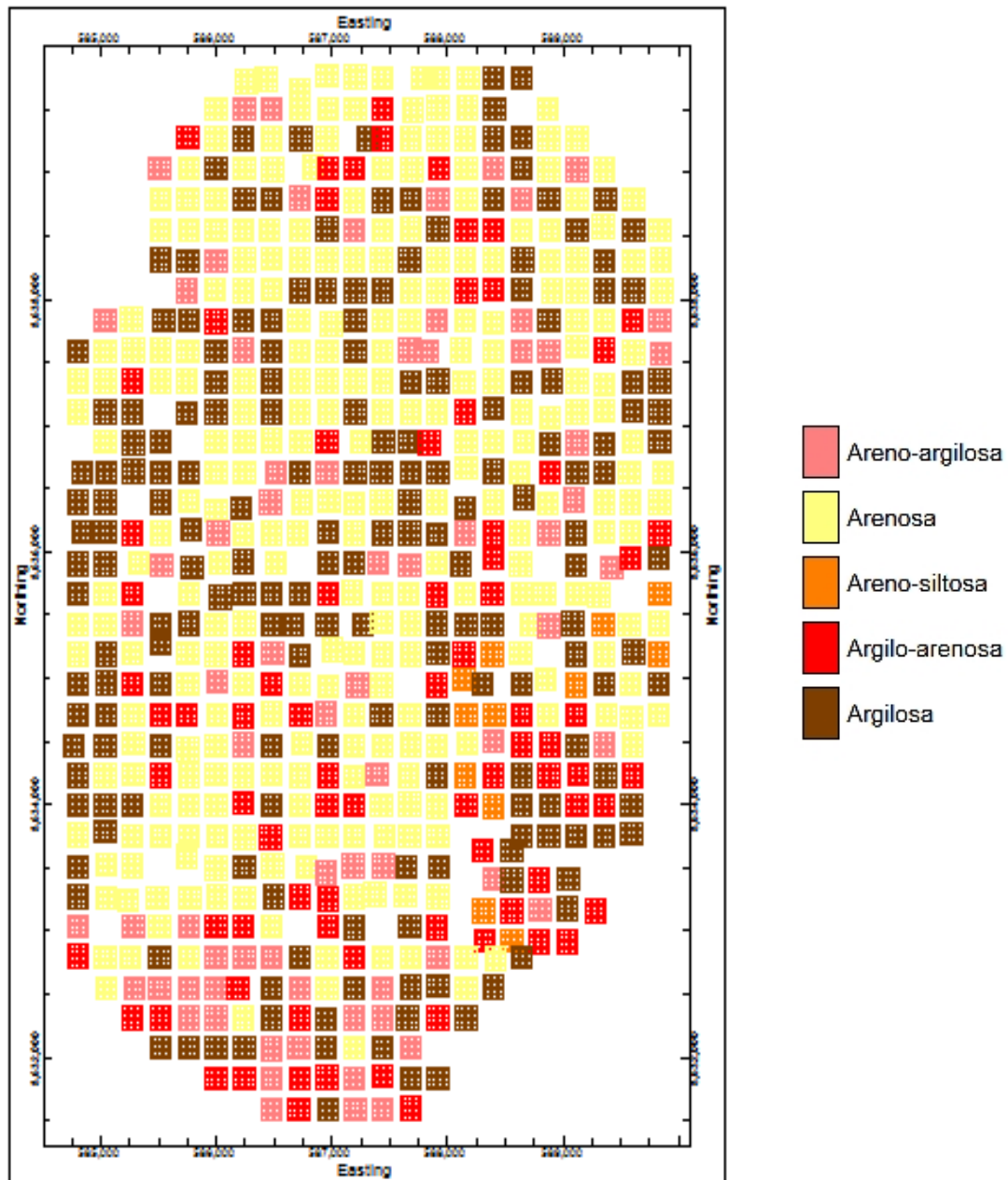


Figura 5.33– Mapa de distribuição dos tipos de solo. Elaborado pelo programa RockWorks.

5.2.6. Porosidade

Os valores de porosidade foram calculados para apenas 20 amostras e estão apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Valores de porosidade para algumas amostras.

Amostra	Textura	CO ₂ (ppm)	Rn (Bq/m ³)	Teor de Umidade (%)	Porosidade (%)
22	Argilosa	92000	126080,0	20,82%	46,12%
24	Arenosa	88000	73088,0	15,23%	31,89%
29	Argilosa	46000	16646,0	25,15%	49,61%
30	Arenosa	33000	1536,0	11,63%	36,21%
31	Argilosa	2000	1320,0	27,57%	49,67%
33	Arenosa	47000	14293,0	4,40%	47,92%
35	Arenosa	41000	31181,0	17,03%	25,42%
37	Argilosa	38000	54,0	14,85%	53,50%
38	Arenosa	57000	15580,0	9,58%	52,33%
52	Areno-argilosa	75000	142208,0	23,12%	51,66%
53	Argilosa	25000	301,0	23,99%	46,26%
55	Areno-argilosa	13000	67,0	21,61%	43,34%
94	Argilosa	2000	57,0	21,54%	38,20%
135	Argilosa	72000	37851,4	14,29%	26,40%
136	Argilo-arenosa	102000	89088,0	12,48%	42,68%
137	Argilosa	6000	131,3	23,67%	36,39%
138	Argilosa	3000	95,1	15,64%	13,00%
158	Argilosa	2000	460,9	12,10%	44,45%
159	Areno-argilosa	86000	47140,6	12,58%	36,31%
160	Argilosa	29000	33600,0	10,74%	26,54%

Os dados de porosidade apresentaram valores dispersos. A pouca quantidade e a localização concentrada desses dados não permitiram que outras correlações pudessem ser realizadas.

5.2.7. Vegetação Densa

Outro parâmetro avaliado foi a presença de vegetação densa no local, a Figura 5.34 apresenta uma foto aérea da região de estudo, os pontos em amarelo correspondem aos pontos de coleta do local.



Figura 5.34— Foto aérea do campo de estudo. Elaborado pelo programa ArcGis.

A Figura 5.35 apresenta um mapa interpolado pelo inverso da distância com as áreas em verde representando áreas com vegetação densa e áreas em marrom claro definindo áreas com ausência e/ou vegetação rasteira.

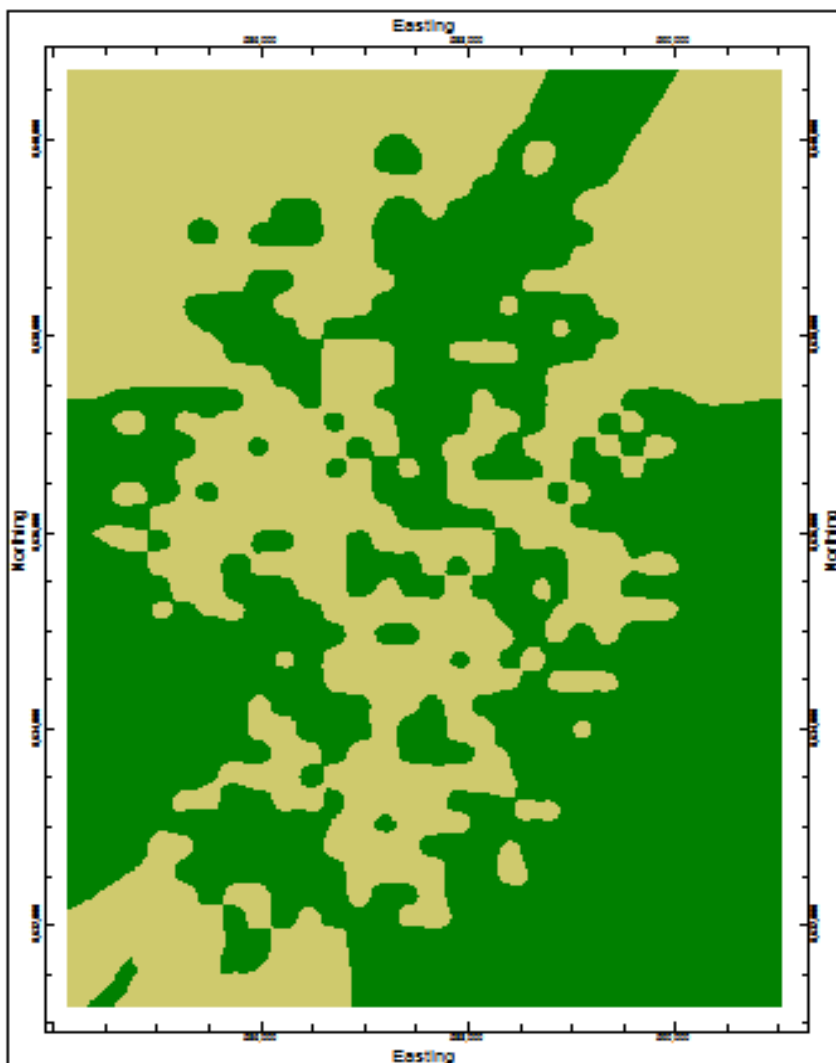


Figura 5.35— Mapa de vegetação densa. Elaborado pelo programa RockWorks.

Observou-se que as áreas de concentração de vegetação não coincidiram com as áreas de maiores ou menores concentrações dos dados coletados.

5.2.8. Tipo de Solo

Conforme apresentado na Figura 5.33 a região apresenta uma variedade de tipos de solo dispersos na região. Os dados coletados em campo foram cruzados com o tipo de textura para verificação de correlação. Essas análises foram realizadas através de gráficos produzidos no programa Excel.

Os valores de concentração do dióxido de carbono por tipo de solo estão apresentados na Figura 5.36, e as concentrações de radônio por tipo de solo na Figura 5.37.

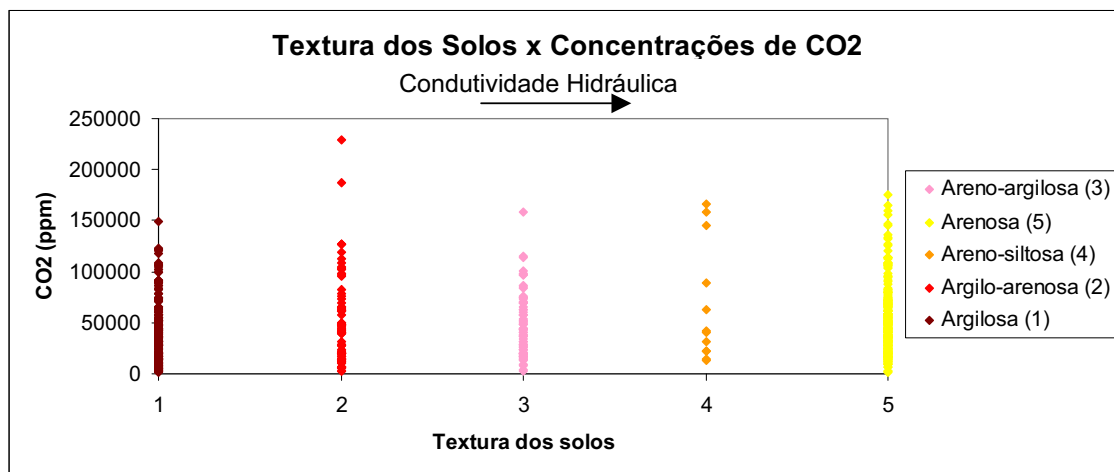


Figura 5.36– Concentrações de dióxido de carbono pelos tipos de solo.

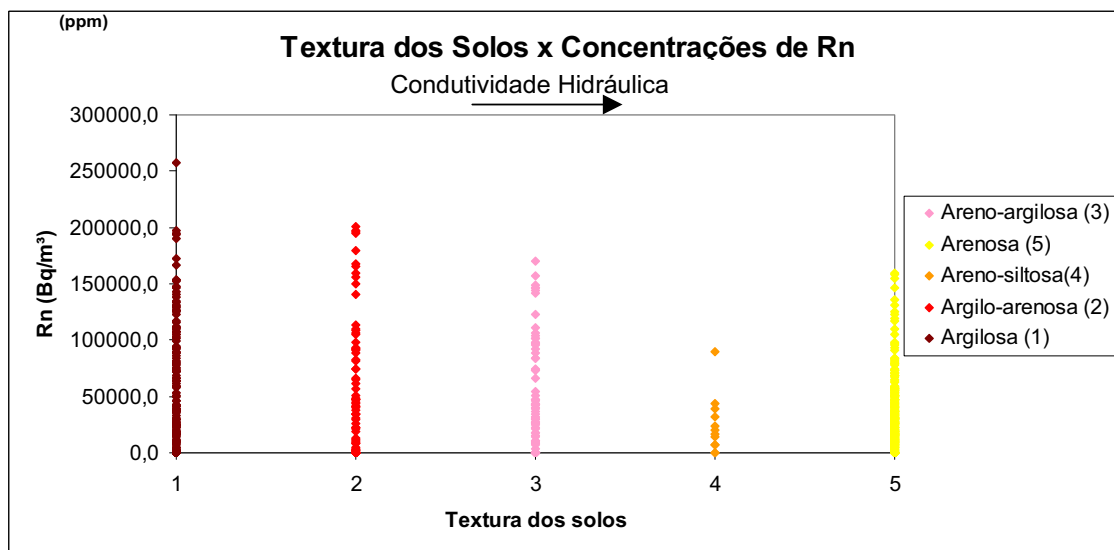


Figura 5.37– Concentrações de radônio pelos tipos de solo.

Os valores de NMP e de CH₄ não foram plotados, pois apresentam pouca variação entre os tipos de solo.

Observa-se na Figura 5.37 que há uma leve tendência de maiores concentrações de radônio em solos menos permeáveis e concentrações menores para solos mais permeáveis. O mesmo não é verificado para os valores de dióxido de carbono.