

# CAPÍTULO 7

## Estudos de Dispersão de Poluentes

## 7. Estudos de Dispersão de Poluentes

### 7.1 - INTRODUÇÃO

#### 7.1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente Capítulo apresenta os estudos realizados para a determinação dos impactos na qualidade do ar acarretados pela implantação de uma usina termelétrica no município de Três Lagoas, MS. A usina terá como finalidade a produção de energia que será vendida aos estados de Mato Grosso do Sul e de São Paulo, assim como ao sistema elétrico interligado. A usina operará em duas fases a saber : Fase I e Fase II. Na Fase I a usina funcionará inicialmente em ciclo aberto através da queima do gás natural e terá a capacidade geradora instalada de 230 MW aproximadamente, em condições locais (26°C e 80% de Umidade Relativa). Na fase II, será completado o ciclo combinado, com potência estimada em 350 MW. O ciclo combinado consiste na instalação das caldeiras de recuperação dos gases, em alta temperatura, exauridos pelas turbinas a gás.

A área de trabalho considerada neste estudo totaliza 1600 km<sup>2</sup>, definida como um retângulo de dimensões 40 x 40 km, subdividido em células quadradas de 1000 m de lado, perfazendo um total de 2500 células. A Figura 7.1.1-1 apresenta a área de trabalho devidamente particionada, conforme a descrição.

É realizado um criterioso inventário das fontes emissoras de poluentes atmosféricos pertencentes à Usina Termelétrica Três Lagoas (UTE). A usina operará inicialmente em ciclo aberto através da queima do gás natural.

A quantificação das emissões de poluentes atmosféricos é realizada com base nas estimativas de projeto da planta.

As informações de micrometeorologia disponíveis geradas pela estação instalada no Aeroporto de Urubupungá, em Três Lagoas, no período de janeiro/1999 a dezembro/2000, são compiladas e agrupadas em cenários meteorológicos horários mensais característicos da região de estudo, possibilitando a adequada aplicação do modelo de dispersão de poluentes na atmosfera utilizado.

O modelo matemático de dispersão de poluentes utilizado no estudo (Atmos 3.0.32) foi devidamente alimentado de informações de fontes emissoras de poluentes atmosféricos previstas para a Termelétrica Três Lagoas e de informações meteorológicas geradas como médias horárias, pela estação meteorológica de Urubupungá em Três Lagoas. A estação meteorológica fica localizada aproximadamente 10 km a sudeste da termelétrica.

O software Atmos 3.0.32 é aplicado para a geração de cenários de qualidade do ar na região de estudo por modelamento matemático, demonstrando a influência das fontes emissoras da Termelétrica na região.

Os resultados dos cálculos das concentrações de Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (PI), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarbonetos (HC), Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) e Ozônio (O<sub>3</sub>) no ar da região de estudo são apresentados na forma de uma malha de concentração sobre a imagem de satélite (cenários de qualidade do ar), propiciando uma fácil verificação dos impactos provocados pelas emissões da Termelétrica Três Lagoas na região, bem como as áreas mais frequentemente impactadas.

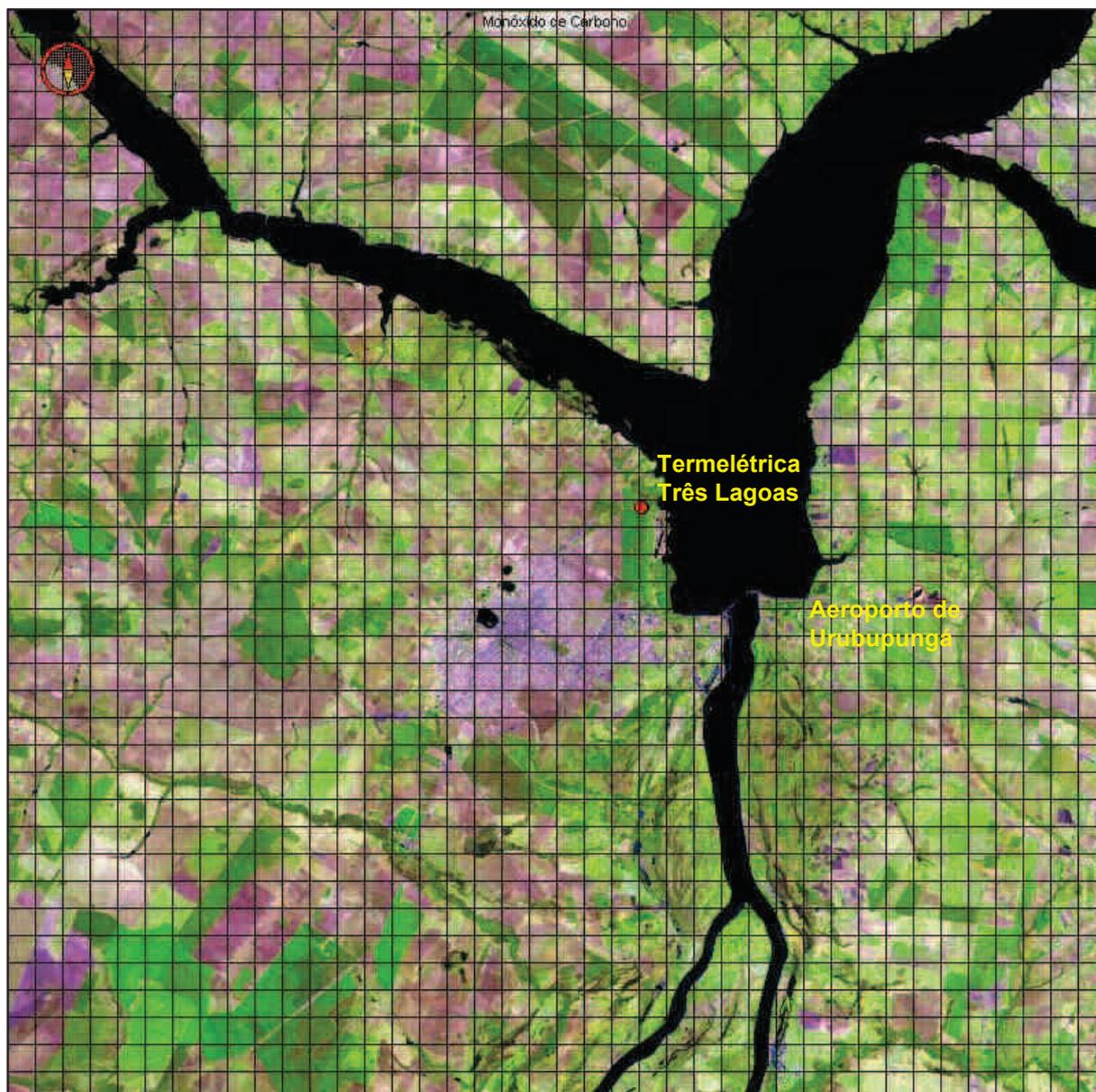


Figura 7.1.1-1: Área de Trabalho e Malha de Partição Utilizadas no Estudo.

## 7.1.2 - PRINCIPAIS OBJETIVOS

Os principais objetivos do presente estudo são:

- O inventário detalhado das fontes emissoras de poluentes atmosféricos da Usina Termelétrica Três Lagoas (UTE);
- A determinação, por meio de modelamento matemático, do prognóstico de impacto na qualidade do ar decorrente da implantação da UTE, para toda a região delimitada para estudo, tanto para a Fase I (ciclo aberto) quanto para a Fase II (ciclo combinado).

### 7.1.3 - METODOLOGIA UTILIZADA

Este trabalho foi desenvolvido de acordo com procedimentos e métodos recomendados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América – USEPA.

Em resumo, a seguir, serão listadas as principais etapas desenvolvidas para o Estudo de Impacto da Dispersão de Poluentes na Atmosfera da Usina Termelétrica Três Lagoas - MS.

- Reconhecimento da área de estudo e demarcação da mesma;
- Levantamento de informações históricas de meteorologia disponíveis na região. Análise dos dados obtidos, seguido de migração e compilação dos mesmos para o banco de dados do software Atmos;
- Levantamento e caracterização das fontes emissoras de poluentes atmosféricos pertencentes à Usina Termelétrica Três Lagoas (UTE);
- Geração de cenários mensais horários de qualidade do ar abrangendo toda a região de estudo, através de modelamento matemático de dispersão de poluentes;
- Análise dos impactos na qualidade do ar da região de estudo, por meio da observação dos cenários modelados, com determinação das áreas mais impactadas.

## 7.2 - CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A quantificação e qualificação das emissões de poluentes nas fontes inventariadas constituem-se em subsídio fundamental para alimentação do modelo matemático de dispersão, empregado para a determinação do impacto das fontes emissoras de poluentes atmosféricos na qualidade do ar da região de estudo.

Todas as informações relativas ao inventário de fontes emissoras previstas para a UTE foram devidamente inseridas no banco de dados do Atmos.

Foram modelados os impactos na atmosfera das emissões provenientes das quatro turbinas previstas para instalação. Todas as fontes de combustão utilizam o gás natural como combustível. As emissões foram quantificadas com base nos fatores de emissão para turbinas a gás recomendados pela USEPA no “*Compilation of Air Pollutant Emission Factors – AP42*”.

A variável que sofrerá alteração com a mudança de ciclo aberto para ciclo combinado é a temperatura de emissão dos gases que deverá ser menor com a implantação do ciclo combinado. As demais variáveis permanecerão inalteradas.

Nesse estudo não foi considerada a possibilidade de formação de outros poluentes, tais como metais pesados, ácido sulfúrico, etc., dada a pequena probabilidade de formação de outros poluentes além dos já considerados nesse estudo.

O consumo de combustível das 4 turbinas é da ordem de 2.000.000 m<sup>3</sup> por dia de gás natural.

A Tabela 7.2-1 apresenta as características das fontes emissoras de poluentes da Usina Termelétrica Três Lagoas.

Tabela 7.2-1: Características das Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos da Termelétrica Três Lagoas.

Fonte Emissora	Chaminé 1 – UTE	Chaminé 2 - UTE	Chaminé 3 - UTE	Chaminé 4 - UTE
Coordenada X [UTM]	431.050	431.060	431.070	431.080
Coordenada Y [UTM]	7.705.745	7.705.750	7.705.755	7.705.760
Diâmetro [m]	5,0	5,0	5,0	5,0
Vazão [Nm <sup>3</sup> /s]	188,1	188,1	188,1	188,1
Temperatura [°C]	500 (100 <sup>d</sup> )			
Altura [m]	35	35	35	35
Altitude do Solo [m]	322	322	322	322
Taxa de Emissão MP [kg/h]	2,2	2,2	2,2	2,2
Taxa de Emissão SO <sub>2</sub> [kg/h]	3,3	3,3	3,3	3,3
Taxa de Emissão NO <sub>x</sub> [kg/h]	34,0	34,0	34,0	34,0
Taxa de Emissão CO [kg/h]	27,9	27,9	27,9	27,9
Taxa de Emissão HC [kg/h]	3,7	3,7	3,7	3,7
Taxa de Emissão MP <sub>10</sub> [kg/h]	2,2	2,2	2,2	2,2
Taxa de Emissão NO <sub>2</sub> [kg/h]	5,1	5,1	5,1	5,1
Taxa de Emissão NO [kg/h]	28,9	28,9	28,9	28,9
Taxa de Emissão de VOC [kg/h]	0,7	0,7	0,7	0,7

**Observações:**

- a) Foi utilizada a relação de 25% e 75% para as frações de NO<sub>2</sub> e NO, respectivamente, que compõe o NO<sub>x</sub>;
- b) As emissões de MP<sub>10</sub> foram consideradas iguais às emissões de MP;
- c) As demais taxas de emissão foram fornecidas pelo fabricante dos equipamentos de produção;
- d) A temperatura de emissão será de 500 °C para o ciclo aberto e 100 °C para o ciclo combinado. As demais variáveis permanecem inalteradas.

## 7.3 - MODELAMENTO MATEMÁTICO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES

Os resultados numéricos de concentrações de poluentes no ar ambiente apresentados neste relatório são extremamente úteis e representativos quando analisados como ordens de grandeza. Todos os modelos de dispersão utilizados são de caráter probabilístico e não pretendem demonstrar os resultados de forma determinística. Assim, a apresentação de resultados numéricos em tabelas é uma maneira de mostrar a ordem de grandeza das variáveis e não a verdade absoluta.

### 7.3.1 - DESCRIÇÃO DO MODELO

Os modelos matemáticos de dispersão utilizados no Atmos são baseados no ISC 3 (Industrial Source Complex 3) recomendado pela USEPA (United States Environmental Protection Agency). No entanto, desde 1987 os algoritmos originais do ISC e seus precursores vêm sendo modificados e complementados no Atmos, através de pesquisas e trabalhos realizados e através de inclusão de inovações e atualizações publicadas internacionalmente em periódicos especializados. Todo esse trabalho traduziu-se em melhoria contínua dos resultados de cenários de qualidade do ar modelados para as condições do hemisfério sul, elevando-se sensivelmente o nível de correlação de dados obtidos através de monitoramento e através de modelamento, ou seja, aumentando o nível de confiabilidade e acerto do modelo.

Sob certas condições idealizadas, a concentração média das espécies emitidas de uma fonte pontual obedece a uma distribuição gaussiana. Este fato, embora estritamente verdadeiro no caso de estacionaridade e turbulência atmosférica homogênea, serve como base para uma larga classe de fórmulas de dispersão de contaminantes atmosféricos em corrente uso.

Baseada na abordagem lagrangeana, uma aproximação mais largamente aceita e utilizada é a equação da pluma gaussiana desenvolvida por Pasquill (1971). Esta, assume que o espalhamento do efluente de uma fonte contínua tem uma distribuição normal ao eixo horizontal da pluma, tanto no plano horizontal como no vertical (direção vertical z e direção y perpendicular à direção do vento), cuja concentração é dada por:

$$C(x,y,z) = \frac{F.D}{2\pi} \sum_i N_1 \sum_j N_2 \frac{Q_j}{u_{sj}\sigma_y\sigma_z} \exp\left[\frac{-y_i^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[\frac{-(z-h_j)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{-(z+h_j)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} f_j$$

(Eq. 3.1.1)

Onde:

x,y = coordenadas cartesianas que identificam o ponto analisado;

z = altitude média da célula onde situa-se o ponto analisado, em relação ao nível do mar;

i = índice que identifica o setor de proveniência do vento;

N<sub>1</sub> = número de setores de proveniência do vento;

j = índice que identifica a fonte emissora;

N<sub>2</sub> = número de fontes emissoras catalogadas;

- $Q_j$  = taxa de emissão do poluente na j-ésima fonte catalogada;  
 $u_{si}$  = velocidade média do vento na i-ésima direção do vento na altura de emissão;  
 $\sigma_y$  = parâmetro de distribuição de Pasquill-Gifford na direção lateral ao eixo da pluma;  
 $y_i$  = distância ortogonal ao eixo da pluma do ponto analisado à fonte emissora considerando-se a i-ésima direção do vento;  
 $h_j$  = altura efetiva de emissão da j-ésima fonte;  
 $\sigma_z$  = parâmetro de distribuição de Pasquill-Gifford na direção vertical ao eixo da pluma;  
 $f_i$  = percentual de ocorrência do vento na i-ésima direção;  
 $F$  = fator de correção para diferentes tempos de amostragem;  
 $D$  = termo de decaimento do poluente considerado.

O número de setores de proveniência de vento (N1) é tratado de duas formas diferentes pelo Atmos em função da base de dados considerada no modelamento. O modelo de curto período utiliza os dados brutos (normalmente médias de 15 minutos ou 1 hora), no formato existente no banco de dados. Neste caso, a direção do vento é considerada com resolução de até 1 grau, totalizando 360 setores de proveniência do vento, para o caso de disponibilidade dessa informação. No caso onde existirem medições de direção de vento registradas como siglas, o Atmos considera então até 16 setores medidos. Para o modelo de longo período, as direções de vento são agrupadas em 16 setores equidistantes de 22,5 graus, sendo ainda esta como as demais variáveis meteorológicas estatisticamente agrupadas por horário (1 em 1 hora), na forma de cenários meteorológicos.

Os parâmetros  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  dependem da distância da fonte emissora ao ponto analisado, da rugosidade aerodinâmica da superfície e da estabilidade atmosférica.

A estabilidade atmosférica pode ser indicada corretamente pelo número de Richardson (Ri). O número de Richardson representa a relação entre a turbulência mecânica (causada pelo gradiente da velocidade do vento em relação à altura acima do solo) e a turbulência térmica ou convectiva (causada pelo gradiente de temperatura do ar em relação à altura acima do solo) da atmosfera. Porém, Ri não é um parâmetro rotineiramente medido, pois exige técnicas e equipamentos sofisticados.

Reconhecendo a necessidade de um meio prático para definir a estabilidade atmosférica baseada em observações de rotina, Pasquill (1961) introduziu o conceito de classes de estabilidade definidas na Tabela 7.3.1-1.

Tabela 7.3.1-1: Classes de Estabilidade Atmosférica de Pasquill.

Velocidade do Vento à 10 m do solo (m/s)	Radiação Solar (W/m <sup>2</sup> )			Fração de Cobertura de Nuvens à Noite	
	>700	350 à 700	<350	≥ 4/8	≤ 3/8
< 2	A	A - B	B	-	-
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

A = extremamente instável  
 B = moderadamente instável  
 C = levemente instável

D = neutra  
 E = levemente estável  
 F = moderadamente estável

O Atmos também calcula a classe de estabilidade segundo o desvio padrão da direção do vento. A Tabela 7.3.1-2 apresenta a relação entre as classes de estabilidade de Pasquill e o desvio padrão da direção do vento.

Tabela 7.3.1-2: Classes de Estabilidade Atmosférica de Pasquill.

CLASSE DE ESTABILIDADE	DESVIO PADRÃO DA DIREÇÃO DO VENTO (°)
A	$\sigma\theta \geq 22,5$
B	$17,5 \leq \sigma\theta < 22,5$
C	$12,5 \leq \sigma\theta < 17,5$
D	$7,5 \leq \sigma\theta < 12,5$
E	$3,8 \leq \sigma\theta < 7,5$
F	$\sigma\theta \leq 3,8$

A = extremamente instável      D = neutra  
 B = moderadamente instável      E = levemente estável  
 C = levemente instável      F = moderadamente estável

O cálculo dos parâmetros de dispersão  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  é baseado em coeficientes empíricos desenvolvidos em diversos trabalhos (Turner, 1970; McElroy-Pooler, 1968, Gifford, 1976; Pasquill, 1976; TNO, 1979) e ajustados para o Hemisfério Sul (Queiroz e Santolim, 1987; Santolim, 1991; Santolim, 1997).

A U.S. Environmental Protection Agency (EPA) recomenda o cálculo do  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  distintamente para áreas urbanas e áreas rurais. Caso a caso o cálculo de  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  é previamente programado nos modelos matemáticos do Atmos, de acordo com a área geográfica de trabalho de cada usuário.

As fórmulas utilizadas no Atmos para o cálculo dos  $\sigma$  foram adaptadas para as condições brasileiras e são válidas para fontes pontuais, e distância entre a fonte e o receptor maiores que 100 metros e menores que 100 quilômetros.

A formulação de dispersão utilizada requer o valor da velocidade do vento na altura em que a emissão dos poluentes atmosféricos é realizada em cada fonte. A equação a seguir é usada para ajustar a velocidade do vento medida na estação meteorológica para a altura de lançamento de cada fonte.

$$u_s = u_{ref} \left( \frac{h_s}{z_{ref}} \right)^p$$

(Eq. 3.1.2)

Onde:

- p = expoente do perfil de velocidade do vento;
- $h_s$  = altura de lançamento da chaminé ou fonte extensa;
- $z_{ref}$  = altura do anemômetro da estação meteorológica;
- $u_{ref}$  = velocidade medida na estação meteorológica;
- $u_s$  = velocidade do vento na altura de emissão.

Outro fator a ser considerado na análise da dispersão de poluentes na atmosfera é a altura na qual os gases e partículas são liberados para atmosfera. Quando emitidos através de uma chaminé, eles geralmente saem do topo do mesmo com um considerável "momentum" inicial, devido à diferença de temperatura do gás para o ambiente e da velocidade de lançamento do gás. Isto geralmente faz com que a pluma ganhe altura ao sair da chaminé, antes de se inclinar na direção do vento. Portanto, a altura efetiva de emissão do poluente,  $h$ , usada na equação de dispersão é definida como a soma da altura física da extremidade superior da chaminé em relação ao nível do mar,  $h_s$ , com uma parcela denominada  $\Delta h$  que caracteriza a variação da altura de lançamento devido aos fatores citados.

$$h = h_s + \Delta h$$

(Eq. 3.1.3)

A caracterização da ascensão da pluma em termos das propriedades do gás exaurido e do estado da atmosfera ambiente é um problema complexo. Uma abordagem detalhada deveria envolver a resolução simultânea das equações de conservação de massa, momentum e energia.

Uma abordagem prática alternativa, proposta por Briggs (1969, 1971, 1972, 1975), ASME-American Society of Mechanical Engineers e recomendada pela EPA está disposta na Tabela 7.3.1-3.

Tabela 7.3.1-3: Fórmulas para o Cálculo de  $\Delta h$ .

Referência	Estabilidade Atmosférica	A	B	E	Condições
<i>Plumas Dominadas por Empuxo</i>					
Briggs (1969, 1971, 1974)	Neutra e Instável	1	2/3	$1,6F^{1/3}$	$F < 55, x < 49F^{5/8}$
		1	0	$21,4F^{5/4}$	$F < 55, x \geq 49F^{5/8}$
		1	2/3	$1,6F^{1/3}$	$F \geq 55, x < 119F^{2/5}$
		1	0	$38,7F^{3/5}$	$F \geq 55, x \geq 119F^{2/5}$
	Estável	1/3	0	$2,4(F/S_2)^{1/3}$	
		0	0	$5F^{1/4}/S_2^{-3/8}$	
		1	2/3	$1,6F^{1/3}$	
<i>Plumas Dominadas por Momentum</i>					
ASME (1973)	Todas	1,4	0	$dV_s^{1,4}$	$V_s > 10 \text{ m sec}^{-1}$ $V_s > \bar{u}$ $\Delta T < 50 \text{ }^\circ\text{C}$
Briggs (1969)	Neutra	2/3	1/3	$1,44 (dV_s)^{2/3}$	$V_s / \bar{u} \geq 4$
		1	0	$3dV_s$	$V_s / \bar{u} \geq 4$

$$\Delta h = \frac{Ex^b}{\bar{u}^a}$$

(Eq. 3.1.4)

Onde:

 $d$  = diâmetro da fonte emissora, m; $F$  = parâmetro de empuxo,  $gd^2V_s(T_s - T_a) / 4T_s$ ,  $m^4 \text{ sec}^{-3}$ ;

$g$  = aceleração gravitacional, 9,807 m sec<sup>-2</sup>;

$$S_2 = (g \partial \theta / \partial z) / T_a, \text{sec}^{-2}; \quad (\text{Eq. 3.1.5})$$

$T_a$  = temperatura ambiente na altura de lançamento, K;

$T_s$  = temperatura de exaustão dos gases, K;

$$\Delta T = T_s - T_a;$$

$V_s$  = velocidade do vento na altura de lançamento, m/s.

Tabela 7.3.1-4: Estratificação da Temperatura da Atmosfera.

Classe de Estabilidade	Gradiente de Temperatura Ambiente $\partial T / \partial z$ (°C/100m)	Gradiente Potencial de Temperatura $\partial \theta / \partial z$ (°C/100m)
A (extremamente instável)	< - 1,9	< - 0,9
B (moderadamente instável)	- 1,9 até - 1,7	- 0,9 até - 0,7
C (levemente instável)	- 1,7 até - 1,5	- 0,7 até - 0,5
D (neutra)	- 1,5 até - 0,5	- 0,5 até 0,5
E (levemente estável)	- 0,5 até 1,5	0,5 até 2,5
F (moderadamente estável)	> 1,5	> 2,5

As concentrações de poluentes a jusante de uma fonte poluidora decrescem com o tempo de amostragem devido, principalmente, a um alargamento do  $\sigma_y$  em função do aumento da flutuação da direção principal do vento. Ou seja, a razão entre os picos e as concentrações médias é crescente com o aumento no tempo de amostragem do poluente para medições realizadas em alturas próximas às de emissão. Essa razão cresce ainda mais quando as medições são realizadas ao nível do solo e os poluentes lançados de chaminés elevadas. Com o aumento da distância de medição em relação ao ponto de lançamento de fontes elevadas, a razão entre os picos e as concentrações médias aproximam-se da unidade. A estabilidade atmosférica e o tipo de terreno sobre o qual a pluma de gás está passando, também interferem nesta relação.

As curvas de correlação utilizadas neste modelo, são representativas para um tempo de amostragem de cerca de 1 hora. Para utilizá-las no cálculo de concentrações com períodos maiores, é necessário que o valor obtido na simulação seja corrigido. A EPA sugere que a seguinte correção poderia ser obtida por:

$$F = C_k (t_k / t_c)^p$$

(Eq. 3.1.6)

Onde:

$F$  = concentração corrigida para o período de tempo requerido;

$t_c$  = tempo de amostragem requerido;

$C_k$  = concentração obtida para um curto período de tempo;

$t_k$  = tempo de amostragem de referência;

$$0,17 \leq p \leq 0,2.$$

Outro fator considerado na modelagem realizada é o tempo de vida de cada poluente emitido. O método aqui utilizado introduz um termo de decaimento do poluente na equação de dispersão, baseado na remoção do mesmo por fatores físicos e químicos, de acordo com a equação seguinte.

$$D = \exp\left(-\Psi \frac{x}{u_s}\right), \text{ para } \Psi > 0$$

(Eq. 3.1.7)

ou  $D = 1$  , para  $\Psi = 0$

Onde:

$\Psi$  = coeficiente de decaimento ( $s^{-1}$ );

$x$  = distância da fonte ao receptor (m).

A mistura turbulenta e a difusão vertical de uma pluma de gases na atmosfera são limitadas pela altura vertical onde ocorre a inversão do gradiente de temperatura nas partes mais baixas da troposfera.

A altura da camada limite de inversão térmica da atmosfera é considerada no modelo através do efeito de restrição ao crescimento vertical da pluma de dispersão. No caso do poluente ser lançado em altura superior à da camada de mistura, a pluma é considerada totalmente restrita ao espaço acima da camada de inversão e a contribuição da mesma para o solo é nula. Caso o usuário não disponha de informações locais acerca da variação horária da altura da camada limite para o momento e situação modelada, sugere-se considerar a altura constante e igual a 500 metros para simulações conservativas.

A técnica de determinação da qualidade do ar de uma região de estudo através de modelagem matemática utilizada no Atmos não se limita à determinação de níveis médios e máximos de poluentes em locais de interesse. Na verdade, a técnica empregada proporciona a determinação da variação espacial e temporal dos poluentes modelados em qualquer local da região de trabalho, em qualquer época do ano ou hora do dia, possibilitando comparação imediata dos resultados com padrões de qualidade do ar vigentes.

Para tanto, as áreas de trabalho demarcadas são divididas em células geralmente quadradas, de modo a proporcionar a estratificação espacial das mesmas.

O cálculo da concentração em cada célula é realizado de maneira pontual para um ponto representativo de toda a área da mesma, geralmente o ponto central desta. Testes realizados indicaram que o modelo não sofre influência de pequenos deslocamentos do ponto calculado no interior da célula. Exceções a essa regra poderão ocorrer se o ponto deslocado coincidir ou ficar muito próximo a uma fonte emissora catalogada. Neste caso, o modelo automaticamente desloca o ponto receptor representativo para uma distância que varia de 50 a 100 metros a jusante da fonte interferente.

O modelo simula, para cada célula, a contribuição conjunta de todas as fontes ativas existentes no banco de dados de fontes emissoras, levando-se em consideração as distâncias envolvidas entre cada fonte e a célula, as diversas direções do vento e as probabilidades de ocorrência associadas, as velocidades médias do vento em cada direção e a estabilidade atmosférica característica da situação analisada, entre outros fatores descritos acima, gerando cenários de qualidade do ar.

Após o cálculo de cada cenário, pode ser aplicada uma operação de suavizamento (smoothing) do campo discreto de concentrações para remover flutuações de pequena escala. Operações similares são comumente usadas em investigações de turbulência e previsão numérica de condições climáticas. Neste caso, o suavizamento pode ser efetuado através do seguinte algoritmo:

$$C_{ij} = \frac{a \cdot C_{ij} + C_{i-1,j} + C_{i+1,j} + C_{i,j-1} + C_{i,j+1}}{a + 4}$$

(Eq. 3.1.8)

Onde:

$C_{ij}$  = concentração suavizada da célula (i,j);

$a$  = fator de peso (0 a 6).

Este algoritmo pode ser utilizado com tantas iterações quantas forem necessárias, enquanto o campo discreto de concentrações mantiver suas características essenciais. No Atmos são usados valores de  $a$  variando entre 0 e 6 iterações sucessivas, de acordo com o poluente analisado e a classe de estabilidade atmosférica detectada. O campo de concentrações previsto, assim operado, geralmente apresenta características mais próximas às do campo real existente.

Além dos algoritmos supracitados, o Atmos 3.0.32 conta também com a ferramenta de geração de campo de ventos, permitindo uma consideração tridimensional mais realística para a interferência do relevo nos algoritmos de modelamento da dispersão de poluentes. O algoritmo de geração do campo de ventos tridimensional baseia-se no modelo computacional desenvolvido por Sherman ("A Mass-Consistent Model for Wind Fields Over Complex Terrain").

O funcional utilizado no algoritmo é apresentado na Equação 3.1.9.

$$E(u, v, w, \lambda) = \int_V \left[ \alpha_1^2 (u - u^0)^2 + \alpha_1^2 (v - v^0)^2 + \alpha_1^2 (w - w^0)^2 + \lambda \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] dx dy dz$$

(Eq. 3.1.9)

Para a aplicação do algoritmo, a região de estudo é delimitada como um paralelepípedo, cuja base no plano XY é seccionada na altura da menor cota de relevo encontrada, sendo então a base retangular discretizada como na área de estudo e o eixo Z discretizado em segmentos de 50 metros.

Para o volume de estudo discretizado, temos os índices de referência respectivamente apresentados: i para a direção X, j para a direção Y e k para a direção Z.

As componentes da velocidade do vento são calculadas segundo as seguintes equações:

$$u_{ijk} = \frac{1}{4} (u_{i+1jk}^0 + 2u_{ijk}^0 + u_{i-1jk}^0) + \frac{1}{2\alpha_1^2} \left( \frac{\lambda_{i+1jk} - \lambda_{i-1jk}}{2\Delta x} \right)$$

(Eq. 3.1.10)

$$v_{ijk} = \frac{1}{4} (v_{ij+1k}^0 + 2v_{ijk}^0 + v_{ij-1k}^0) + \frac{1}{2\alpha_1^2} \left( \frac{\lambda_{ij+1k} - \lambda_{ij-1k}}{2\Delta y} \right)$$

(Eq. 3.1.11)

$$w_{ijk} = \frac{1}{4} (w_{ijk+1}^0 + 2w_{ijk}^0 + w_{ijk-1}^0) + \frac{1}{2\alpha_2^2} \left( \frac{\lambda_{ijk+1} - \lambda_{ijk-1}}{2\Delta z} \right)$$

(Eq. 3.1.12)

Onde:

$i, j, k$  = índices de referência das direções X, Y e Z, respectivamente;

$u, v, w$  = componentes do vetor velocidade nas direções X, Y e Z, respectivamente;

$\lambda$  = multiplicador de Lagrange dado como função do relevo;

$\alpha_1$  e  $\alpha_2$  = módulos de precisão gaussiana;

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$  = comprimento das células nas direções X, Y e Z, respectivamente.

O primeiro passo do modelo do algoritmo do campo de ventos é obter o campo de ventos bidimensional inicial no nível de relevo base. O relevo base corresponde ao nível dos sensores da primeira estação meteorológica dentre as utilizadas. O Atmos utiliza o modelo de interpolação dos valores medidos nas N estações meteorológicas, calculando da seguinte forma.

$$x_{ij} = \frac{1}{\sum_{n=1}^n r_n^{-2}} \sum_{n=1}^n w_n r_n^{-2}$$

(Eq. 3.1.13)

Onde:

$i, j$  = índices de referência das direções X e Y, respectivamente;

$x_{ij}$  = valor interpolado em cada célula do nível do relevo base;

$n$  = número de estações consideradas no modelo;

$r$  = distância entre a célula e a estação considerada;

$w$  = valor medido em cada estação  $n$ .

Uma vez que cada estação possivelmente encontra-se em um nível de solo diferente das demais, os valores de velocidade de vento medidos são inicialmente calculados para a mesma cota de referência (relevo base) utilizando a equação 3.1.2.

O algoritmo de interpolação bidimensional também é utilizado para os demais parâmetros meteorológicos utilizados no modelamento matemático.

Calculado o campo de ventos bidimensional inicial, as demais camadas do volume da região de estudo são calculadas considerando a cota Z utilizando a equação 3.1.2.

Os valores dos multiplicadores de Lagrange,  $\lambda(x,y,z)$ , calculados com base no relevo da região através de diferenças finitas, são arranjados num sistema de equações com base nas condições de fronteira determinadas pelo algoritmo. Para as fronteiras livres de fluxo passante,  $\lambda(x,y,z) = 0$  e para fronteiras fechadas de fluxo não passante,  $\partial\lambda/\partial n = 0$  (direção normal de fluxo). O sistema de equações é resolvido iterativamente por um método numérico de solução de sistema de equações lineares.

Uma vez que as medições de velocidade de vento são feitas no plano horizontal. A componente vertical da velocidade do vento (w) não é considerada para a obtenção do campo de ventos inicial.

O campo de ventos tridimensional é então calculado utilizando as equações 3.1.10, 3.1.11 e 3.1.12. Posteriormente, o Atmos calcula o campo de ventos bidimensional de superfície da região de estudo, utilizando-se do campo tridimensional.

A utilização de campos meteorológicos no Atmos o diferencia largamente do seu precursor ISC3. Em relevos complexos, o grau de acerto do Atmos é muito superior ao dos modelos bidimensionais, conforme testes de calibração realizados para o Atmos 2.2.16 e o ISC3. O Atmos 3.0.32 permite ainda a utilização simultânea de dados de várias estações meteorológicas num mesmo modelamento, o que não é possível nos outros programas citados, possibilitando resultados mais representativos e com distribuição de influências locais mais representativas.

O Atmos 3.0.32 conta ainda com os modelos de cálculo de taxas de emissão de poluentes, todos recomendados pela USEPA ou MRI. A utilização de cálculo dinâmico das taxas de emissão de poluentes, além de possibilitar melhor análise de sensibilidade de variações meteorológicas e de emissão de poluentes, também acrescenta um significativo diferencial para a obtenção de resultados mais representativos dos modelos de dispersão.

Tais modelos possibilitam o cálculo das taxas de emissão dinamicamente em função das variáveis meteorológicas e operacionais ao qual cada fonte é susceptível. Em geral, as fontes emissoras do tipo difusas, apresentam larga variabilidade de suas taxas de emissão ao longo do tempo, pois são fortemente suscetíveis às variações operacionais e meteorológicas, em especial velocidade do vento. E nesse aspecto, o modelo de campo de ventos de superfície gerado pelo Atmos 3.0.32 novamente apresenta um diferencial, possibilitando a obtenção do perfil de velocidade do vento ajustado para a localização espacial de cada fonte, considerando ainda as variações de altitude da região estudada.

O grau de correlação entre resultados simulados e medições realizadas em campo pode variar significativamente, principalmente em função dos seguintes fatores:

- Abrangência da identificação e caracterização das fontes emissoras de poluentes atmosféricos existentes na região de estudo e suas proximidades (não apenas as fontes da empresa);
- Caracterização das condições micrometeorológicas da região de trabalho, principalmente direção e velocidade do vento, regime de chuvas e altura da base da camada de inversão térmica da atmosfera;
- Caracterização do relevo e condições de contorno da área estudada;

- Ajuste dos coeficientes de dispersão ( $\sigma_y$  e  $\sigma_z$ ) para a região de trabalho (escala de turbulência atmosférica);
- Ajuste dos valores dos coeficientes de suavizamento por classe de estabilidade atmosférica;
- Consideração de níveis residuais ou primitivos de poluição locais ("background");
- Reatividade dos compostos no ambiente.

### 7.3.1.1 - Modelo Fotoquímico

O Ozônio é formado na troposfera por meio de reações fotoquímicas de poluentes precursores, tais como os Óxidos de Nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e diversos Hidrocarbonetos (HC). A química troposférica engloba a formação e destruição de Ozônio.

A modelagem das reações fotoquímicas na atmosfera consiste em um complexo sistema, onde a determinação das concentrações de ozônio à partir das concentrações de poluentes precursores depende do conhecimento da cinética química das diversas reações envolvidas.

Devem ser determinadas as constantes de velocidade de reação para cada uma das reações envolvidas nos mecanismos de formação e destruição do ozônio. As constantes de reação são obtidas através de procedimentos experimentais.

A bibliografia consultada para esse estudo não contempla resultados dos parâmetros utilizados nas reações para condições brasileiras.

Uma importante referência para a modelagem das concentrações de ozônio na atmosfera é o modelo EKMA (Empirical Kinetic Modeling Approach) da USEPA. Neste estudo, utilizou-se as constantes de reação recomendadas e utilizadas no EKMA.

Em geral, dada à complexidade das reações fotoquímicas, todos os modelos são apenas uma aproximação das concentrações de ozônio na atmosfera e seus resultados devem ser analisados como ordens de grandeza do potencial de formação de ozônio.

A tentativa de um refinamento baseado em informações inexatas, não implica num aumento significativo no grau de acerto do modelo. Por isso, optou-se neste estudo, pela utilização do ciclo fotoquímico básico dos óxidos de nitrogênio, oxigênio e ozônio na troposfera.

A Tabela 7.3.1.1-1 apresenta um resumo de reações fotoquímicas Orgânicas e de  $\text{NO}_x$ .

Tabela 7.3.1.1-1: Mecanismos Generalizados de Reações Orgânicas e de NO<sub>x</sub>.

	REAÇÃO	Temperatura Constante (298 K)
3.1.13	$\text{NO}_2 + h\nu^a \rightarrow \text{NO} + \text{O}$	Depende da intensidade da luz
3.1.14	$\text{O} + \text{O}_2 + \text{M}^b \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$	$6,0 \times 10^{-34} \text{ cm}^6 \text{ molécula}^{-2} \text{ s}^{-1}$
3.1.15	$\text{O}_3 + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$	$1,8 \times 10^{-14} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$
3.1.16	$\text{R}^c\text{H} + \text{OH} \cdot \rightarrow \text{RO}_2 \cdot + \text{H}_2\text{O}$	$26,3 \times 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$
3.1.17	$\text{HCHO} + h\nu \rightarrow 2 \text{HO}_2 \cdot + \text{CO}$	Depende da intensidade da luz
3.1.18	$\text{HCHO} + h\nu \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$	Depende da intensidade da luz
3.1.19	$\text{HCHO} + \text{OH} \cdot \rightarrow \text{HO}_2 \cdot + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	$9,37 \times 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$
3.1.20	$\text{RCHO} + \text{OH} \cdot \rightarrow \text{RC}\dot{\text{O}} + \text{H}_2\text{O}$	$15,8 \times 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$
3.1.21	$\text{RO}_2 \cdot + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{RO} \cdot$	$8,9 \times 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$
3.1.22	$\text{RC(O)O}_2 \cdot + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{RC(O)O} \cdot + \text{CO}_2$	$2,4 \times 10^{-11} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$
3.1.23	$\text{RO} \cdot + \text{O}_2 \rightarrow \text{RCHO} + \text{HO}_2 \cdot$	$1,9 \times 10^{-15} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$
3.1.24	$\text{HO}_2 \cdot + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{OH} \cdot$	$8,6 \times 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$
3.1.25	$\text{O}_3 + h\nu \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}(\text{D})$	Depende da intensidade da luz
3.1.26	$\text{O}(\text{D}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{OH} \cdot$	$2,2 \times 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$
3.1.27	$\text{OH} \cdot + \text{NO}_2 + \text{M} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{M}$	$2,4 \times 10^{-11} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$
3.1.28	$\text{HO}_2 \cdot + \text{HO}_2 \cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$	$k_{28}^d$
3.1.29	$\text{RO}_2 \cdot + \text{HO}_2 \cdot \rightarrow \text{ROOH} + \text{O}_2$	$5,6 \times 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$
3.1.30	$\text{RC(O)O}_2 \cdot + \text{NO}_2 + \text{M} \rightarrow \text{PAN}^e + \text{M}$	
3.1.31	$\text{PAN} \rightarrow \text{RC(O)O}_2 \cdot + \text{NO}_2$	$5,2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$
3.1.32	$\text{HO}_2 \cdot + \text{O}_3 \rightarrow \text{OH} \cdot + 2\text{O}_2$	$2,0 \times 10^{-15} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1} \text{ s}^{-1}$

a radiação ultravioleta

b M representa N<sub>2</sub> ou O<sub>2</sub> ou outra molécula que absorve vibrações excessivas de energia e, desse modo estabiliza a molécula O<sub>3</sub> formada.

c alcanos geralmente reagem por meio da substituição de um átomo de hidrogênio. Uma vez removido o átomo de hidrogênio, o átomo de carbono envolvido fica sem um par de elétron e a molécula torna-se um radical livre, neste caso um radical alquil (metil, propil, n-propil, etc.). R<sup>c</sup> designa radicais alquil, onde R denota na fórmula química qualquer membro do grupo alquil.

d O cálculo de  $k_{28}$ :

$$k_{28} = (k_c + k_p)f_w$$

$$k_c = 2 \times 10^{-13} e^{(600/T)}$$

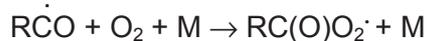
$$k_p = 1,7 \times 10^{-33} [\text{M}] e^{(1000/T)}$$

$$f_w = 1 + 1,4 \times 10^{-21} [\text{H}_2\text{O}] e^{(2200/T)}$$

e Classe de compostos cuja fórmula geral é RC(O)OONO<sub>2</sub> denominado peroxiacil nitratos (PAN's)

De uma forma bastante resumida e simplificada, pode-se descrever o complexo mecanismo da química atmosférica do Ozônio conforme a seqüência abaixo.

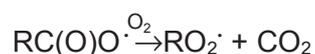
A partir das Reações 3.1.13 e 3.1.14 da Tabela 7.3.1.1-2, começa a ser formado O<sub>3</sub>. Este reage rapidamente com NO gerando NO<sub>2</sub> (Reação 3.1.15). A Reação de OH com hidrocarbonetos (RH) forma RO<sub>2</sub>· (Reação 3.1.16). A reação de OH· com aldeídos (RCHO) forma R $\dot{\text{C}}\text{O}$  (veja a reação 3.1.20) e RC(O)O<sub>2</sub>· em reações similares a:

**(Reação 3.1.33)**

Radicais peróxido ( $\text{RO}_2\dot{\text{C}}$  e  $\text{RC}(\text{O})\text{O}_2\dot{\text{C}}$ ) reagem rapidamente com NO para formar  $\text{NO}_2$  e outros radicais livres, conforme as Reações 3.1.21 e 3.1.22.

No caso da reação  $\text{HO}_2\text{-NO}$ , OH é regenerado, enquanto que com os radicais  $\text{RO}_2$  e  $\text{RC}(\text{O})\text{O}_3$ , RO e  $\text{RC}(\text{O})\text{O}$  são respectivamente formados. O destino mais comum de radicais  $\text{RO}\dot{\text{C}}$  é a reação com  $\text{O}_2$ , liberando  $\text{HO}_2\dot{\text{C}}$  e formando RCHO (Reação 3.1.23).

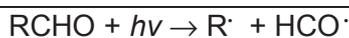
Os radicais  $\text{RC}(\text{O})\text{O}\dot{\text{C}}$  são de curta duração, decompondo-se para formar um radical alquil ( $\text{R}\dot{\text{C}}$ ) e  $\text{CO}_2$ , com a geração subsequente de  $\text{RO}_2\dot{\text{C}}$ :

**(Reação 3.1.34)**

Finalmente, os radicais hidroxil reagem com NO para regenerar OH e completar o ciclo, veja Reação 3.1.24 da Tabela 7.3.1.1-1.

Durante a existência de R e RCO, muitas moléculas de NO podem ser convertidas para  $\text{NO}_2$ . A chave para a química é que um radical livre formado, por exemplo, como o resultado da reação de OH com um hidrocarboneto reativo, participará em vários passos da propagação (conversão de NO para  $\text{NO}_2$ ) antes da sua destruição. Este processo envolve radicais livres de oxigênio provenientes da oxidação de NO para  $\text{NO}_2$  e subsequente acumulação de ozônio.

Uma fonte inicial de radicais livres é necessária para iniciar todo o processo de formação de oxidantes fotoquímicos na atmosfera. No sistema atmosférico, CO -  $\text{NO}_x$ , a fotólise de ozônio, com subsequente reação do oxigênio atômico com vapor de água, serve como fonte inicial de OH. E no sistema atmosférico formaldeído -  $\text{NO}_x$ , a fotólise de HCHO é a fonte inicial dominante. A fotólise de moléculas de aldeídos é, de fato, uma importante fonte de radicais livres na atmosfera,

**(Reação 3.1.35)**

A química de óxidos de nitrogênio na composição orgânica da atmosfera pode ser resumida numa forma geral como segue: O maior fenômeno observado no sistema é a conversão de NO para  $\text{NO}_2$ , formação de uma variedade de compostos de nitrogênio e acumulação de  $\text{O}_3$ . O  $\text{NO}_2$  serve tanto para iniciar como para terminar uma corrente de reações que resultam na conversão de NO para  $\text{NO}_2$  e na formação de  $\text{O}_3$ . O término da corrente de reações conduzem para ácido nítrico e nitratos orgânicos.

No presente estudo, para a estimativa de formação potencial de ozônio, foram consideradas apenas as reações do ciclo básico de  $\text{NO}_2$ , NO e  $\text{O}_3$ , que será descrito a seguir.

### 7.3.1.2 - Ciclo Fotoquímico Básico do NO<sub>2</sub>, NO e O<sub>3</sub>

Quando NO e NO<sub>2</sub> estão presentes na luz solar, a formação de ozônio ocorre como resultado de fotólise de NO<sub>2</sub> em comprimento de ondas < 424nm (reações 3.1.13 e 3.1.14 da Tabela 7.3.1.1-1). Uma vez formado, o ozônio reage com NO para formar NO<sub>2</sub> (3.1.15).

Considerando apenas as Reações 3.1.13, 3.1.14 e 3.1.15, supõe-se que a concentração inicial de NO e NO<sub>2</sub> sejam conhecidas. A taxa de alteração da concentração de NO<sub>2</sub> depois da irradiação, é inicialmente dada por:

$$\frac{d[\text{NO}_2]}{dt} = -j_1[\text{NO}_2] + k_1[\text{O}_3][\text{NO}]$$

(Eq. 3.1.36)

$j_1$  = valor típico 0,533, varia com a radiação solar

$k_1 = 3,1 \times 10^3 e^{(-1450/T)}$ , varia com a temperatura

Considerando [O<sub>2</sub>] como constante, há quatro espécies no sistema: NO<sub>2</sub>, NO, O e O<sub>3</sub>. A Equação 3.1.36 pode ser escrita também para NO, O e O<sub>3</sub>. Se for avaliado o lado direito da equação para oxigênio, um valor muito próximo de zero será encontrado. Fisicamente, isto significa que o átomo de oxigênio é tão reativo que ele desaparece pela Reação 3.1.14. Para espécies altamente reativas, pode-se considerar uma aproximação do pseudo estado estacionário (pseudo steady state approximation - PSSA) e, desse modo, assumir que a taxa de formação é exatamente igual a taxa de desaparecimento, por exemplo:

$$j_1[\text{NO}_2] = k_2[\text{O}][\text{O}_2][\text{M}]$$

(Eq. 3.1.37)

$k_2 = 6.0 \times 10^{-34}$

O estado estacionário da concentração do átomo de oxigênio neste sistema é dado por:

$$[\text{O}]_{\text{ss}} = \frac{j_1[\text{NO}_2]}{k_2[\text{O}_2][\text{M}]}$$

(Eq. 3.1.38)

Note que [O]<sub>ss</sub> não é constante. Sua concentração varia com [NO<sub>2</sub>] de forma que em algum instante um equilíbrio é alcançado entre sua taxa de produção e perda. Isto significa que a concentração do átomo de oxigênio varia em função da concentração de NO<sub>2</sub>.

Entretanto, nas Equações 3.1.36 e 3.1.37, vê-se que estas reações alcançarão um ponto onde NO<sub>2</sub> é destruído e reformado tão rápido que um ciclo no estado estacionário é mantido. O cálculo das concentrações no estado fixo de O<sub>3</sub> realizado neste ciclo é dado por:

$$[\text{O}_3]_{\text{ss}} = \frac{j_1[\text{NO}_2]}{k_1[\text{NO}]}$$

(Eq. 3.1.39)

Deve-se calcular agora  $[\text{NO}_2]$  e  $[\text{NO}]$ . Estes são obtidos a partir da conservação de nitrogênio:

$$[\text{NO}] + [\text{NO}_2] = [\text{NO}]_0 + [\text{NO}_2]_0 \quad (\text{Eq. 3.1.40})$$

A reação estequiométrica de  $\text{O}_3$  com  $\text{NO}$  é,

$$[\text{O}_3]_0 - [\text{O}_3] = [\text{NO}]_0 - [\text{NO}] \quad (\text{Eq. 3.1.41})$$

Resolvendo para  $[\text{O}_3]$ , obtém-se a relação para a concentração de ozônio formado em estado estacionário pela irradiação de uma mistura de  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , com excesso de  $\text{O}_2$ ,

$$[\text{O}_3]_{\text{ss}} = -\frac{1}{2} \left( [\text{NO}]_0 - [\text{O}_3]_0 + \frac{j_1}{k_1} \right) + \frac{1}{2} \left\{ \left( [\text{NO}]_0 - [\text{O}_3]_0 + \frac{j_1}{k_1} \right)^2 + \frac{4j_1}{k_1} ([\text{NO}_2]_0 + [\text{O}_3]_0) \right\}^{1/2} \quad (\text{Eq. 3.1.42})$$

Se  $[\text{O}_3]_0 = [\text{NO}]_0 = 0$ , a Equação 3.1.42 se reduz para:

$$[\text{O}_3]_{\text{ss}} = \frac{1}{2} \left\{ \left[ \left( \frac{j_1}{k_1} \right)^2 + \frac{4j_1}{k_1} [\text{NO}_2]_0 \right]^{1/2} - \frac{j_1}{k_1} \right\} \quad (\text{Eq. 3.1.43})$$

O Atmos 3.0.32 considera o ciclo fotoquímico básico dos óxidos de nitrogênio e ozônio para o cálculo das concentrações de ozônio na atmosfera.

O primeiro passo é o cálculo das concentrações dos poluentes precursores ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ), esse cálculo é feito utilizando o modelo de dispersão atmosférica descrito no item 3.1.

As concentrações iniciais dos poluentes ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$ ) são consideradas para cada ponto receptor como aquelas concentrações calculadas pelo modelo gaussiano.

A partir da determinação das concentrações iniciais, são calculadas as concentrações de  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , e  $\text{O}_3$ , utilizando-se a consideração do regime fotoestacionário, através das equações 3.1.42, 3.1.40 e 3.1.41.

As equações que relacionam os demais poluentes precursores estão sendo inseridas no modelo Atmos na versão 4.0 a ser lançada em 2001. Contudo faz-se necessário o conhecimento da cinética química desses poluentes na atmosfera das regiões onde o modelo será aplicado, para que os resultados modelados sejam mais satisfatórios.

Assim, os resultados apresentados no presente estudo para o poluente ozônio devem ser interpretados como ordem de grandeza do potencial de formação deste poluente acarretado pelas emissões do empreendimento.

### 7.3.2 - ANÁLISE DA MICROMETEOROLOGIA DA REGIÃO

A atmosfera é o meio propagador dos poluentes emitidos e os movimentos atmosféricos exercem um papel determinante na frequência, duração e concentração dos poluentes a que estão expostos os possíveis receptores.

A avaliação de impactos de emissões atmosféricas sobre a qualidade do ar do seu entorno exige um razoável conhecimento das condições meteorológicas de micro e mesoescala, que ocorrem na área de influência direta da empresa.

As variáveis mais importantes e determinantes das condições de estabilidade da atmosfera e conseqüente dispersão de poluentes emitidos são a direção e velocidade do vento, o desvio padrão da direção do vento ( $\sigma\theta$ ), o gradiente vertical de temperatura e a altura da camada limite de inversão térmica da atmosfera, a radiação solar, a nebulosidade, a precipitação pluviométrica e a pressão atmosférica.

No Brasil, há uma carência generalizada de séries históricas de medições de fenômenos meteorológicos, tomadas nas condições observacionais e frequência necessárias à aplicação de modelos matemáticos de dispersão de poluentes.

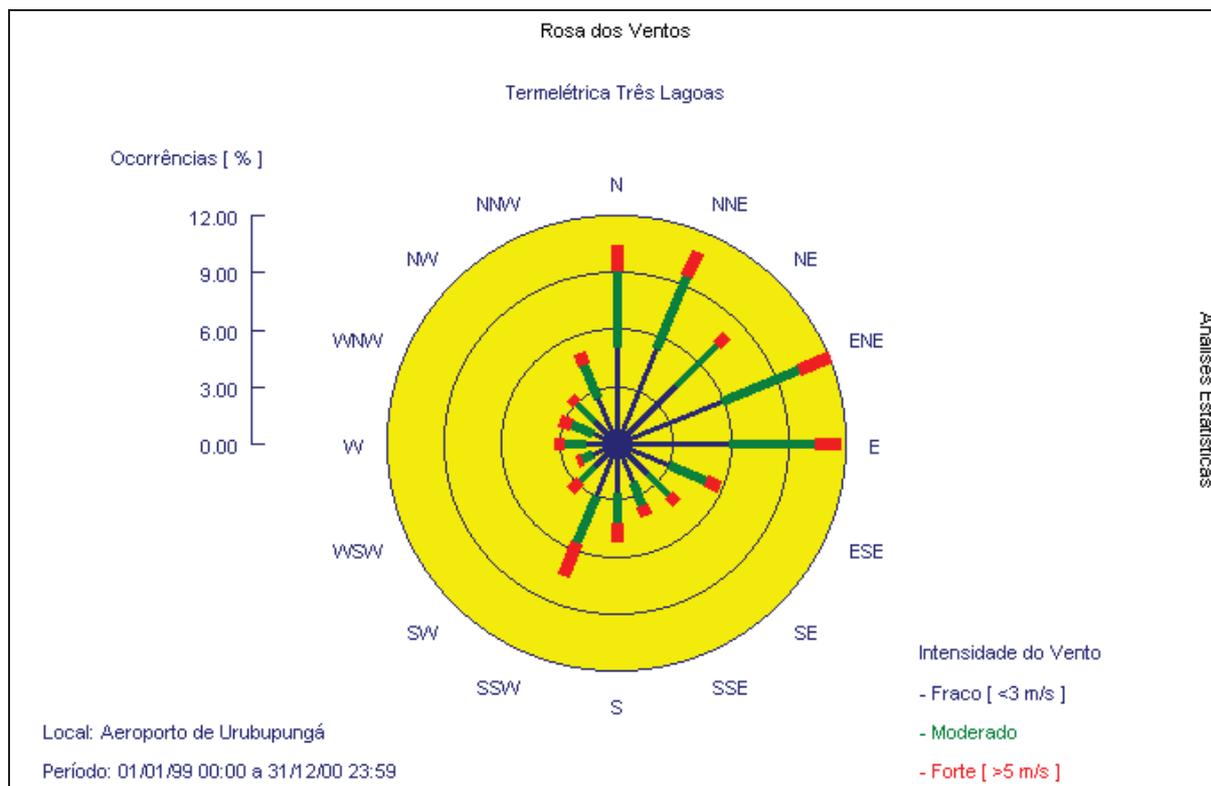
Para a realização de estudos de qualidade do ar a partir de modelos de dispersão de longos períodos, a EPA (Environmental Protection Agency) recomenda a utilização de dados médios horários tomados pelo menos ao longo dos últimos 5 anos. Isto é, recomendado para evitar a utilização de informações de curto período coletadas em momentos atípicos, que poderiam tornar pouco significativos os resultados modelados.

No presente estudo, obteve-se informações meteorológicas de direção e velocidade do vento, nebulosidade, precipitação pluviométrica e temperatura do ar, tomados no período de 01/01/1999 a 31/12/2000 na estação meteorológica situada no Aeroporto de Urubupungá, distante cerca de 10 km a sudeste do local indicado para a implantação da Termelétrica.

Ressalta-se que as medições de meteorologia tomadas no aeroporto de Urubupungá contemplam apenas as horas compreendidas entre 07:00 e 19:00 h. Assim, pela inexistência de dados, não puderam ser consideradas as horas noturnas para a modelagem matemática.

Tais informações foram então migradas para o banco de dados do Atmos, que serviu como base para a execução deste estudo.

O cenário médio anual de velocidade e direção do vento pode ser resumido em uma representação gráfica denominada de Rosa dos Ventos. Foi gerada a rosa dos ventos para o período 01/01/1999 a 31/12/2000, cujo resultado é apresentado na Figura 7.3.2-1.



**Figura 7.3.2-1: Rosa dos Ventos de Longo Período Característica da Região de Estudo - Estação Aeroporto de Urubupungá.**

Utilizando-se das informações horárias disponíveis, procedeu-se o estudo das condições de direção e velocidade do vento para a determinação de cenários meteorológicos característicos da região, ou seja, o agrupamento de condições semelhantes que ocorrem com determinada frequência em certas horas do dia e meses do ano. Agrupando-se os cenários típicos em cada um dos 12 meses do ano, foram obtidos 144 cenários meteorológicos horários mensais típicos, demonstrados no ANEXO A, que serviram de base para o estudo de dispersão de poluentes atmosféricos.

A radiação solar foi calculada com base em modelos clássicos considerando-se a latitude da região, a declinação solar ao longo do ano e a hora do dia. A altura de camada de inversão foi considerada constante e igual a 500 m, tendo em vista a ausência de registros históricos dessas variáveis na região.

### 7.3.3 - ESTRATIFICAÇÃO DO RELEVO

A altitude de cada célula da malha de modelamento foi caracterizada com base no relevo médio do local onde a mesma está situada. Os dados de relevo foram obtidos através da carta topográfica Três Lagoas, em escala 1:100.000 e produzidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O relevo foi discretizado para a área de trabalho descrita inicialmente, isto é, para uma área de 40 x 40 km com células de 1 x 1 km.

A Figura 7.3.3-1 apresenta o relevo discretizado da região de estudo considerada.

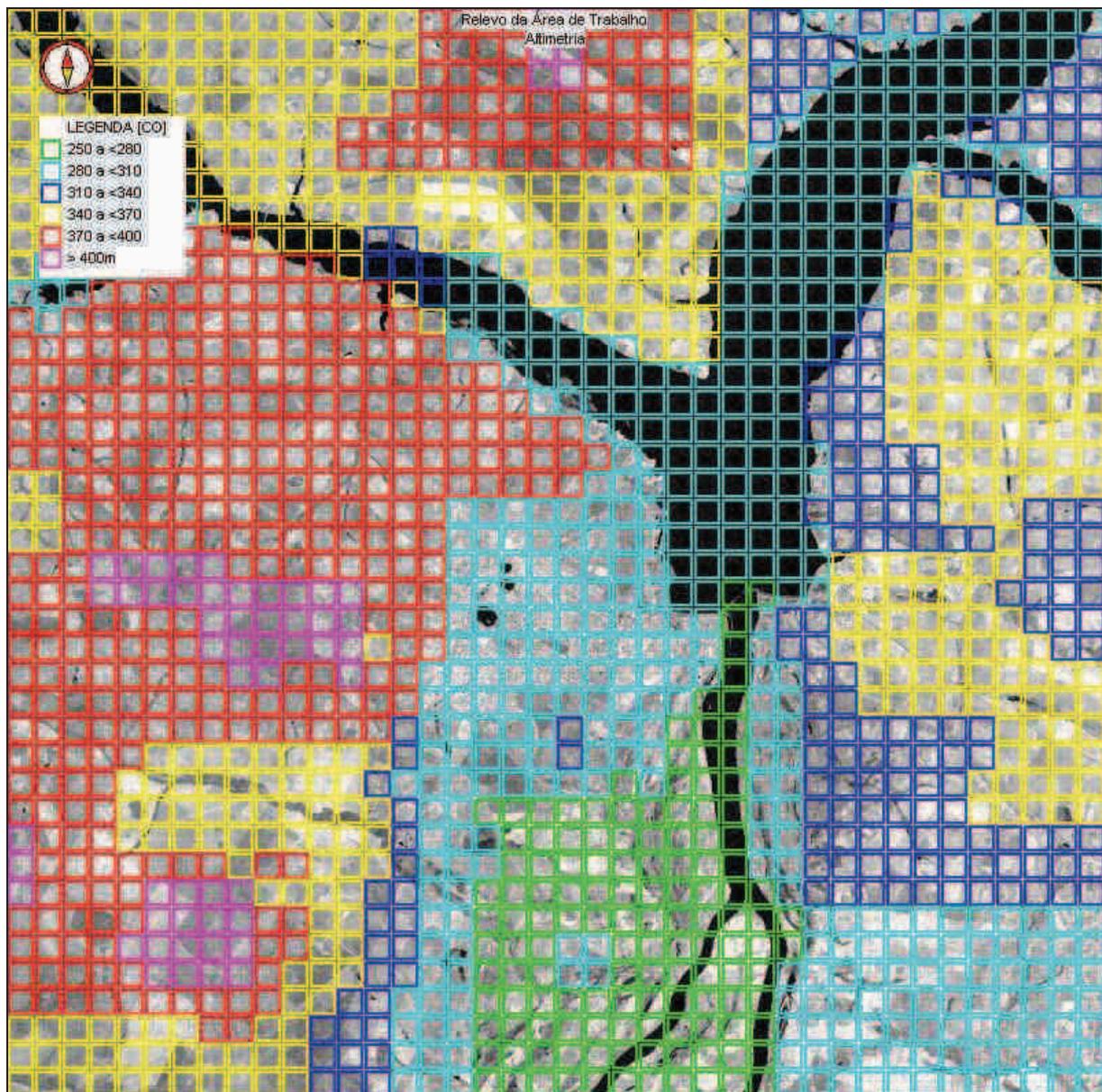


Figura 7.3.3-1: Relevo Discretizado da Área de Estudo – Três Lagoas – MS.

#### 7.3.4 - INFLUÊNCIA DA TERMELÉTRICA TRÊS LAGOAS NA QUALIDADE DO AR

Este item tem como objetivo a quantificação da influência das emissões de poluentes atmosféricos da Usina Termelétrica Três Lagoas (UTE) para a qualidade do ar da região de estudo.

A região de estudo caracteriza-se como região de atividade predominantemente rural. Dessa forma espera-se que as concentrações dos poluentes na atmosfera situem-se em níveis relativamente baixos.

Dada a inexistência de monitoramento sistemático da qualidade do ar na região de estudo, não foi possível a caracterização das concentrações de base para os poluentes analisados no estudo.

Para a construção dos cenários modelados de qualidade do ar foi utilizado o modelo descrito no item 3, com todas as informações de emissões atmosféricas, meteorologia e características geofísicas da região.

Foram consideradas duas hipóteses para a modelagem da dispersão de poluentes na atmosfera:

- **Fase I:** Emissões da Usina Termelétrica Três Lagoas operando a ciclo aberto, isto é, temperatura de emissão igual a 500 °C;
- **Fase II:** Emissões da Usina Termelétrica Três Lagoas operando a ciclo combinado, isto é, temperatura de emissão igual a 100 °C.

As condições meteorológicas foram agrupadas estatisticamente em 144 cenários horários mensais, conforme disposto no Anexo A.

A partir das informações de base, foram então modelados 3140 cenários de qualidade do ar, para a região de estudo, assim divididos:

- 144 cenários modelados de qualidade do ar de influência média horária nas concentrações de Partículas Totais em Suspensão (PTS), para as Fases I e II;
- 144 cenários modelados de qualidade do ar de influência média horária nas concentrações de Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), para as Fases I e II;
- 144 cenários modelados de qualidade do ar de influência média horária nas concentrações de Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>), para as Fases I e II;
- 144 cenários modelados de qualidade do ar de influência média horária nas concentrações de Monóxido de Carbono (CO), para as Fases I e II;
- 144 cenários modelados de qualidade do ar de influência média horária nas concentrações de Hidrocarbonetos (HC), para as Fases I e II;
- 144 cenários modelados de qualidade do ar de influência média horária nas concentrações de Partículas Inaláveis (PI), para as Fases I e II;
- 144 cenários modelados de qualidade do ar de influência média horária nas concentrações de Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), para as Fases I e II;
- 144 cenários modelados de qualidade do ar de influência média horária nas concentrações de Monóxido de Nitrogênio (NO), para as Fases I e II;
- 144 cenários modelados de qualidade do ar de influência média horária nas concentrações de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC), para as Fases I e II;
- 144 cenários modelados de qualidade do ar de influência média horária nas concentrações de Ozônio (O<sub>3</sub>), para as Fases I e II;

- 12 cenários de concentrações médias diárias para cada um dos 10 poluentes referidos acima, para as Fases I e II;
- 1 cenário de concentrações médias anuais para cada um dos 10 poluentes referidos acima, para as Fases I e II.

Estes cenários foram utilizados para a determinação da influência da UTE na qualidade do ar.

Em virtude da inexistência de dados meteorológicos para o período entre 20:00 e 06:00 h, não foi possível o cálculo das concentrações nas referidas horas. Assim as médias diárias devem ser entendidas como médias tomadas para os períodos compreendidos entre 07:00 e 19:00 h. Da mesma forma os resultados médios anuais devem ser vistos com ressalvas, uma vez que pelo motivo supracitado, foram considerados menos dados na composição das médias.

Após análise dos cenários modelados, apresentam-se nas Tabela 7.3.4-1 e 7.3.4.2 os principais resultados extraídos dos cenários modelados, para as Fases I e II, respectivamente.

Tabela 7.3.4-1: Máximos Acréscimos nas Concentrações de Poluentes na Atmosfera Considerando as Emissões da UTE – Fase I (ciclo aberto).

Poluente	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Referência Temporal	Data	Localização (relativa à UTE)	
PTS	0,2	Horária	Março 07:30	5 km a Oeste	
SO <sub>2</sub>	0,3		Março 07:30	5 km a Oeste	
NO <sub>x</sub>	1,1		Abril 12:30	4 km a Sudoeste	
CO	2,7		Março 07:30	5 km a Oeste	
HC	0,4		Março 07:30	5 km a Oeste	
PI	0,2		Março 07:30	5 km a Oeste	
NO <sub>2</sub>	< 0,1		Abril 18:30	9 km a Nordeste	
NO	1,1		Abril 12:30	4 km a Sudoeste	
VOC	0,1		Março 07:30	5 km a Oeste	
O <sub>3</sub>	0,2		Abril 12:30	4 km a Sudoeste	
PTS	< 0,1		Diária	Fevereiro	4 km a Sudoeste
SO <sub>2</sub>	0,1			Fevereiro	4 km a Sudoeste
NO <sub>x</sub>	0,3	Fevereiro		4 km a Sudoeste	
CO	0,9	Fevereiro		4 km a Sudoeste	
HC	0,1	Fevereiro		4 km a Sudoeste	
PI	< 0,1	Fevereiro		4 km a Sudoeste	
NO <sub>2</sub>	0,0	Fevereiro		4 km a Sudoeste	
NO	0,3	Fevereiro		4 km a Sudoeste	
VOC	< 0,1	Fevereiro		4 km a Sudoeste	
PTS	< 0,1	Anual	Média Anual	9 km a Sudoeste	
SO <sub>2</sub>	< 0,1		Média Anual	9 km a Sudoeste	
NO <sub>x</sub>	0,1		Média Anual	4 km a Sudoeste	
CO	0,6		Média Anual	9 km a Sudoeste	
HC	< 0,1		Média Anual	9 km a Sudoeste	
PI	< 0,1		Média Anual	9 km a Sudoeste	
NO <sub>2</sub>	0,0		Média Anual	4 km a Sudoeste	
NO	0,1		Média Anual	4 km a Sudoeste	
VOC	< 0,1		Média Anual	9 km a Sudoeste	

Tabela 7.3.4-2: Máximos Acréscimos nas Concentrações de Poluentes na Atmosfera Considerando as Emissões da UTE – Fase II (ciclo combinado).

Poluente	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Referência Temporal	Data	Localização (relativa à UTE)
PTS	0,7	Horária	Agosto 18:30	12 km a Sudoeste
SO <sub>2</sub>	0,9		Agosto 18:30	12 km a Sudoeste
NO <sub>x</sub>	3,0		Abril 12:30	1 km a Sudoeste
CO	8,5		Agosto 18:30	12 km a Sudoeste
HC	1,2		Agosto 18:30	12 km a Sudoeste
PI	0,7		Agosto 18:30	12 km a Sudoeste
NO <sub>2</sub>	0,2		Abril 18:30	8 km a Noroeste
NO	3,0		Abril 12:30	1 km a Sudoeste
VOC	0,2		Agosto 18:30	12 km a Sudoeste
O <sub>3</sub>	0,4		Abril 12:30	1 km a Sudoeste
PTS	0,1		Diária	Abril
SO <sub>2</sub>	0,2	Abril		4 km a Oeste
NO <sub>x</sub>	1,2	Agosto		1 km a Sudoeste
CO	1,6	Abril		4 km a Oeste
HC	0,2	Abril		4 km a Oeste
PI	0,1	Abril		4 km a Oeste
NO <sub>2</sub>	< 0,1	Julho		4 km a Nordeste
NO	1,1	Outubro		3 km a Oeste
VOC	< 0,1	Abril		4 km a Oeste
PTS	0,1	Anual	Média Anual	3 km a Sudoeste
SO <sub>2</sub>	0,2		Média Anual	3 km a Sudoeste
NO <sub>x</sub>	0,8		Média Anual	3 km a Sudoeste
CO	1,2		Média Anual	3 km a Sudoeste
HC	0,2		Média Anual	3 km a Sudoeste
PI	0,1		Média Anual	3 km a Sudoeste
NO <sub>2</sub>	< 0,1		Média Anual	4 km a Nordeste
NO	0,8		Média Anual	3 km a Sudoeste
VOC	< 0,1		Média Anual	3 km a Sudoeste

As Figuras 7.3.4-1 a 7.3.4-10 apresentam os cenários modelados de qualidade do ar que contêm as concentrações máximas observadas para a referência temporal de 1 hora para PTS, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, PI, NO<sub>2</sub>, NO, VOC e O<sub>3</sub>, respectivamente – Fase I (ciclo aberto).

As Figuras 7.3.4-11 a 7.3.4-19 apresentam os cenários modelados de qualidade do ar que contêm as concentrações máximas observadas para a referência temporal diária para PTS, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, PI, NO<sub>2</sub>, NO e VOC, respectivamente – Fase I (ciclo aberto).

As Figuras 7.3.4-20 a 7.3.4-28 apresentam os cenários modelados de qualidade do ar que contêm as concentrações máximas observadas para a referência temporal de 1 ano para PTS, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, PI, NO<sub>2</sub>, NO e VOC, respectivamente – Fase I (ciclo aberto).

As Figuras 7.3.4-29 a 7.3.4-38 apresentam os cenários modelados de qualidade do ar que contêm as concentrações máximas observadas para a referência temporal de 1 hora para PTS, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, PI, NO<sub>2</sub>, NO, VOC e O<sub>3</sub>, respectivamente – Fase II (ciclo combinado).

As Figuras 7.3.4-39 a 7.3.4-47 apresentam os cenários modelados de qualidade do ar que contêm as concentrações máximas observadas para a referência temporal diária para PTS, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, PI, NO<sub>2</sub>, NO e VOC, respectivamente – Fase II (ciclo combinado).

As Figuras 7.3.4-48 a 7.3.4-56 apresentam os cenários modelados de qualidade do ar que contêm as concentrações máximas observadas para a referência temporal de 1 ano para PTS, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, PI, NO<sub>2</sub>, NO e VOC, respectivamente – Fase II (ciclo combinado).

As escalas foram adequadas as ordens de grandeza das concentrações modeladas de cada cenário de qualidade do ar.

Os demais cenários podem ser facilmente visualizados com a utilização do programa EcoSoft Atmos 3.0.32 – view, como descrito no Anexo B deste relatório.

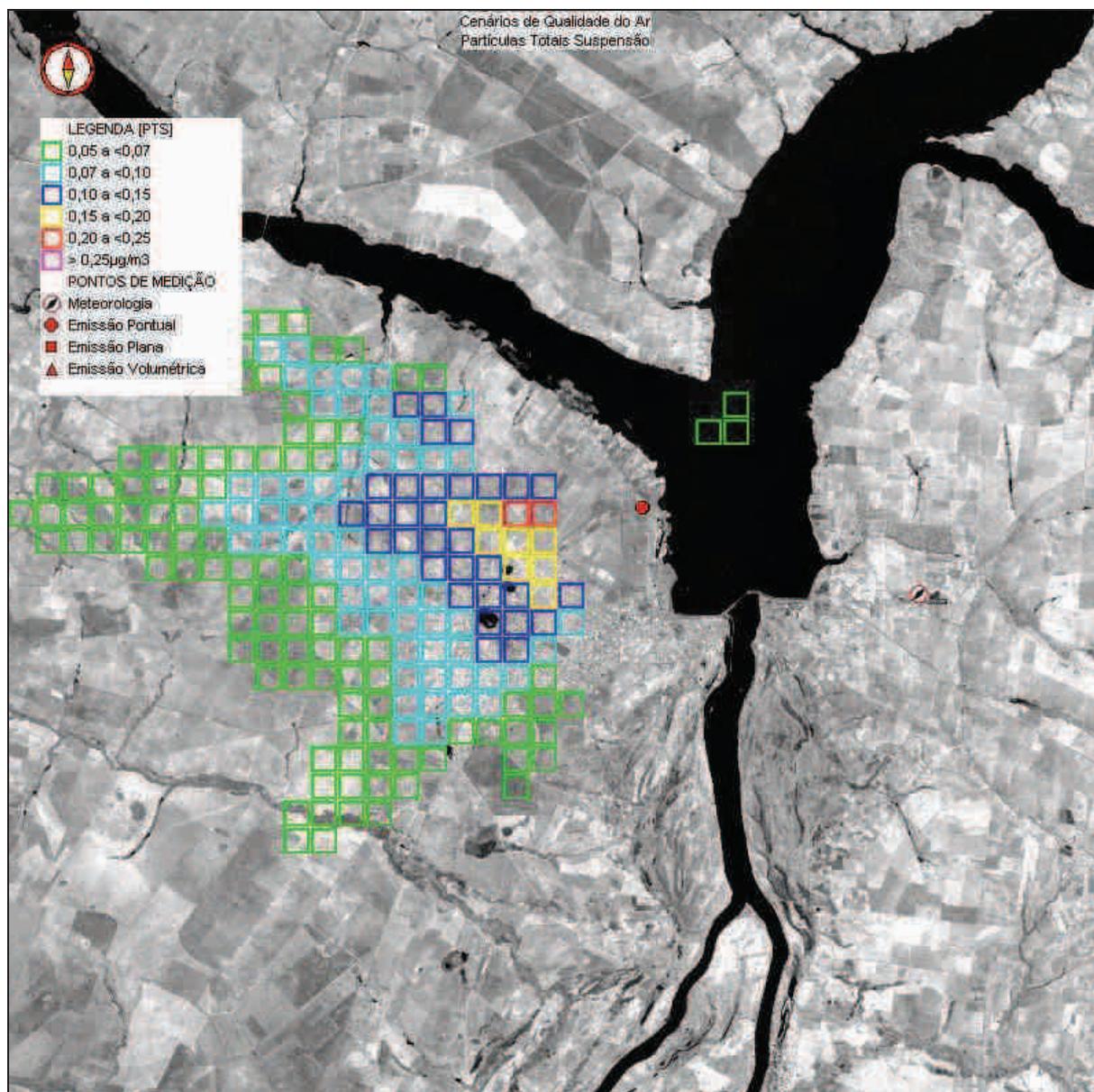
A Tabela 7.3.4-3 apresenta os padrões de qualidade do ar segundo a resolução CONAMA 03/1990.

Tabela 7.3.4-3: Padrões de Qualidade do Ar Segundo a Resolução CONAMA 03/1990.

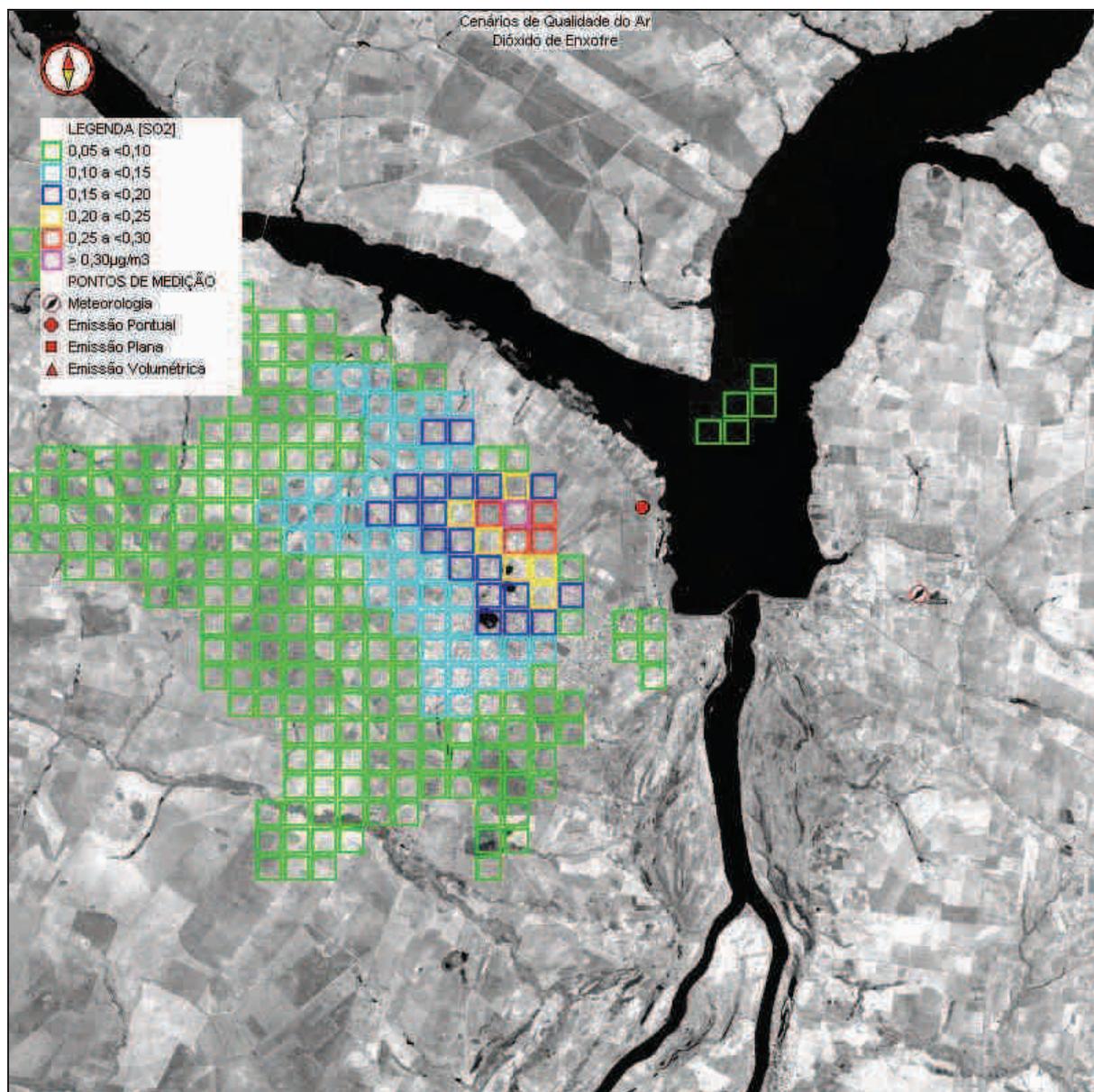
Poluente	Padrão Primário		Padrão Secundário	
	Concentração (µg/m <sup>3</sup> )	Referência Temporal	Concentração (µg/m <sup>3</sup> )	Referência Temporal
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	80 *	1 ano	60 *	1 ano
	240	24 horas	150	24 horas
Partículas Inaláveis (PI)	50	1 ano	50	1 ano
	150	24 horas	150	24 horas
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	80	1 ano	40	1 ano
	365	24 horas	100	24 horas
Monóxido de Carbono (CO)	10.000	8 horas	10.000	8 horas
	40.000	1 hora	40.000	1 hora
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	100	1 ano	100	1 ano
	320	1 hora	190	1 hora
Fumaça	150	24 horas	100	24 horas
	60	1 ano	40	1 ano
Ozônio (O <sub>3</sub> )	160	1 hora	160	1 hora

\* Média Geométrica

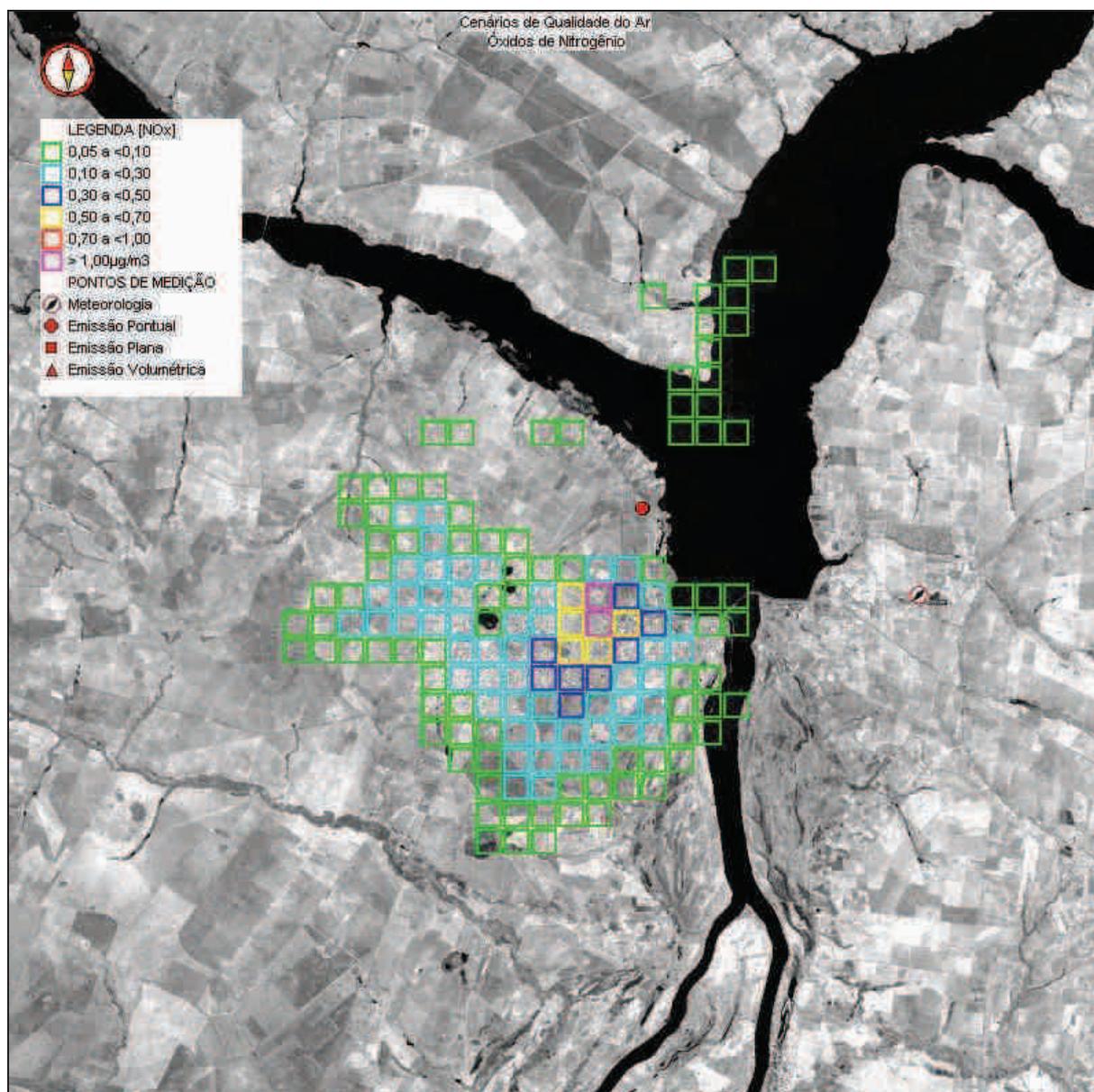
A seguir são apresentadas as figuras listadas anteriormente.



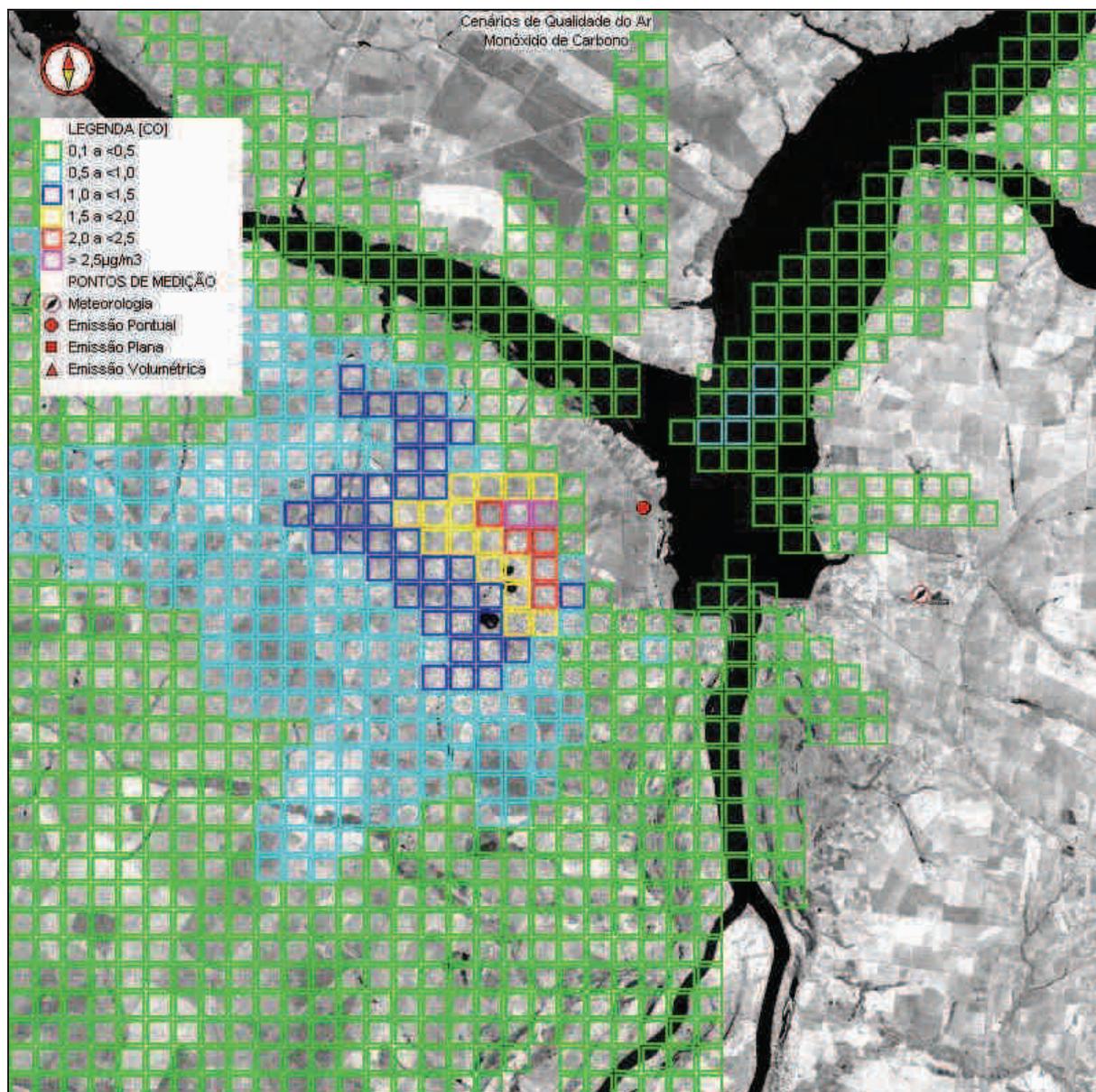
**Figura 7.3.4-1: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Partículas Totais em Suspensão considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**



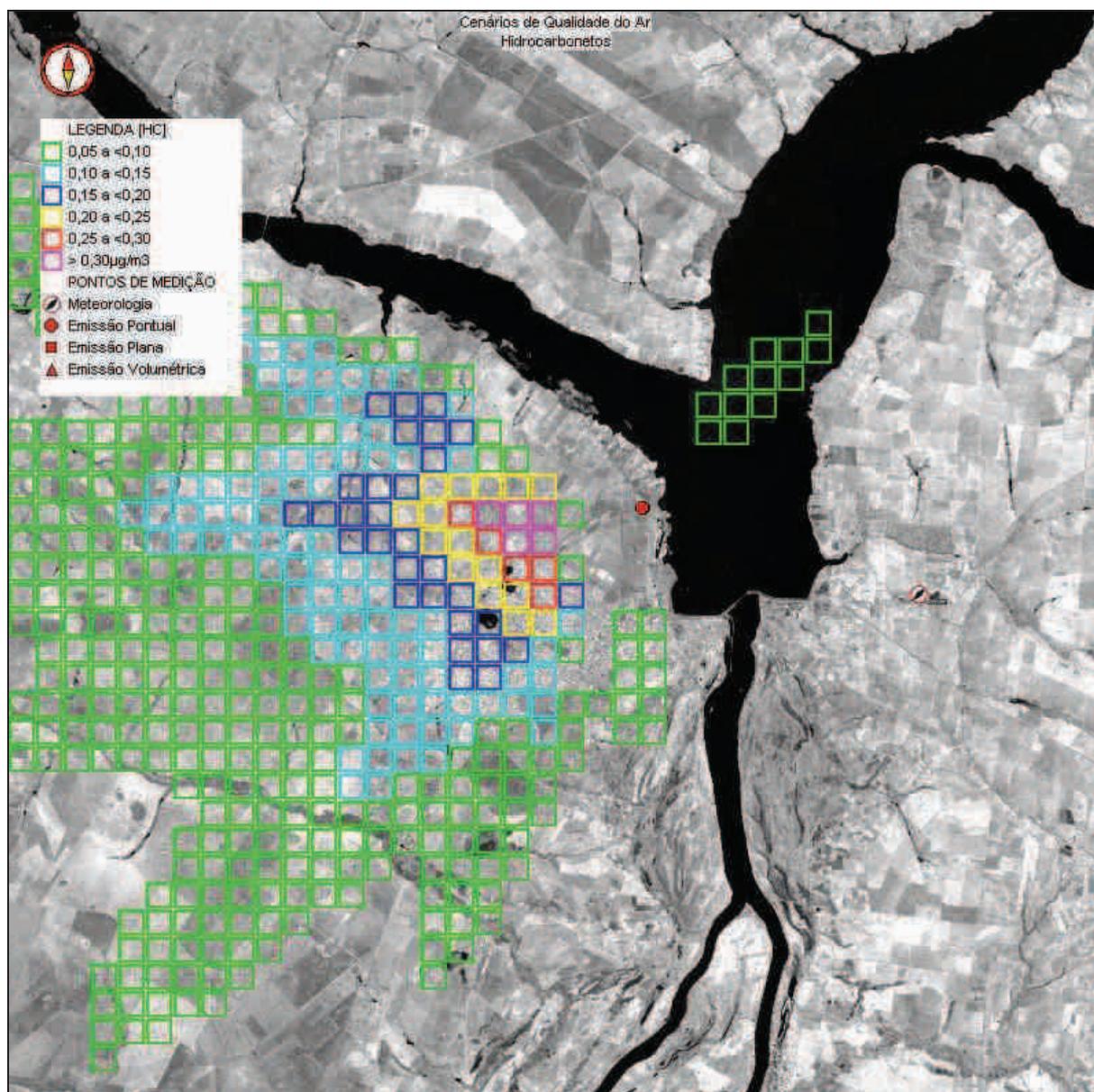
**7.3.4-2: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Dióxido de Enxofre considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**



**Figura 7.3.4-3: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Óxidos de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**



**Figura 7.3.4-4: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Monóxido de Carbono considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**



**Figura 7.3.4-5: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Hidrocarbonetos considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**

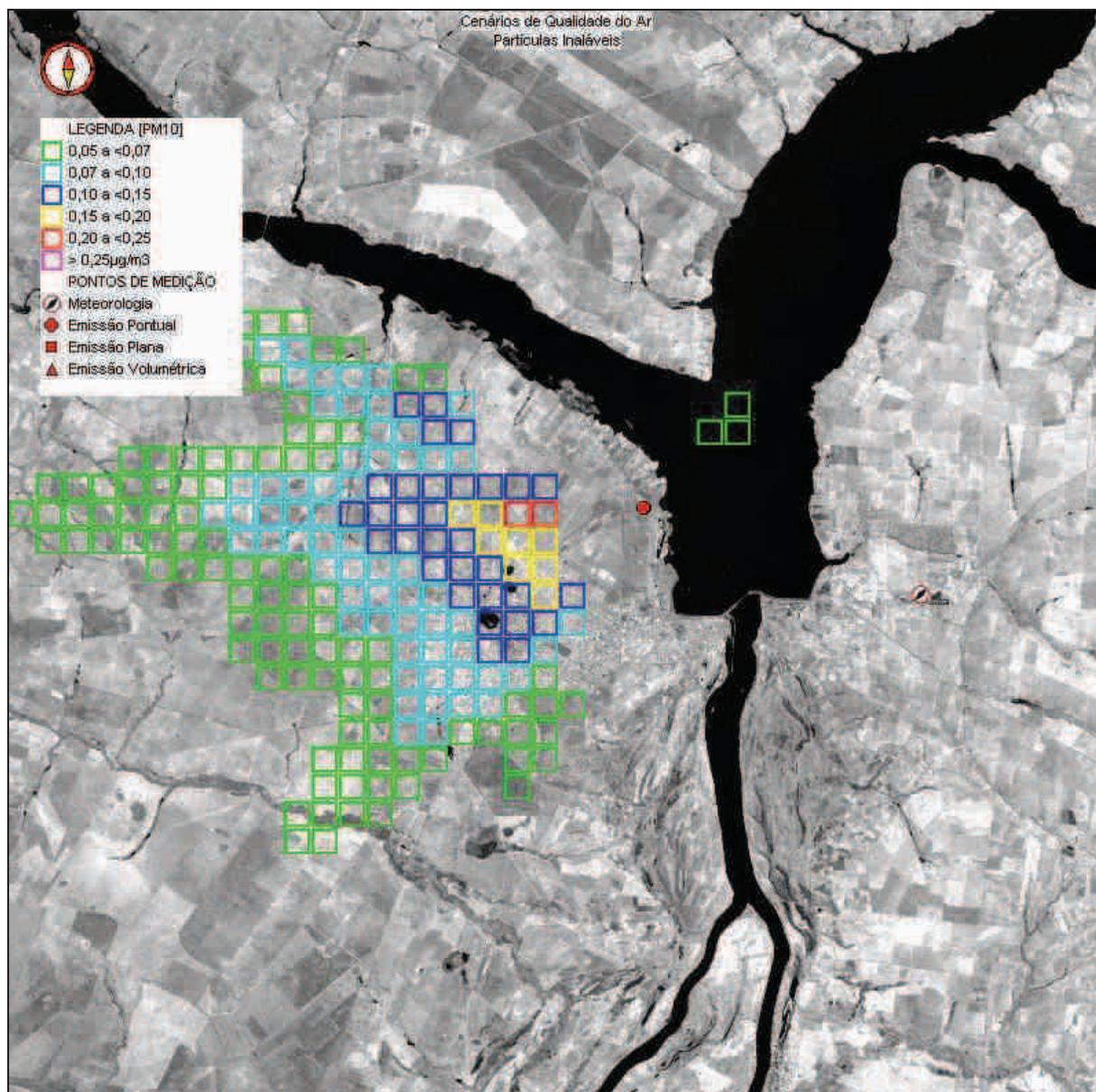


Figura 7.3.4-6: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Partículas Inaláveis considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).

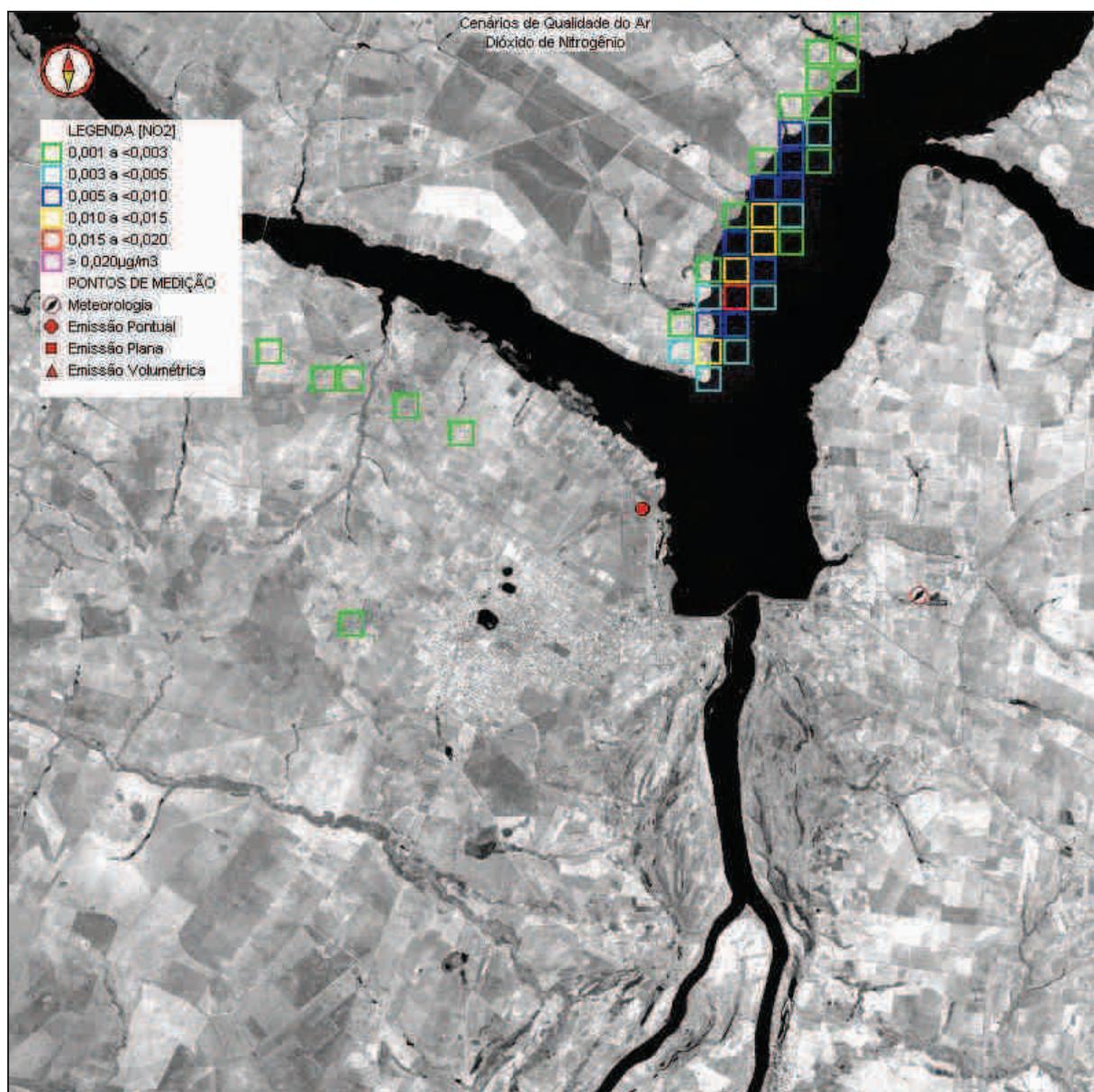
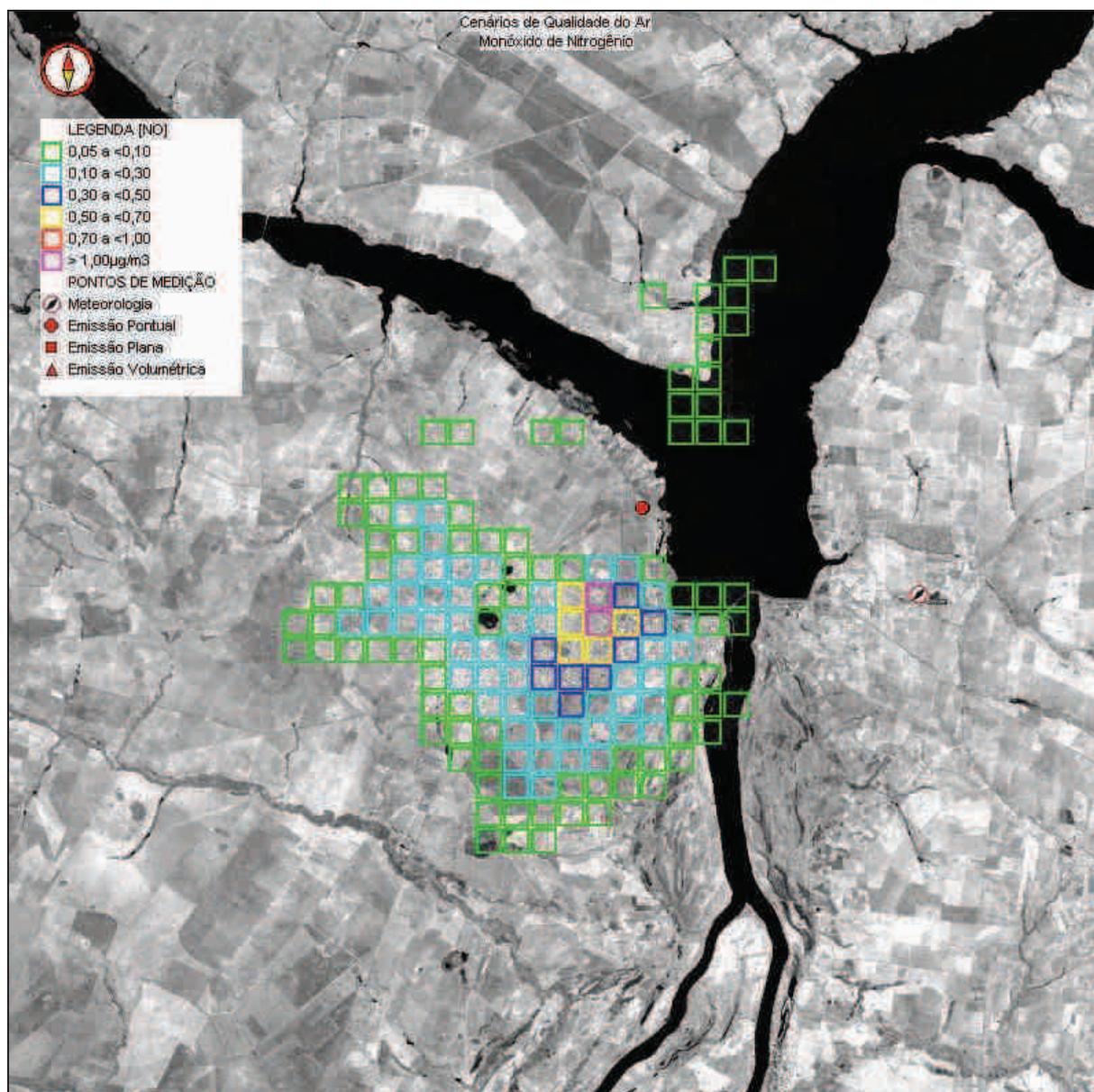
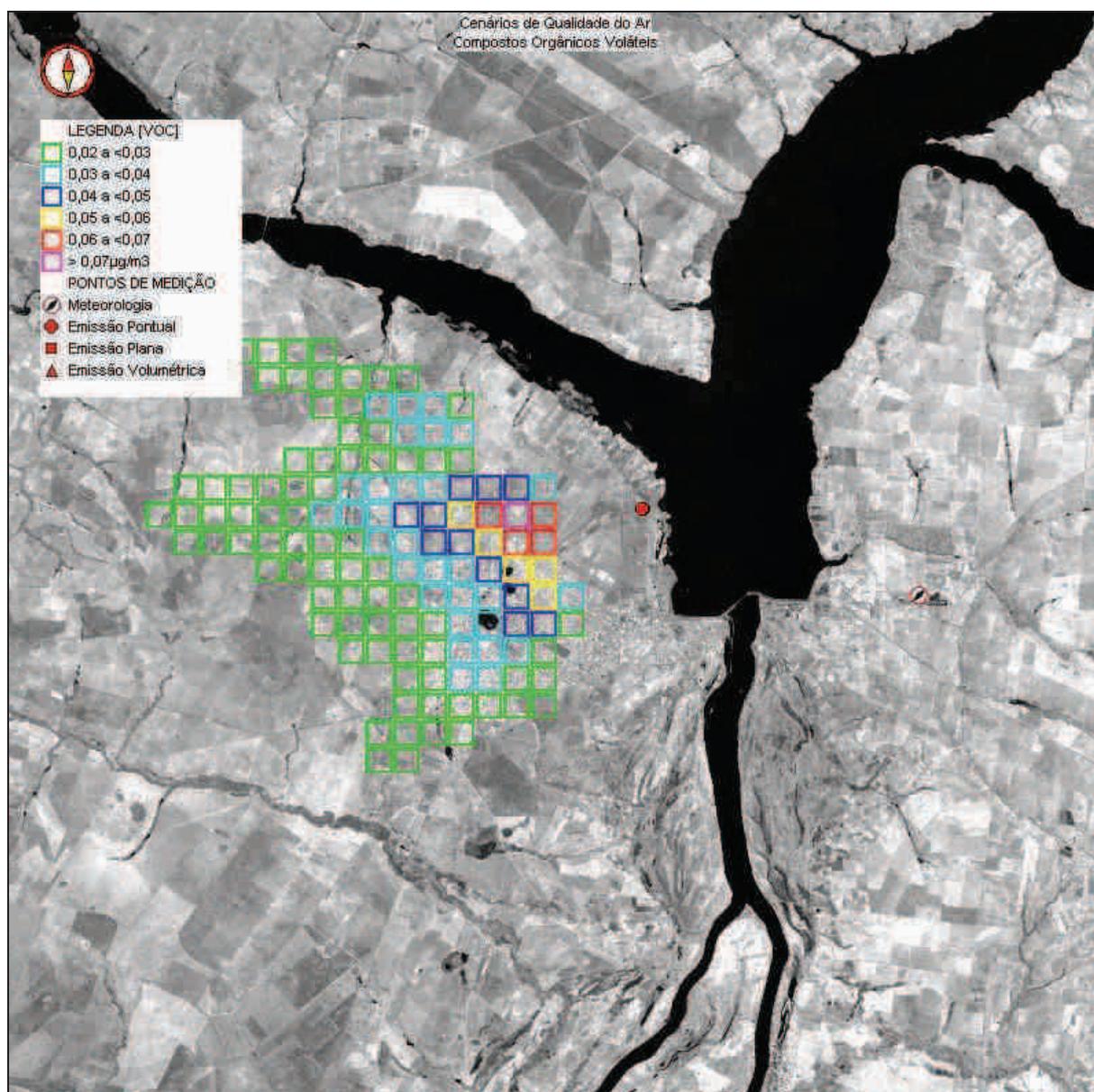


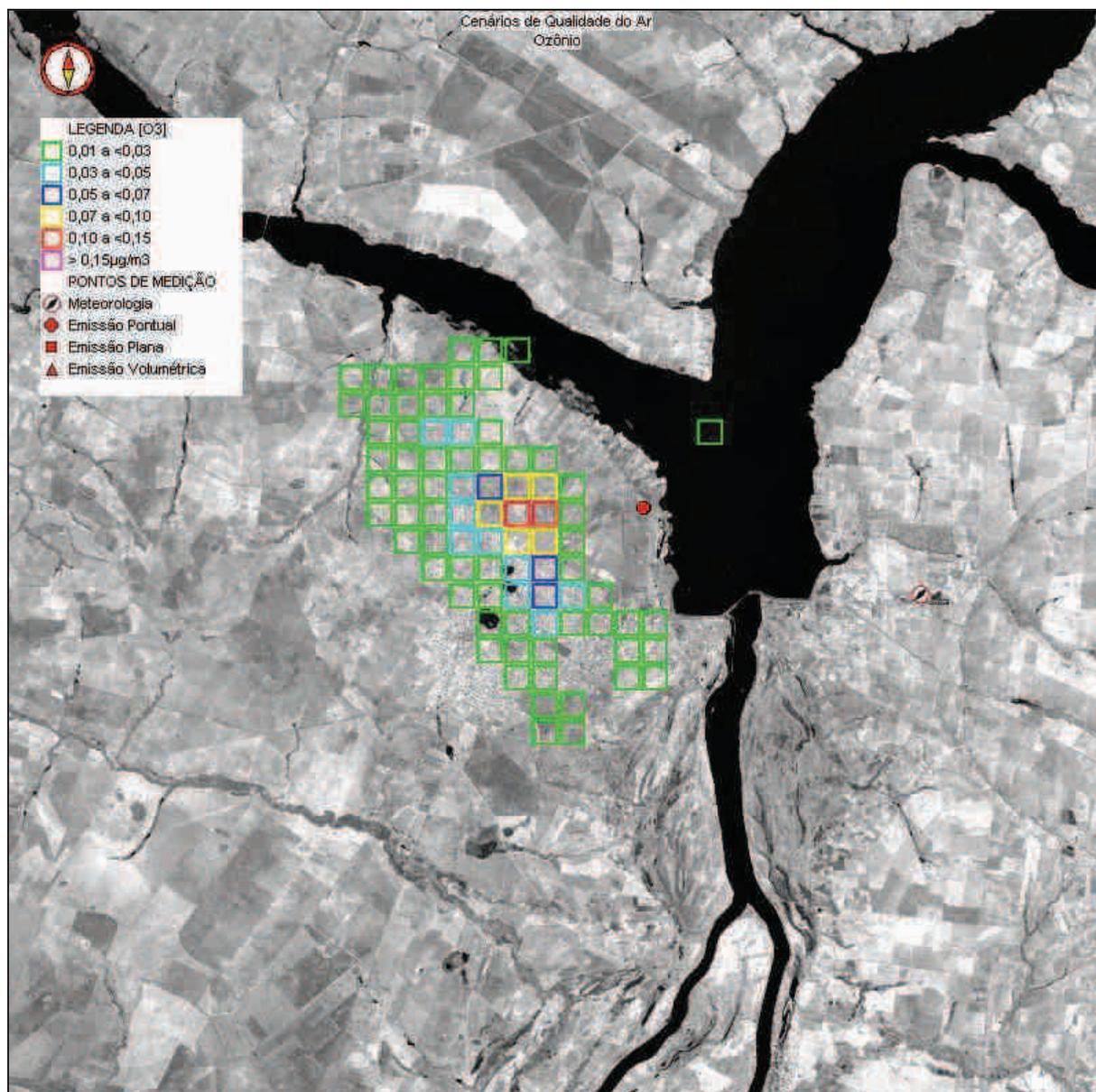
Figura 7.3.4-7: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Dióxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).



**Figura 7.3.4-8: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Monóxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**



**Figura 7.3.4-9: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Compostos Orgânicos Voláteis considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**



**Figura 7.3.4-10: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Ozônio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**

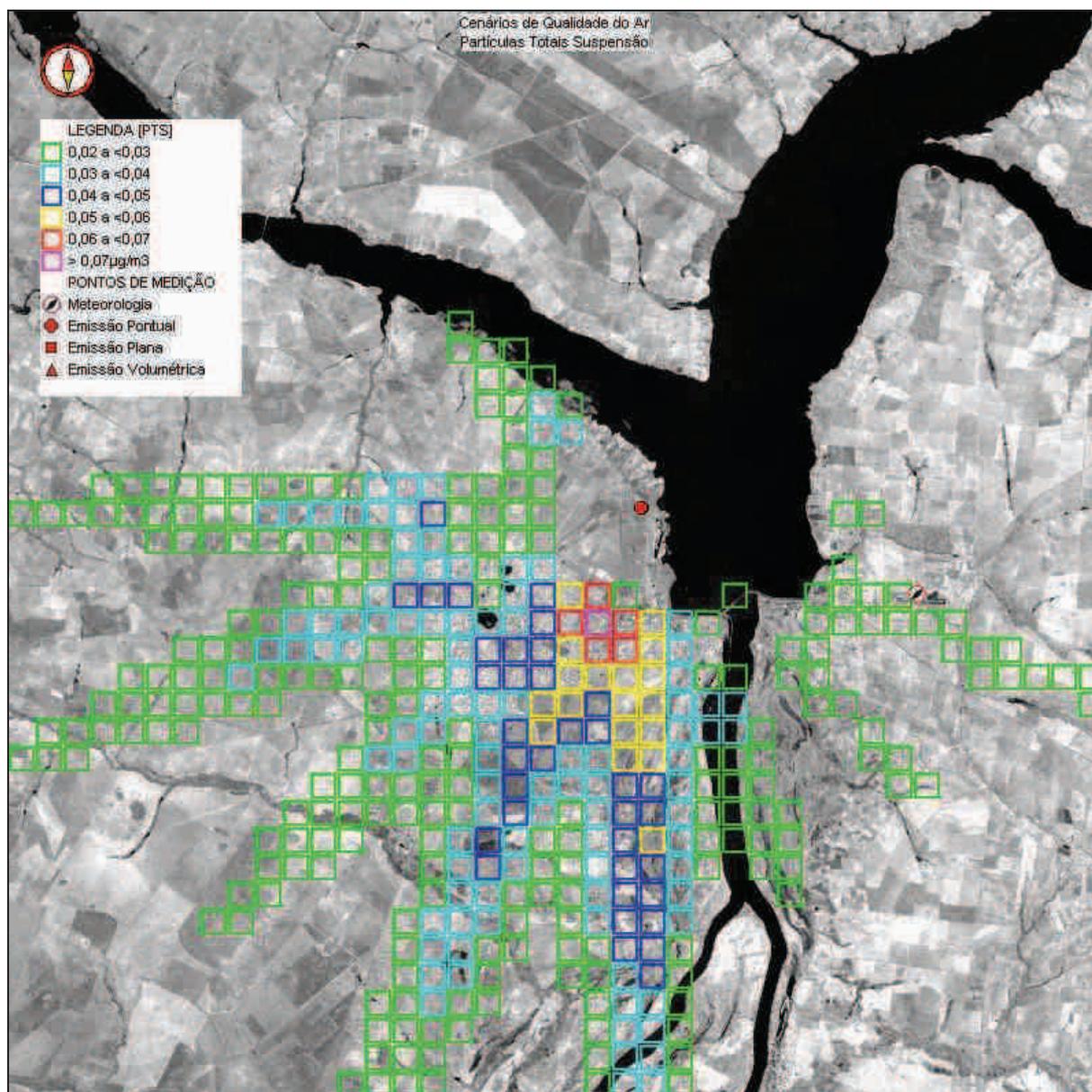


Figura 7.3.4-11: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Partículas Totais em Suspensão considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase I (ciclo aberto).

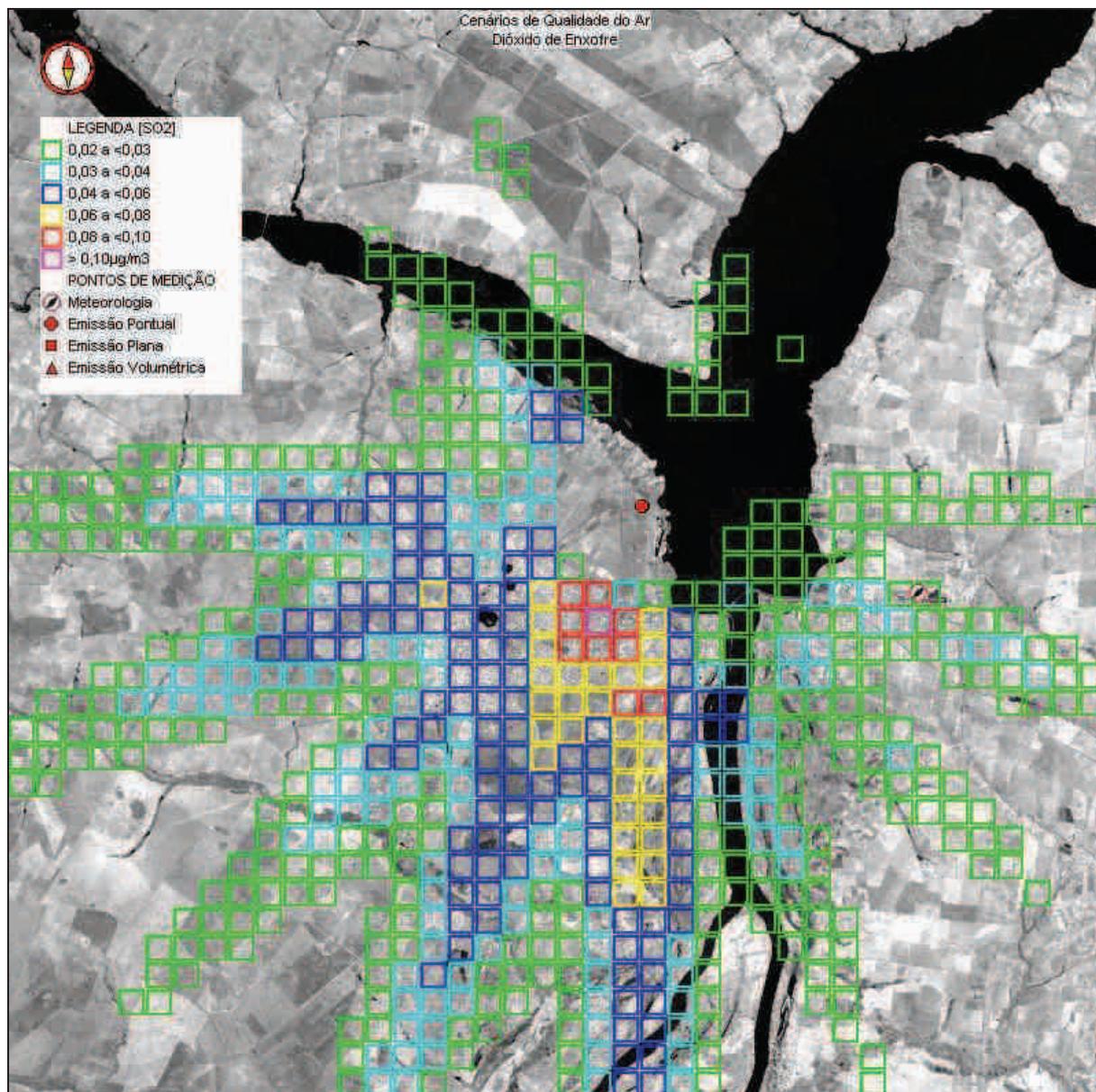


Figura 7.3.4-12: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Dióxido de Enxofre considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase I (ciclo aberto).

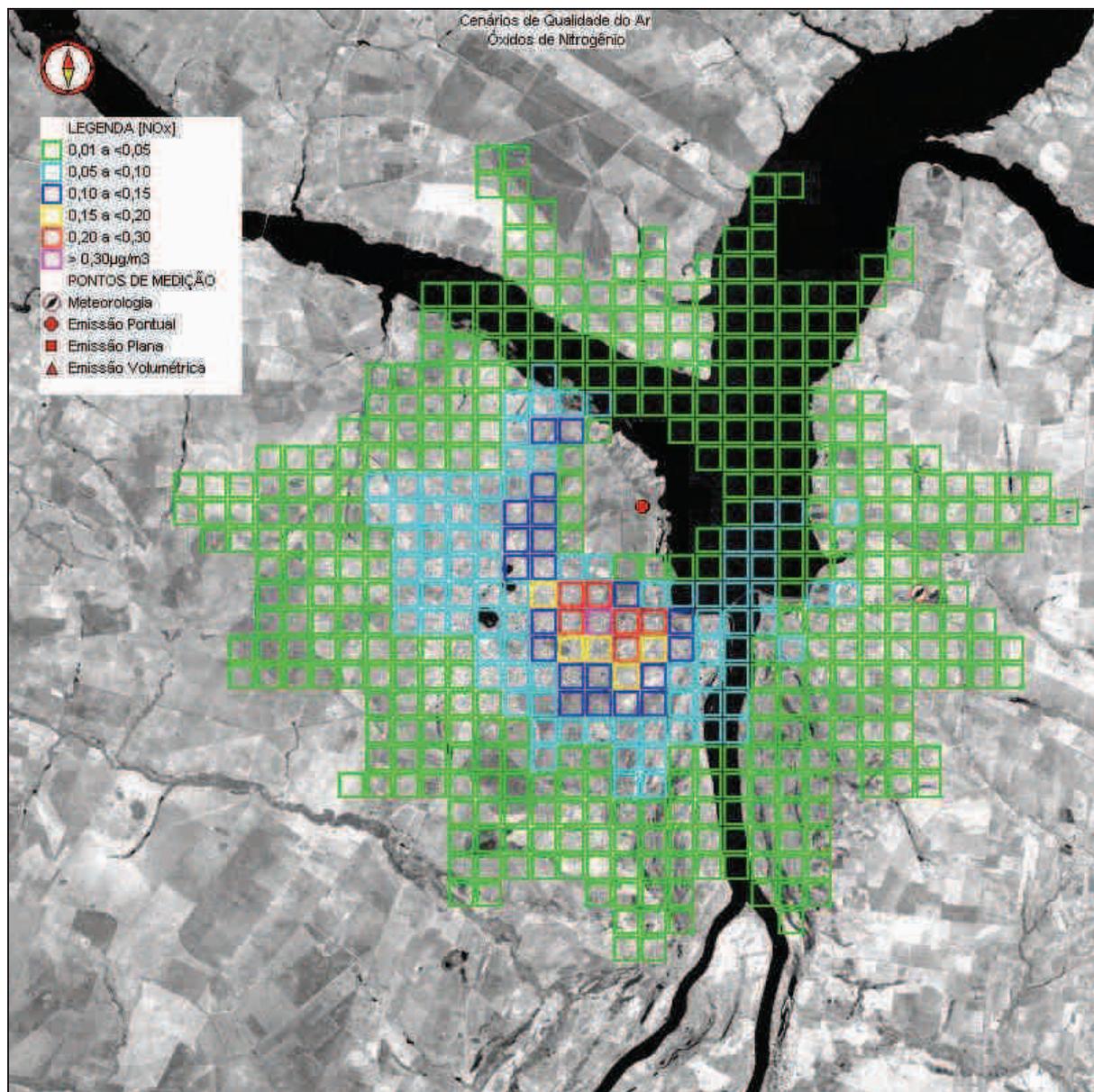


Figura 7.3.4-13: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Óxidos de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase I (ciclo aberto).

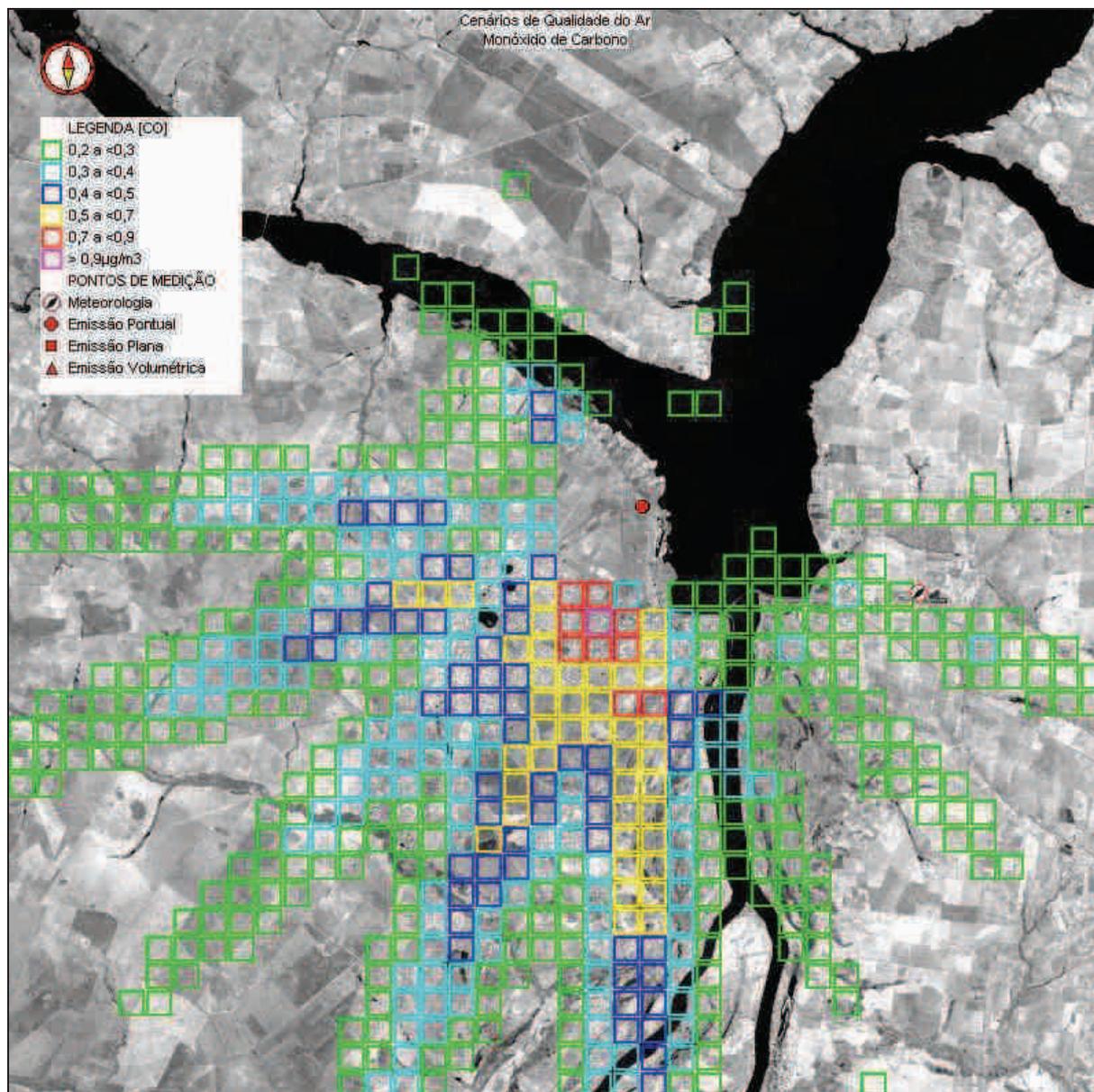


Figura 7.3.4-14: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Monóxido de Carbono considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase I (ciclo aberto).

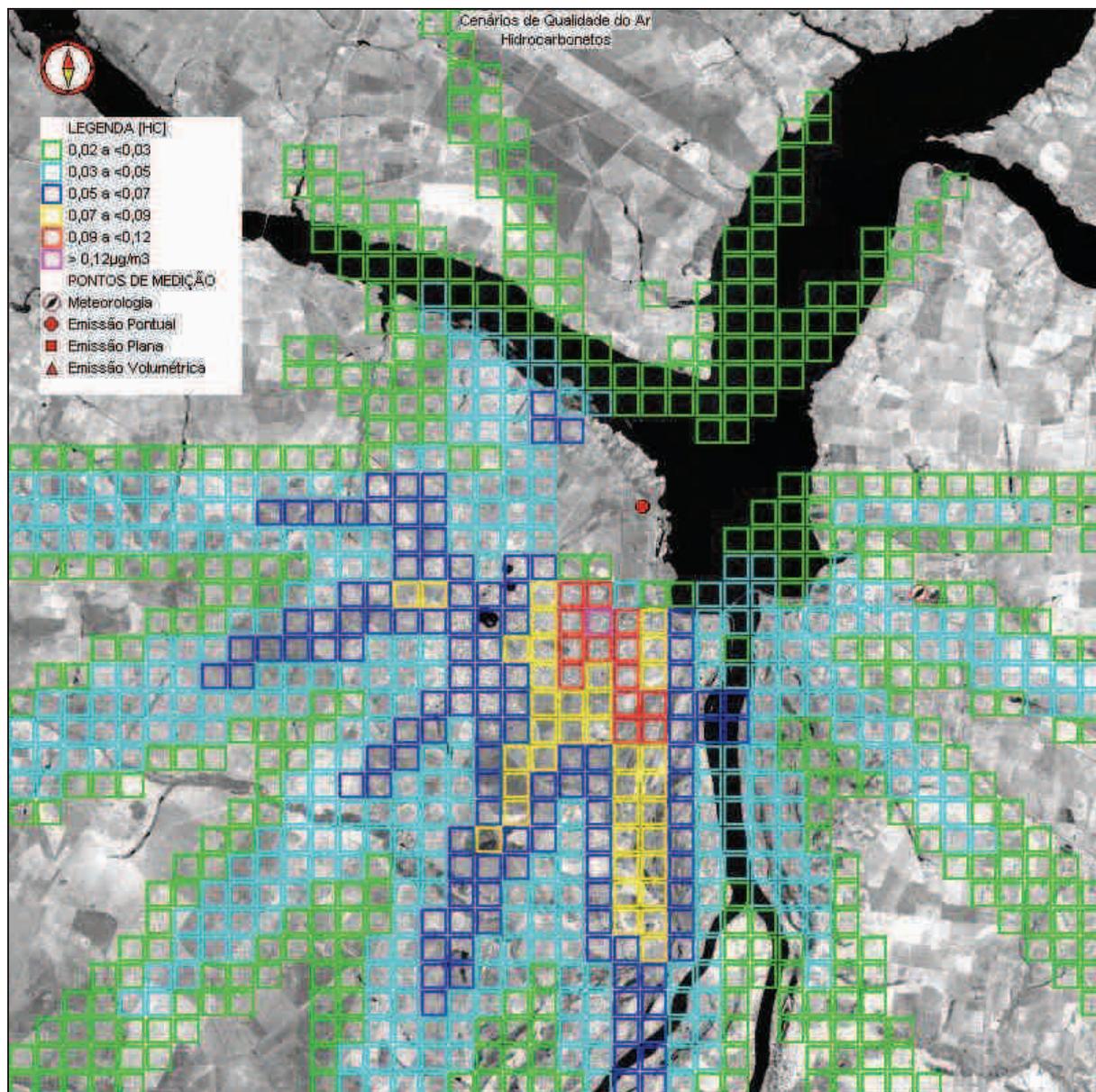


Figura 7.3.4-15: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Hidrocarbonetos considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase I (ciclo aberto).

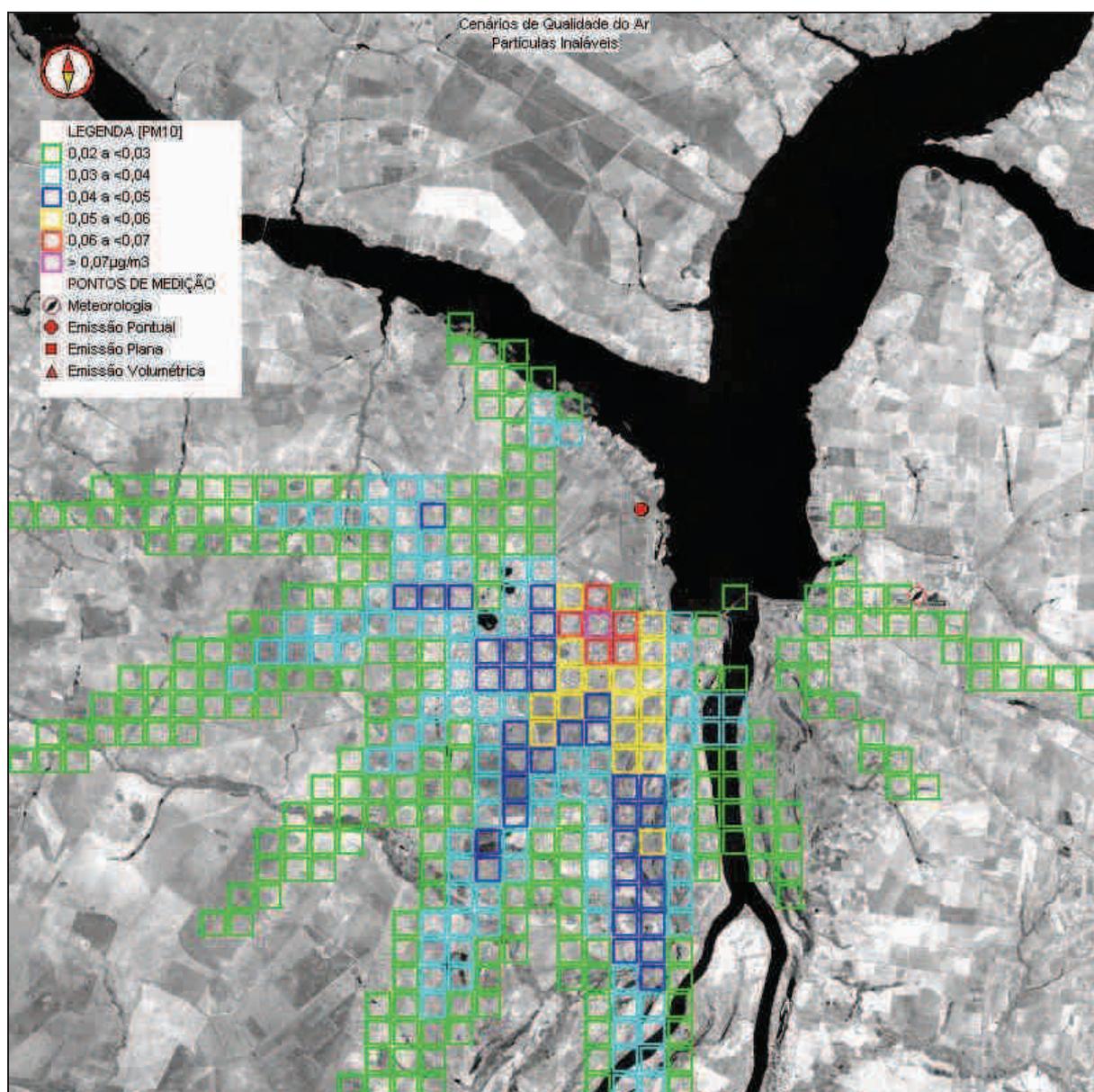


Figura 7.3.4-16: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Partículas Inaláveis considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase I (ciclo aberto).

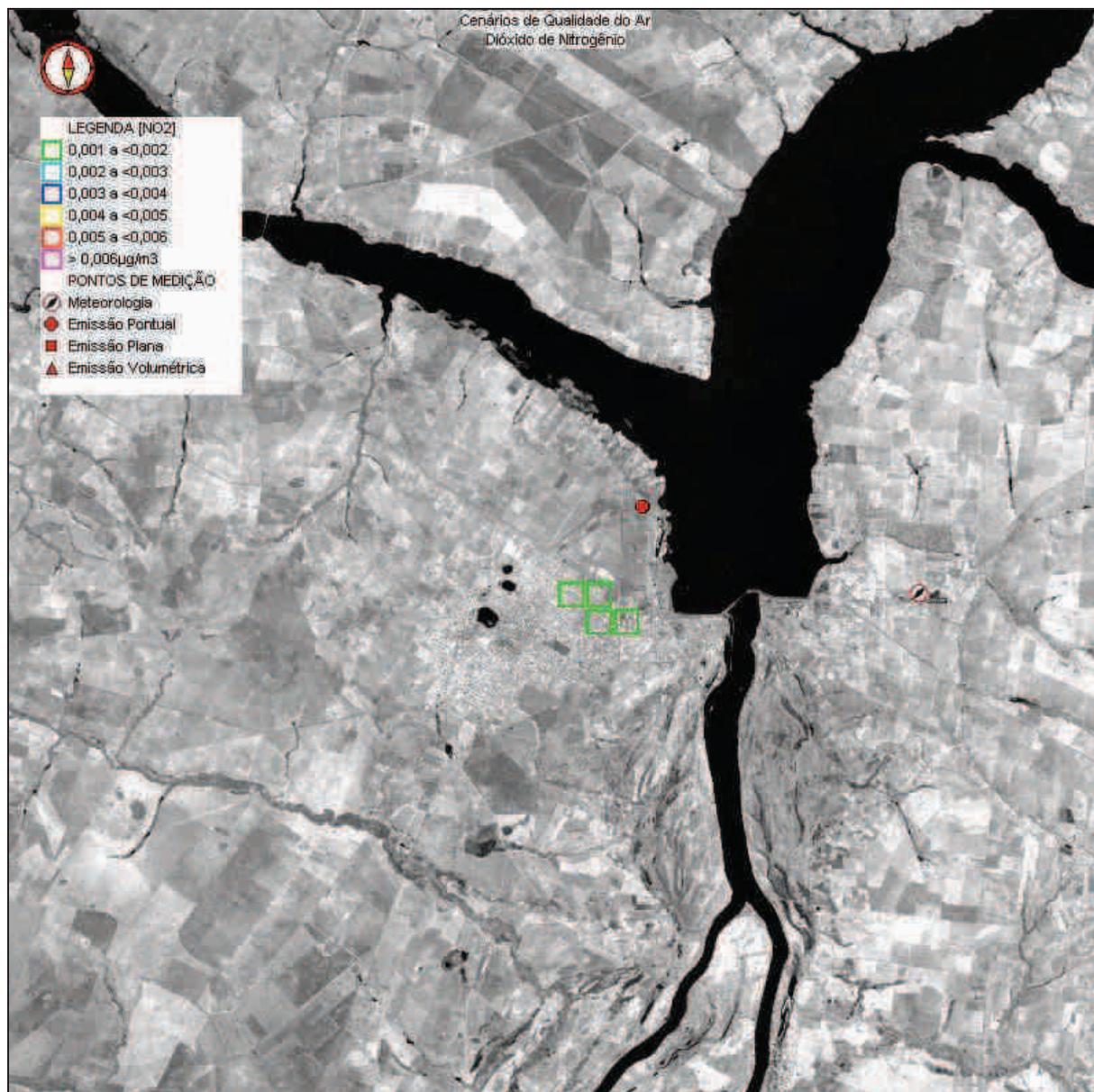
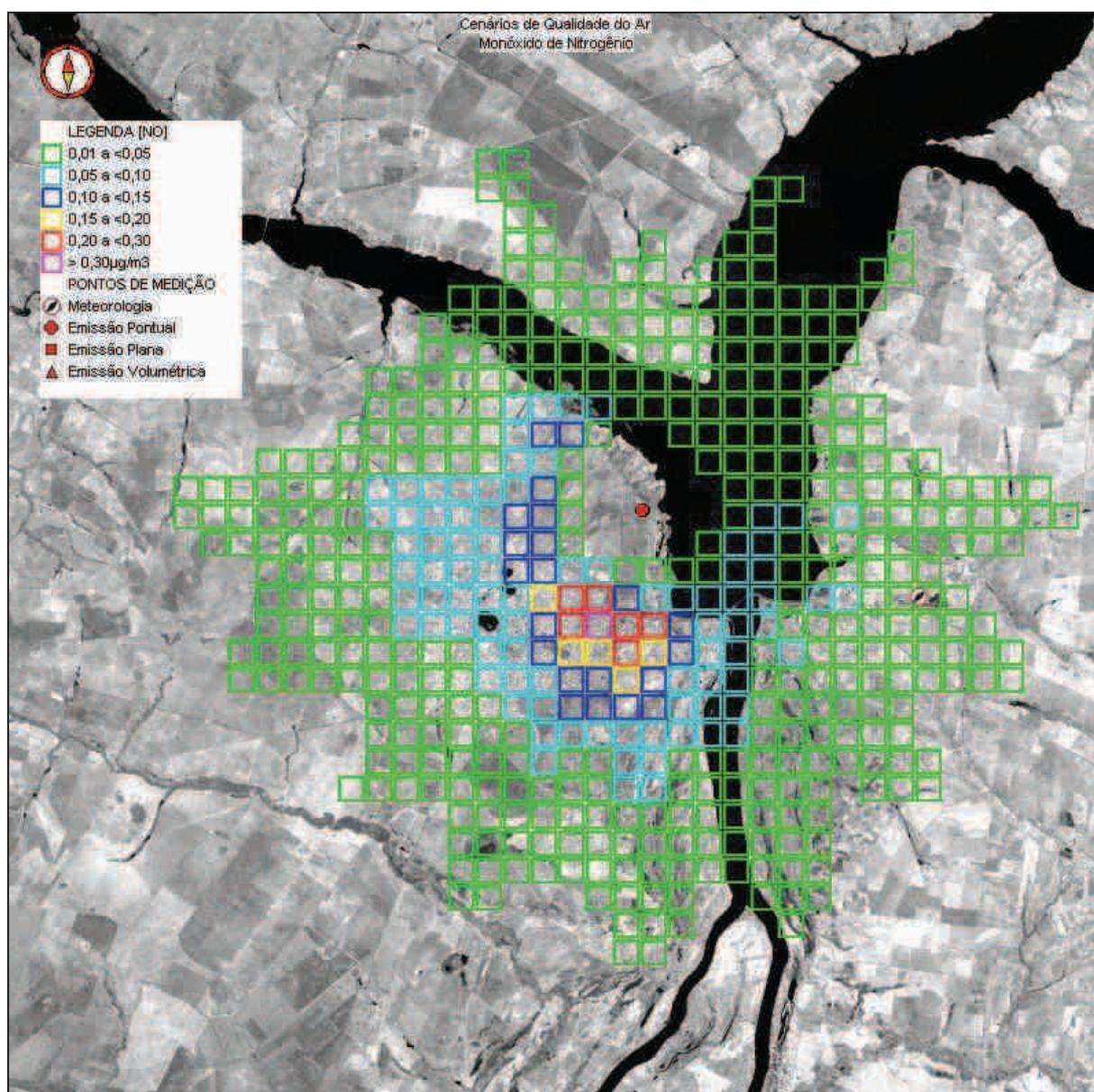
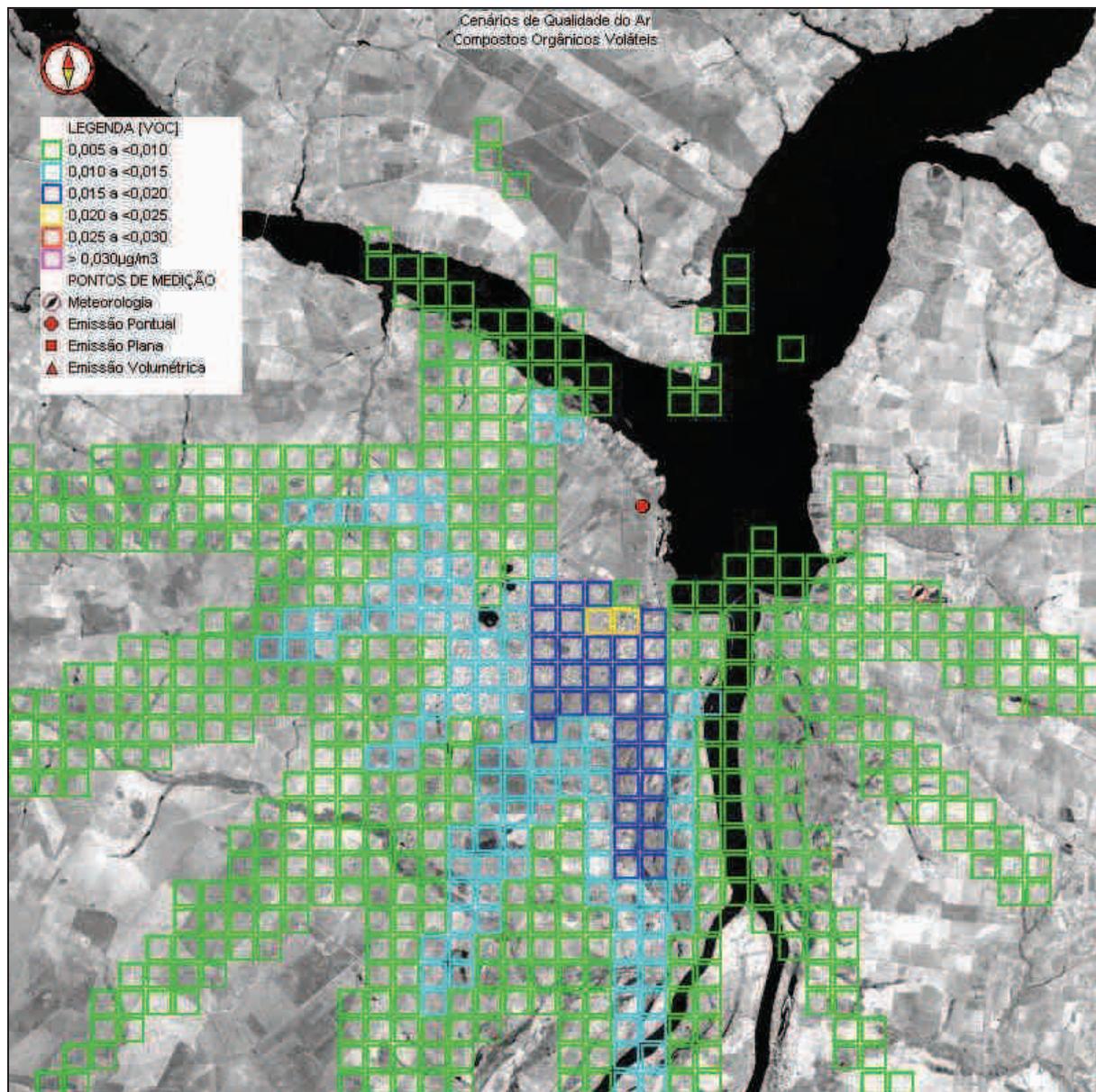


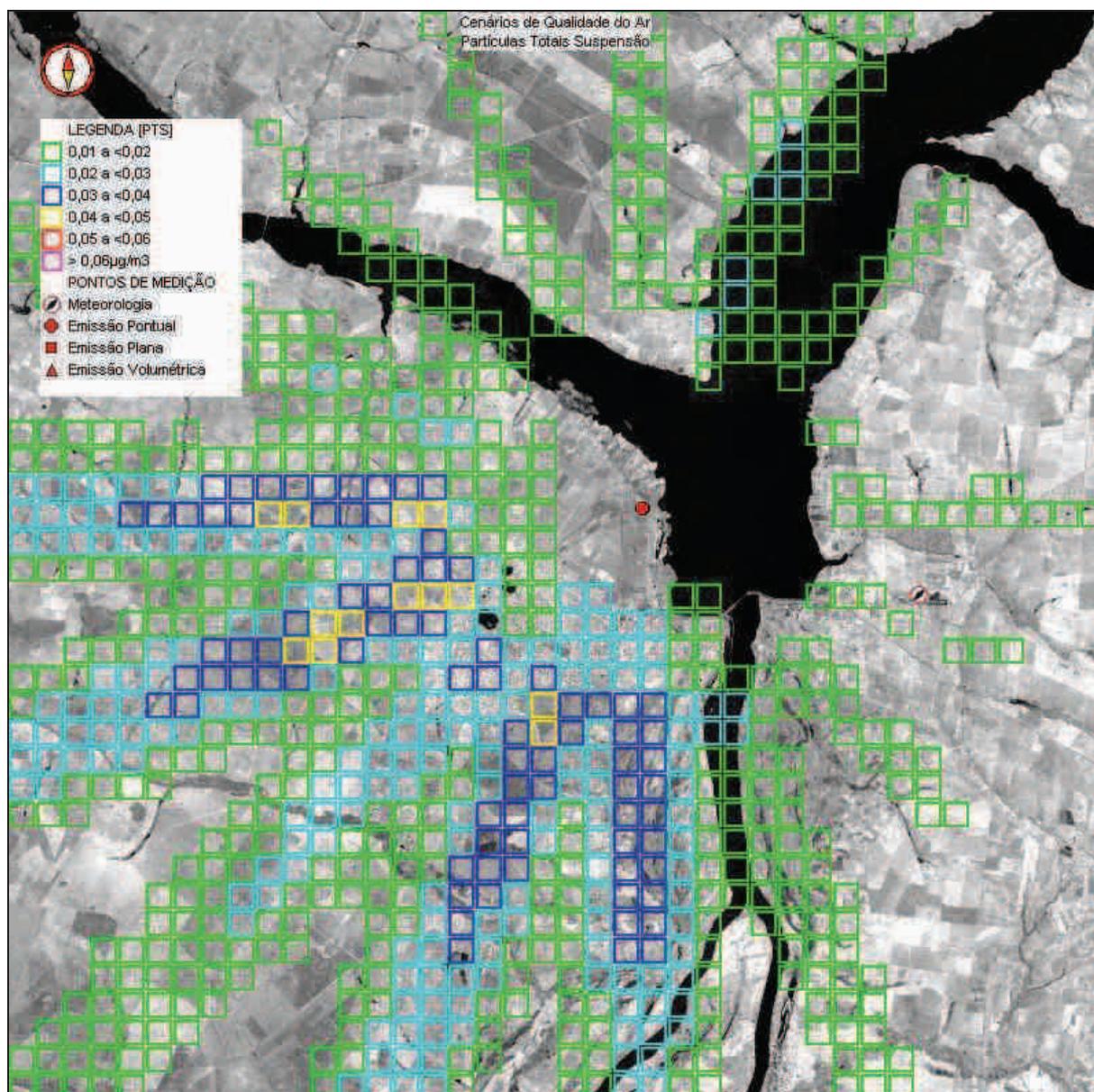
Figura 7.3.4-17: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Dióxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase I (ciclo aberto).



**Figura 7.3.4-18: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Monóxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase I (ciclo aberto).**



**Figura 7.3.4-19: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Compostos Orgânicos Voláteis considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase I (ciclo aberto).**



**Figura 7.3.4-20: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Partículas Totais em Suspensão considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**

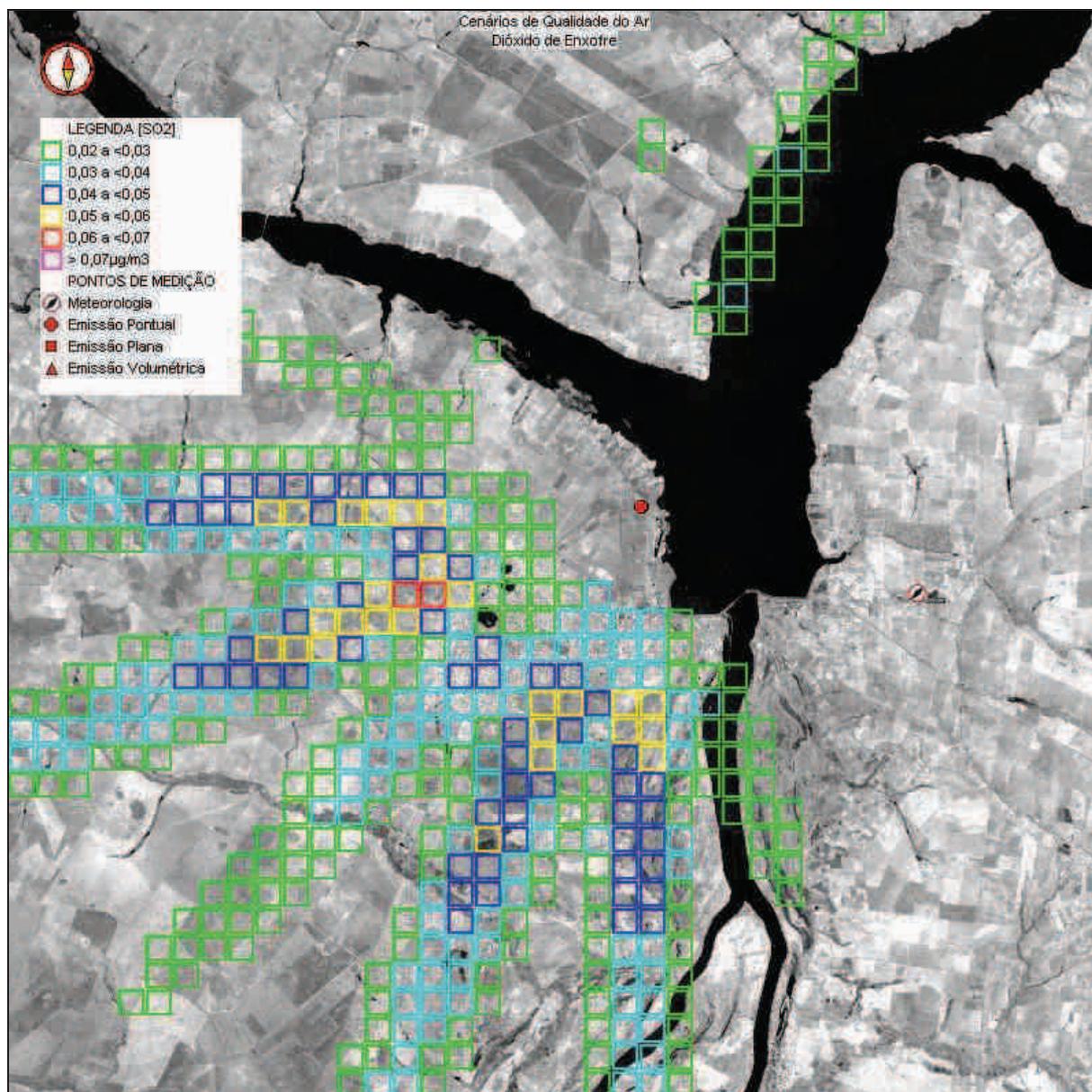


Figura 7.3.4-21: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Dióxido de Enxofre considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).

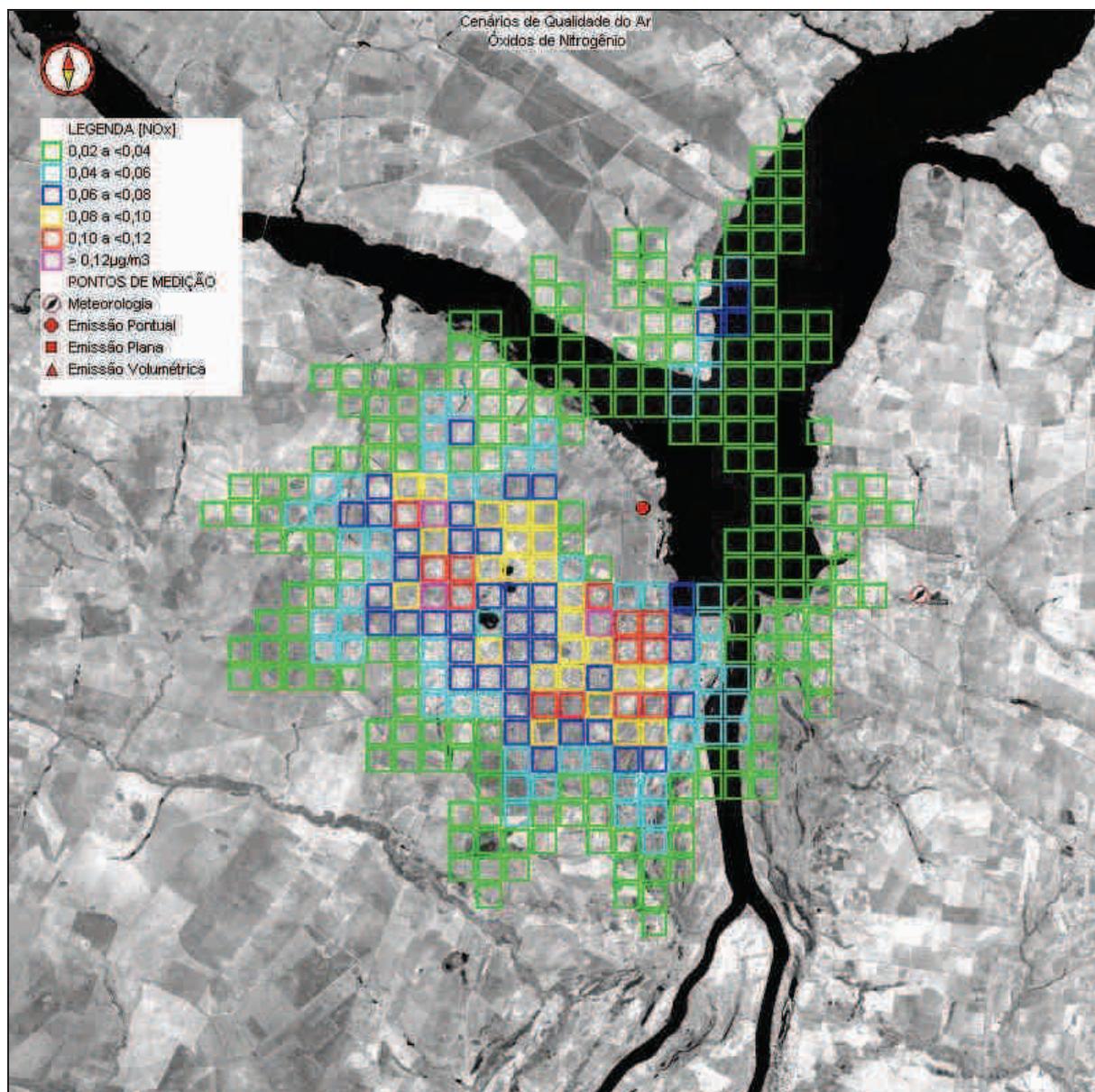
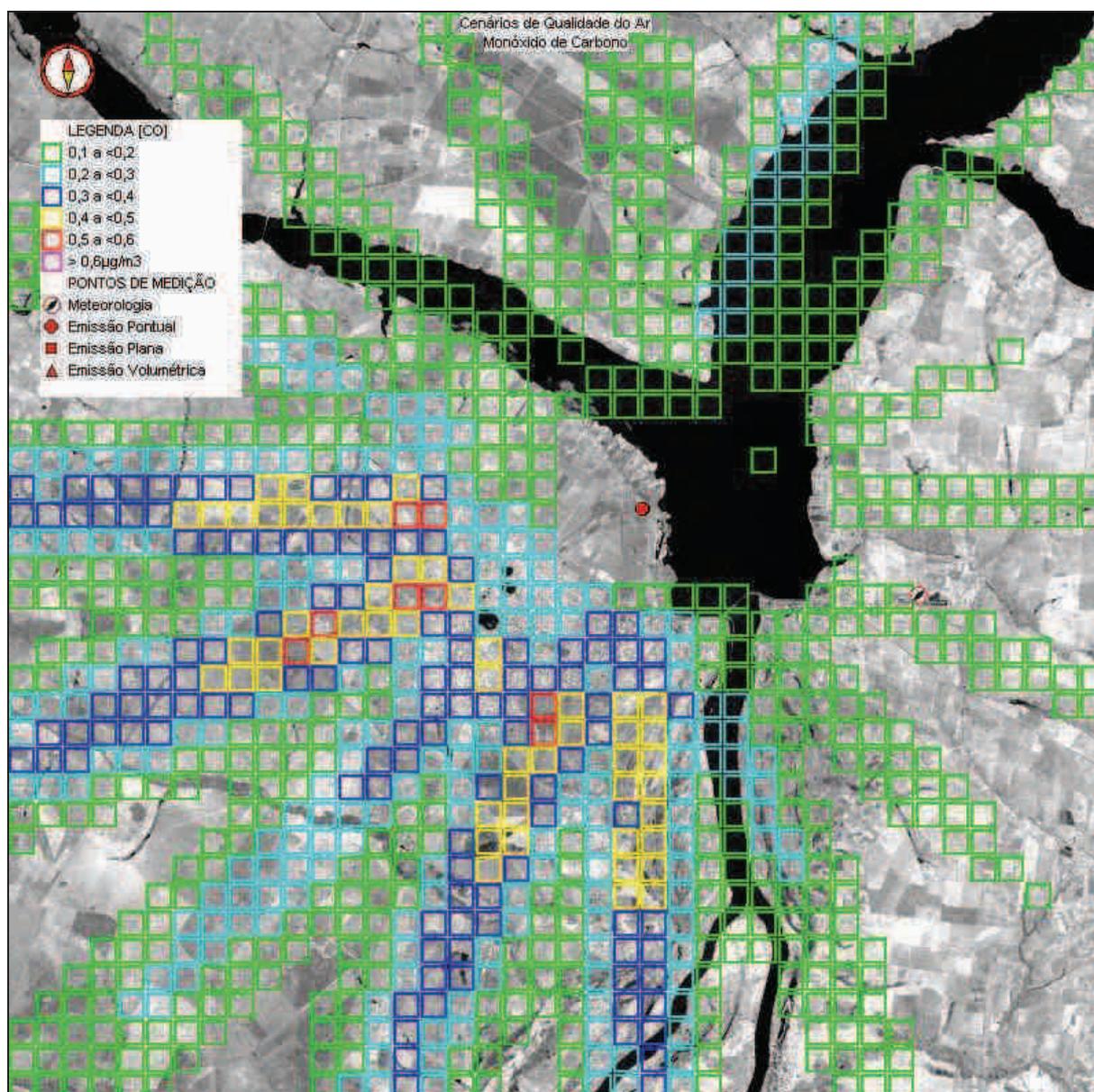
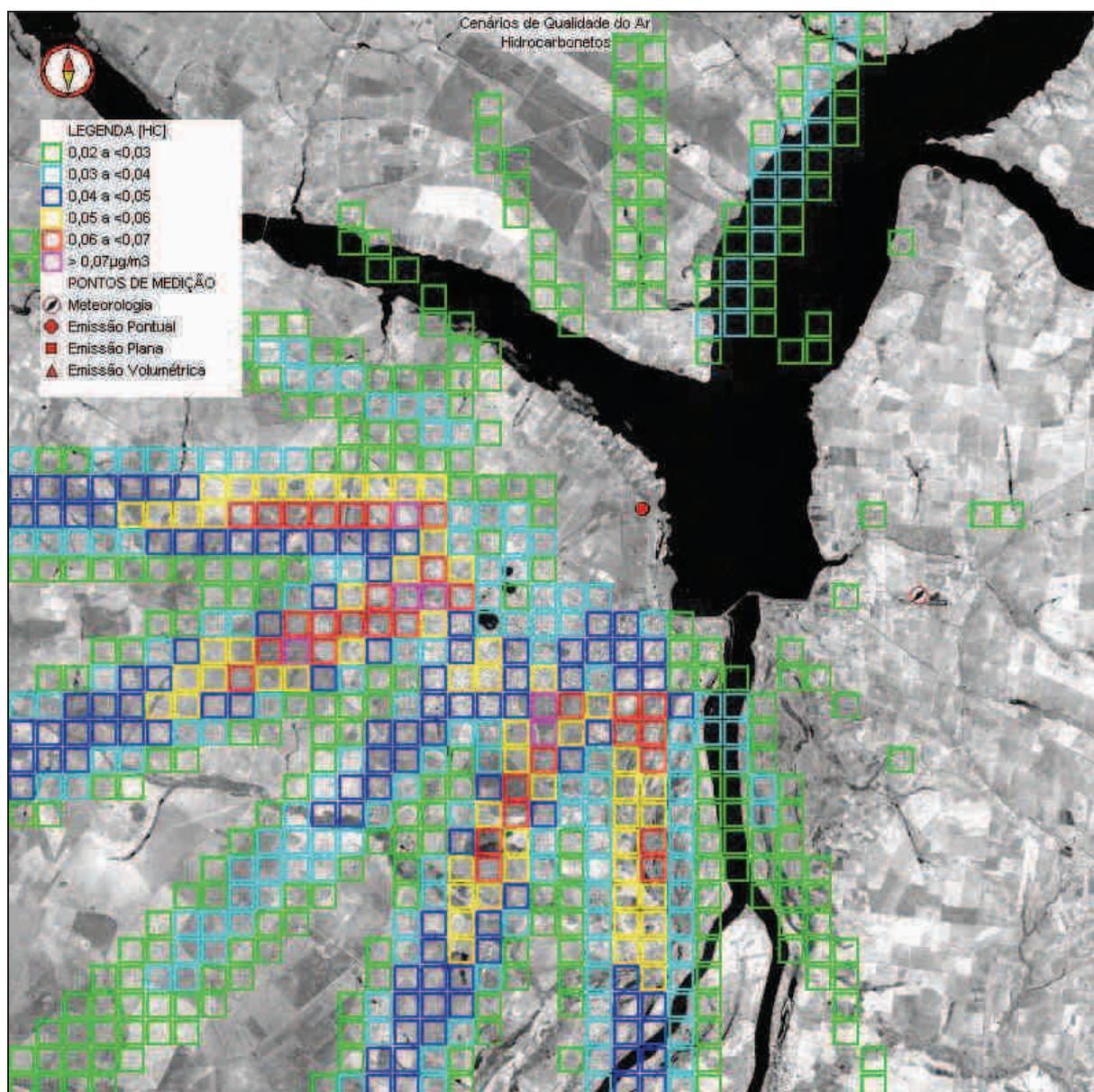


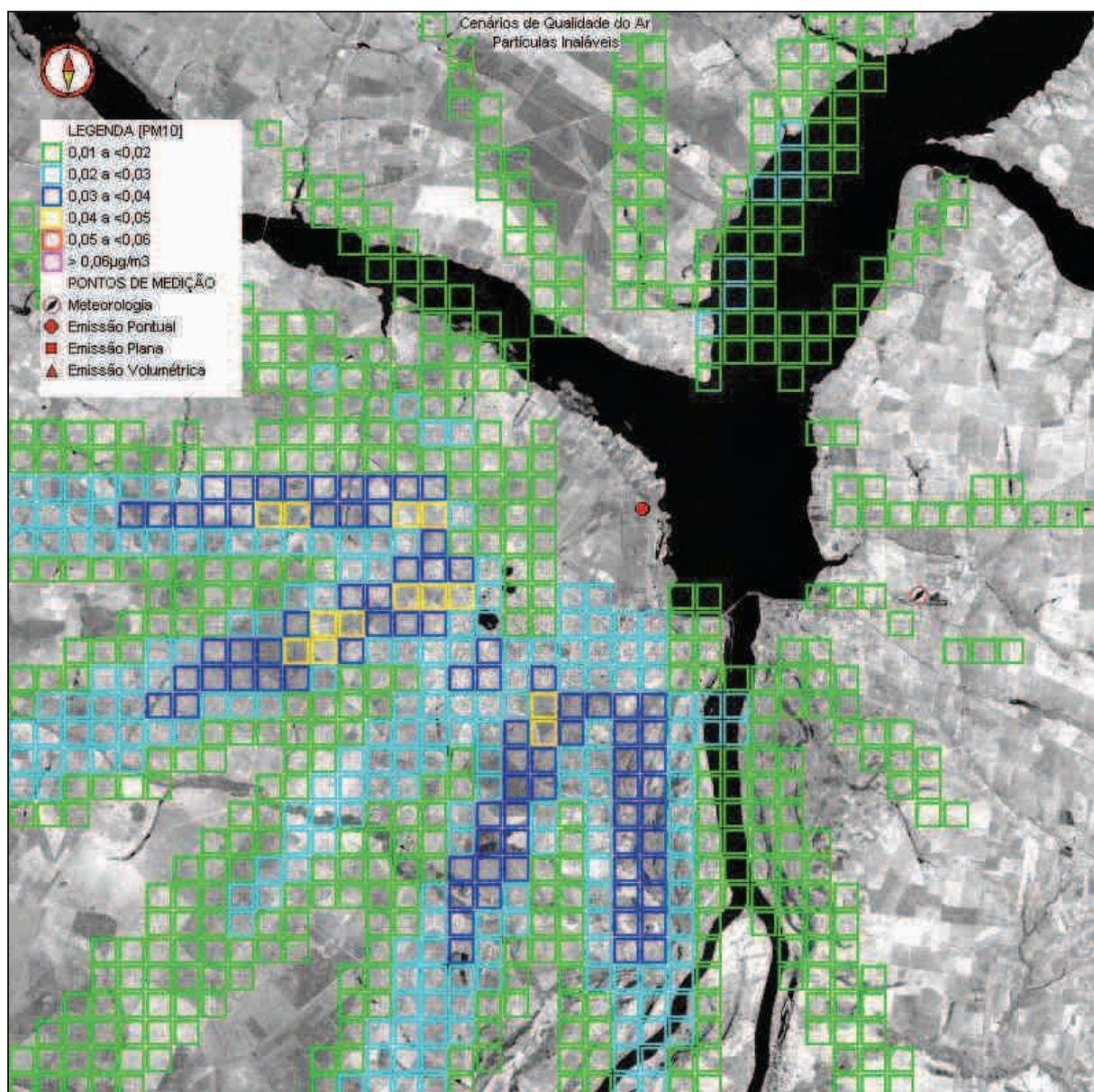
Figura 7.3.4-22: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Óxidos de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).



**Figura 7.3.4-23: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Monóxido de Carbono considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**



**Figura 7.3.4-24: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Hidrocarbonetos considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**



**Figura 7.3.4-25: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Partículas Inaláveis considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).**

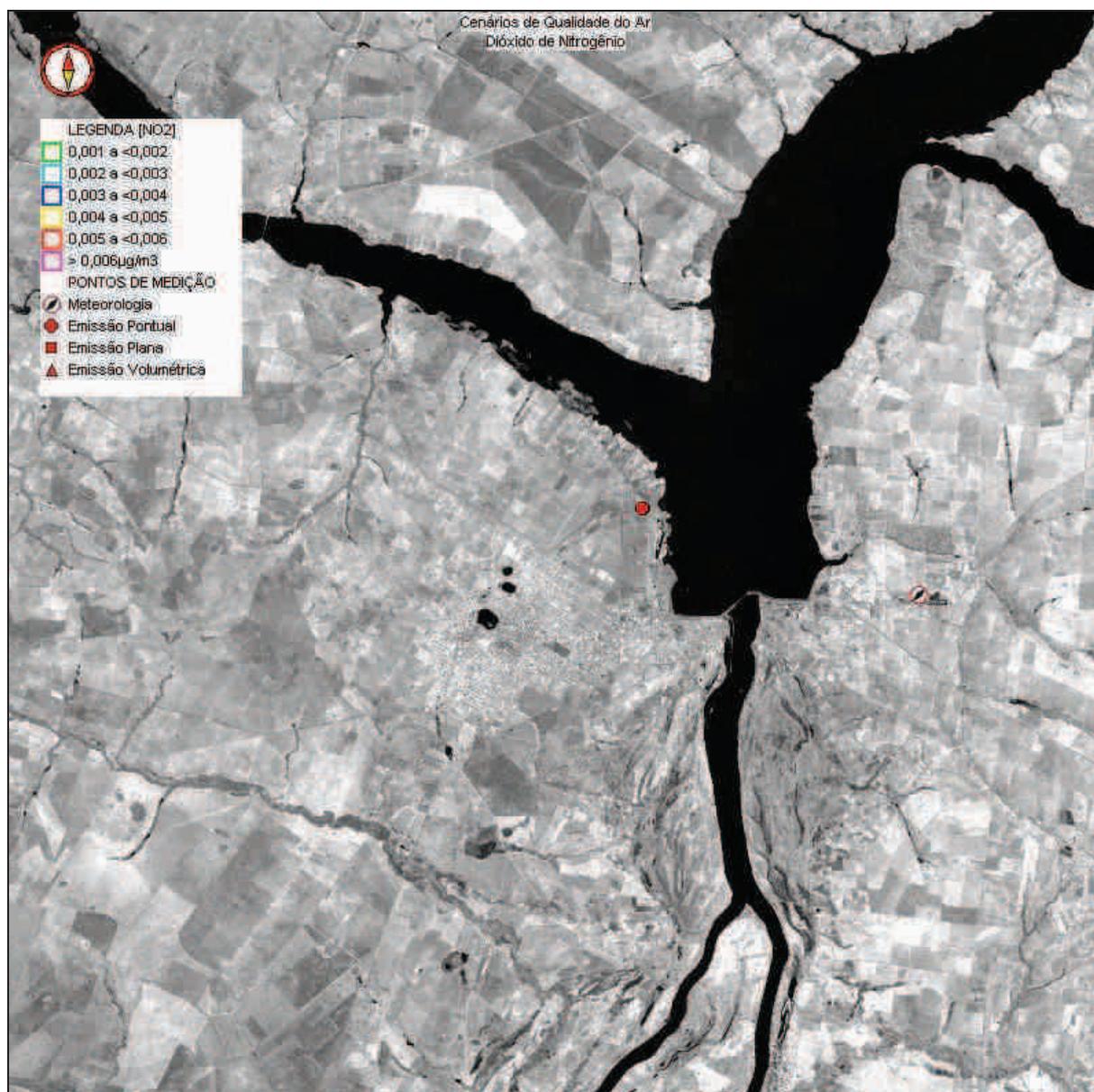


Figura 7.3.4-26: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Dióxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).

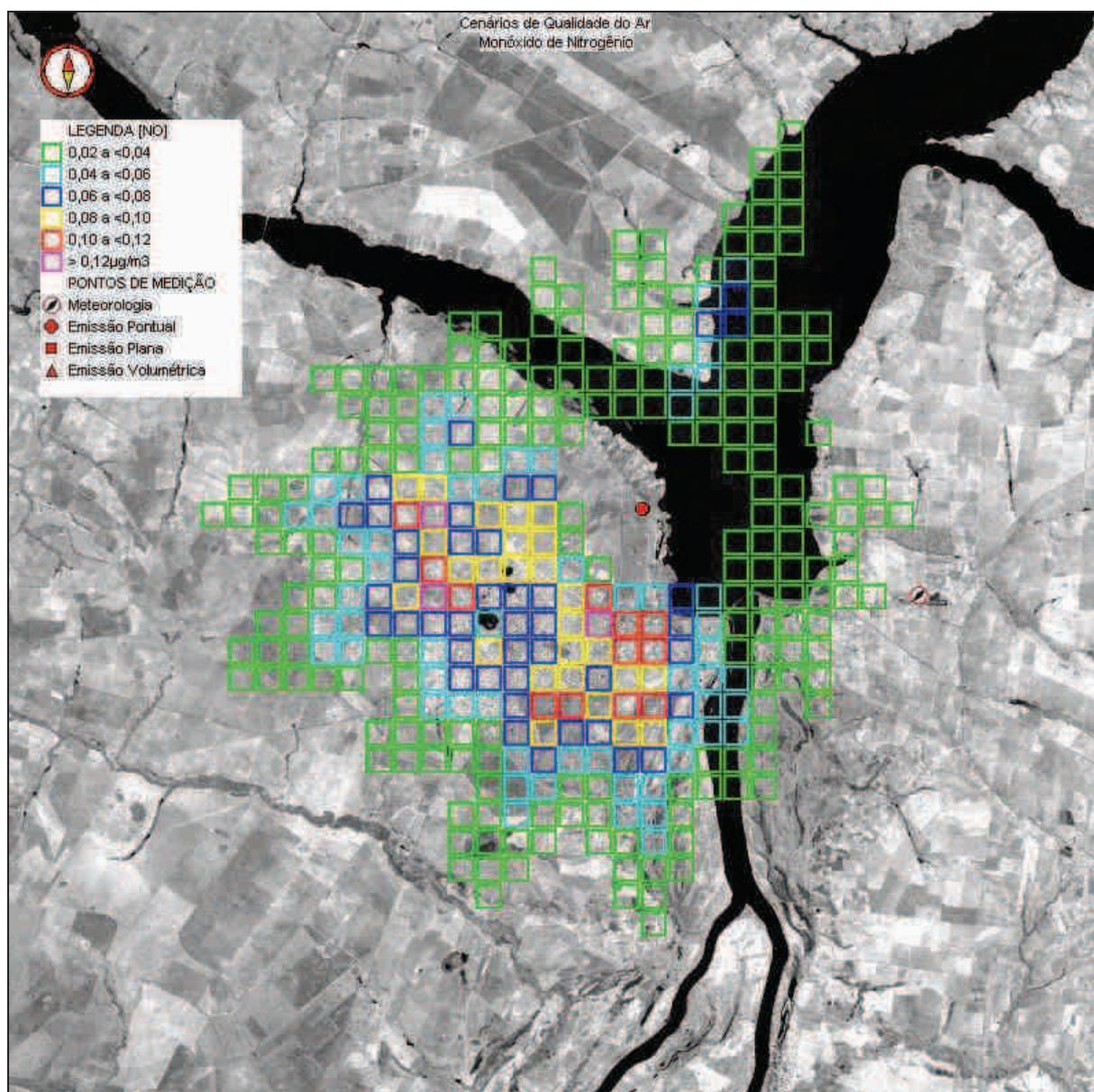


Figura 7.3.4-27: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Monóxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).

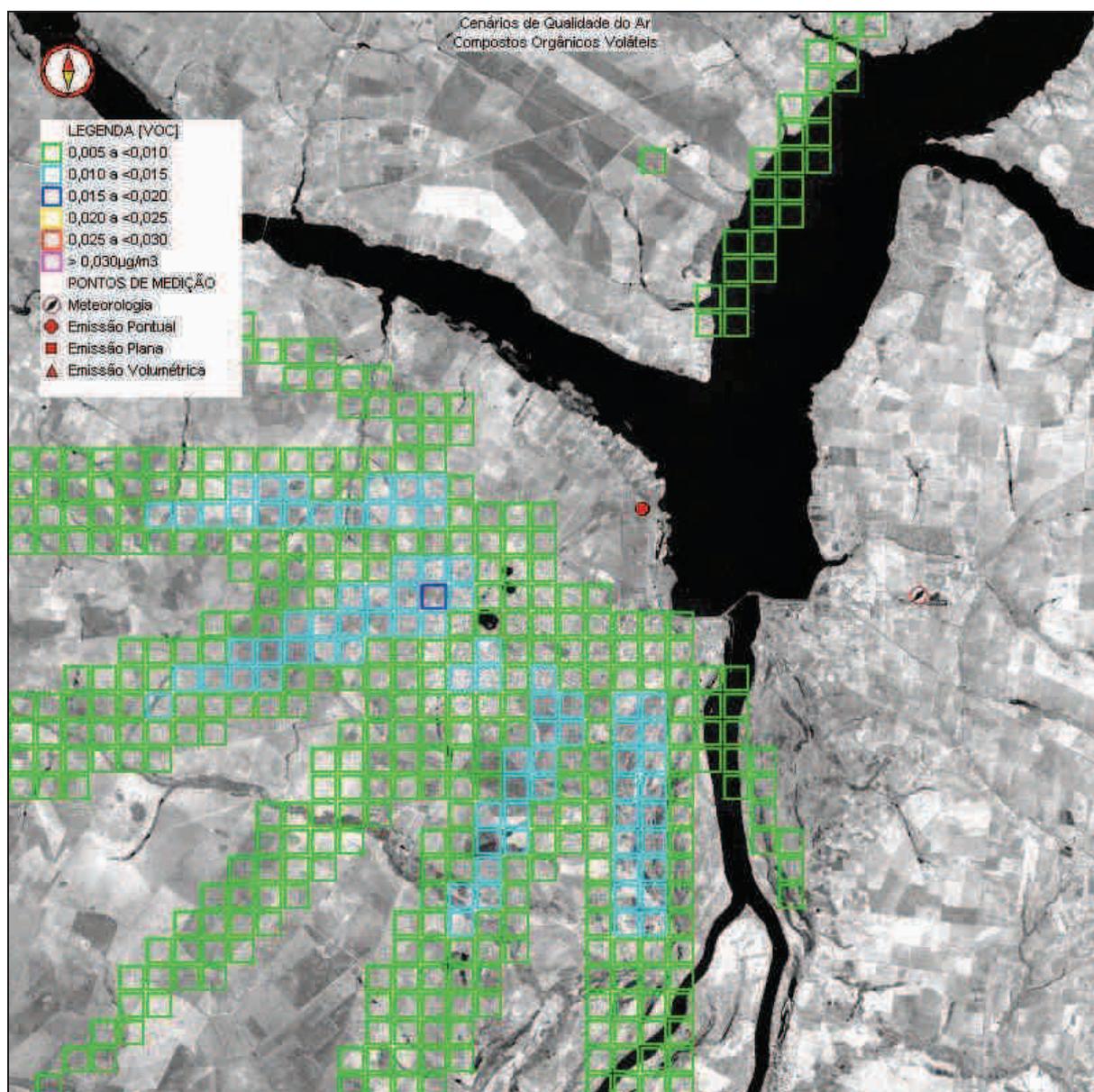
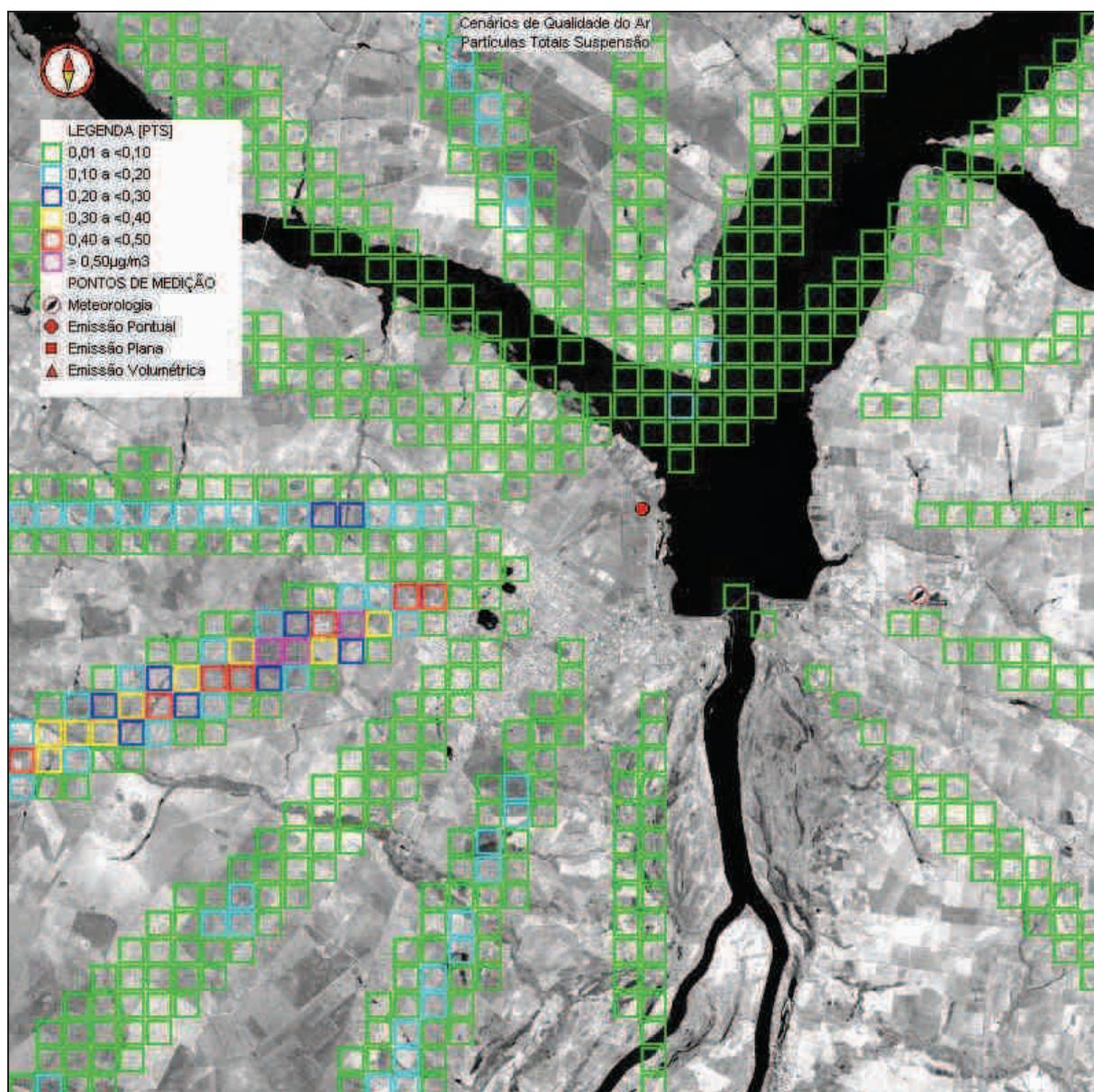


Figura 7.3.4-28: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Compostos Orgânicos Voláteis considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase I (ciclo aberto).



**Figura 7.3.4-29: Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Partículas Totais em Suspensão considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).**

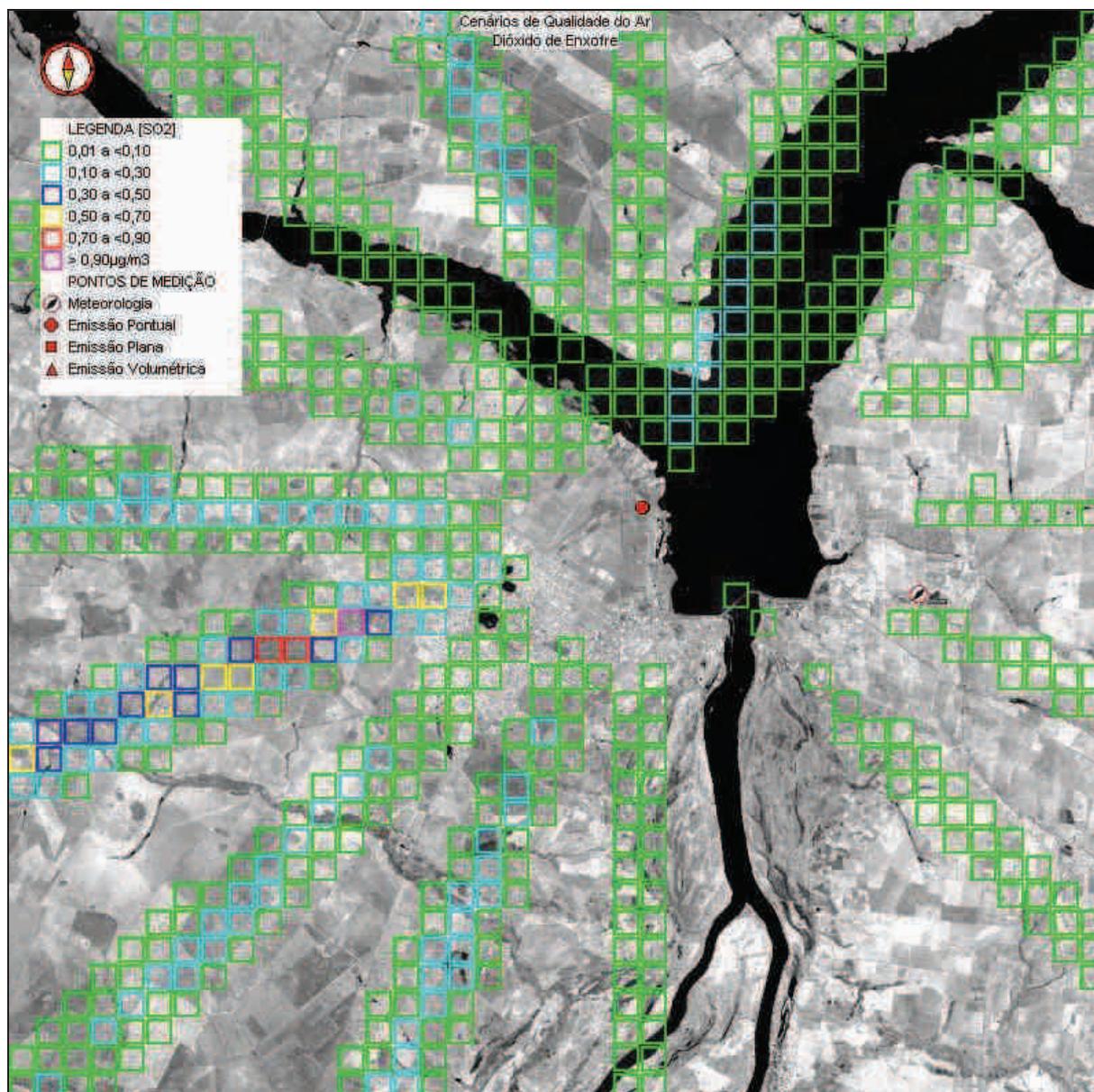


Figura 7.3.4-30: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Dióxido de Enxofre considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).

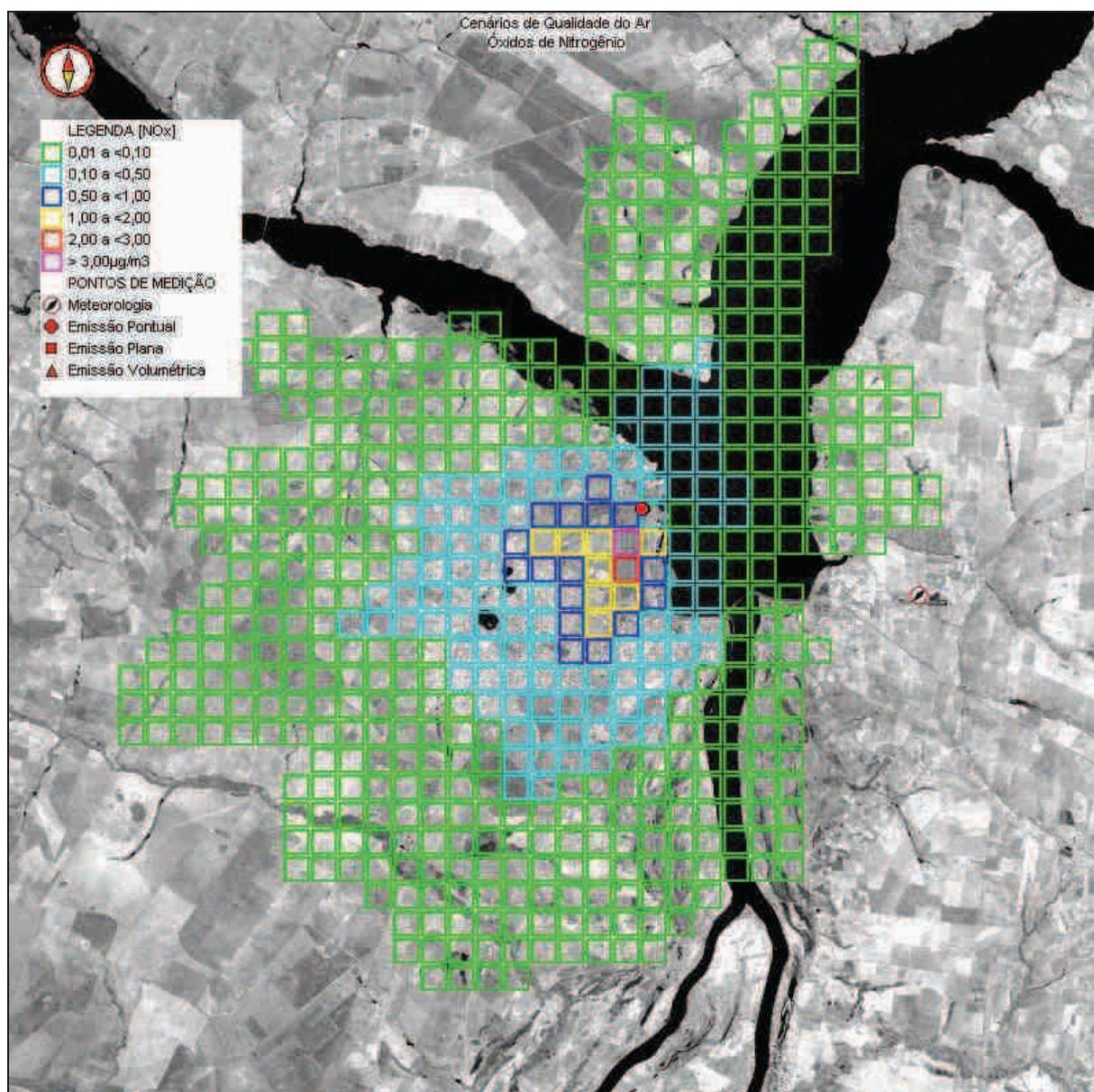
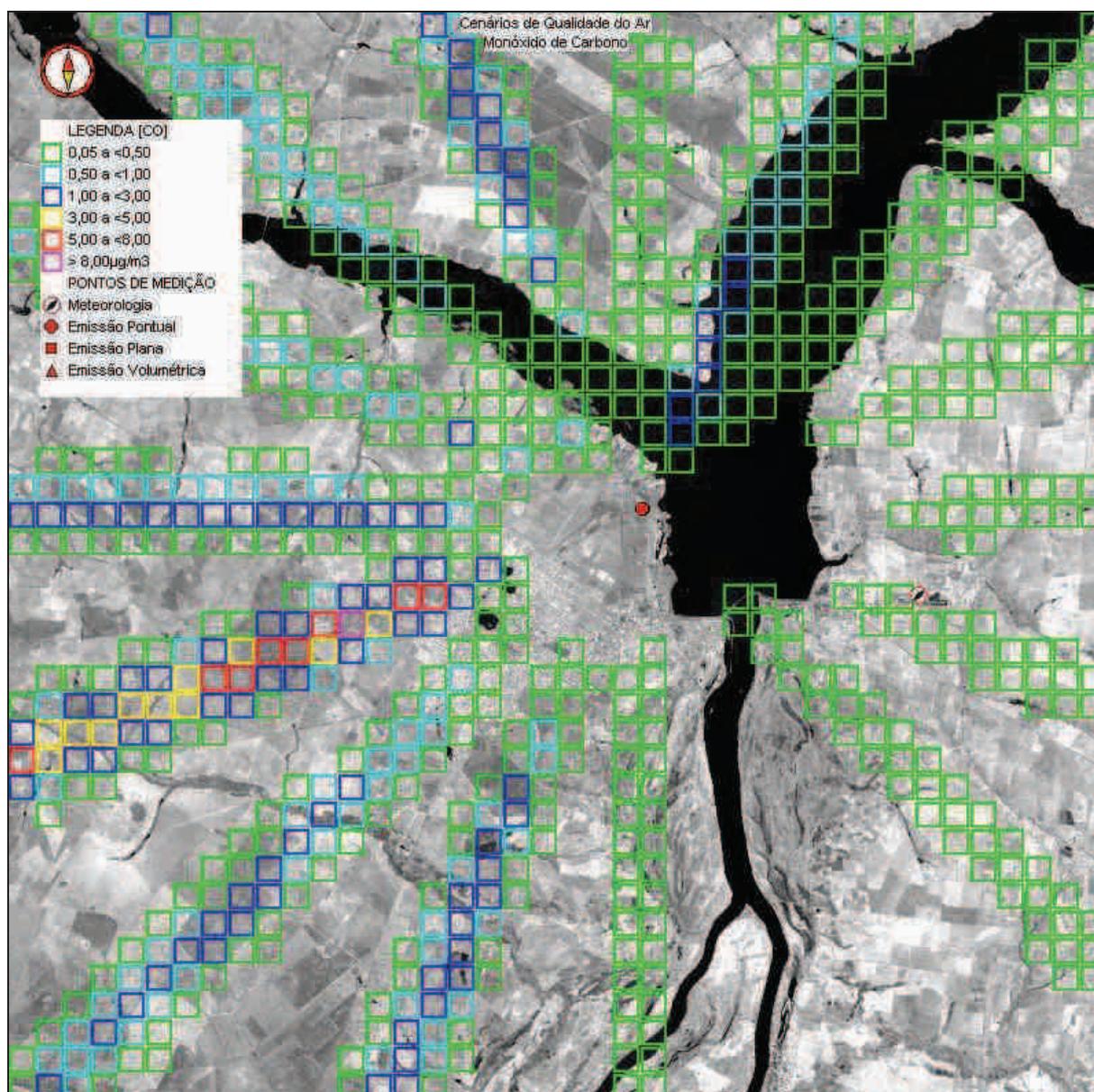


Figura 7.3.4-31: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Óxidos de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).



**Figura 7.3.4-32: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Monóxido de Carbono considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).**

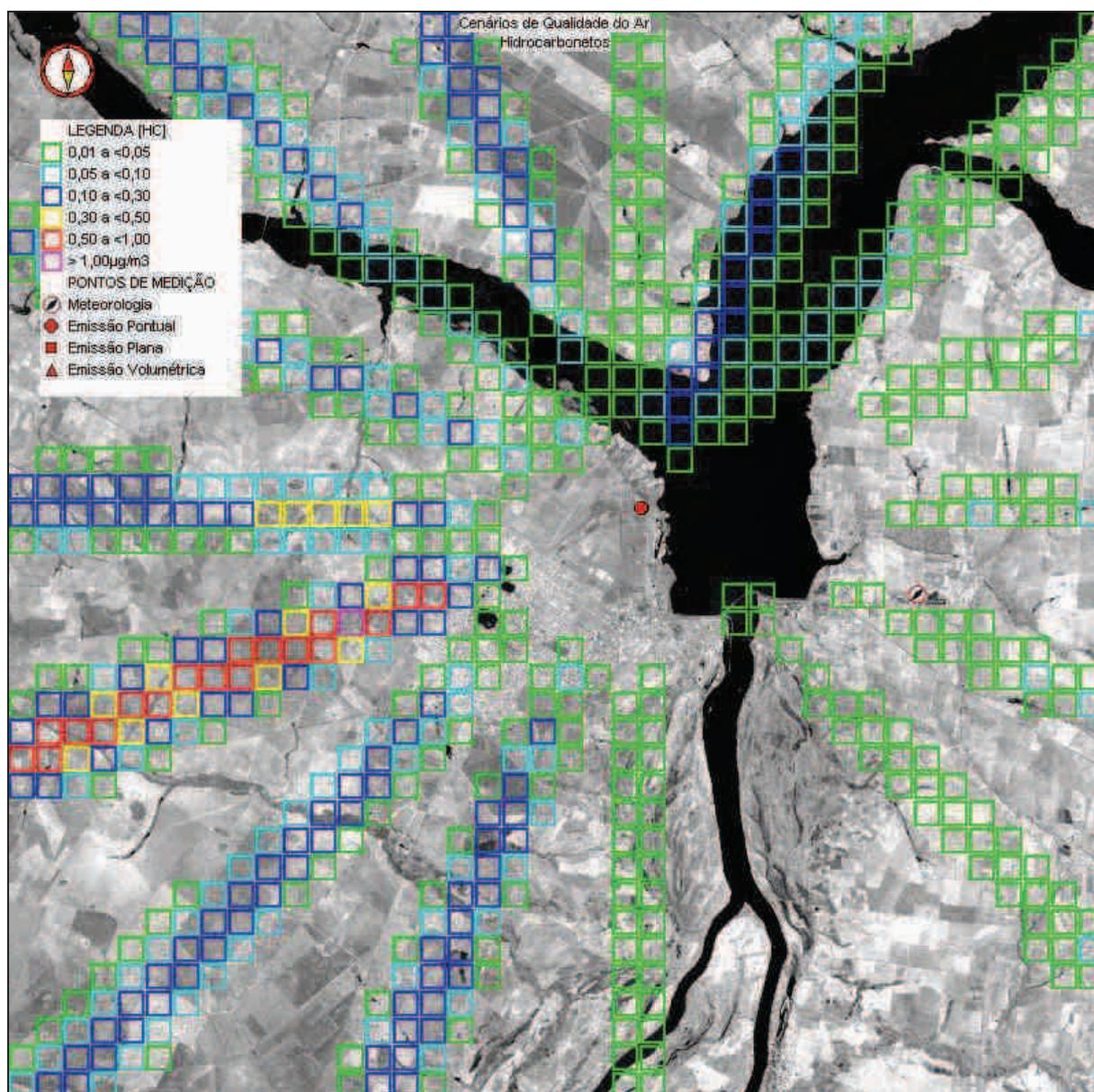
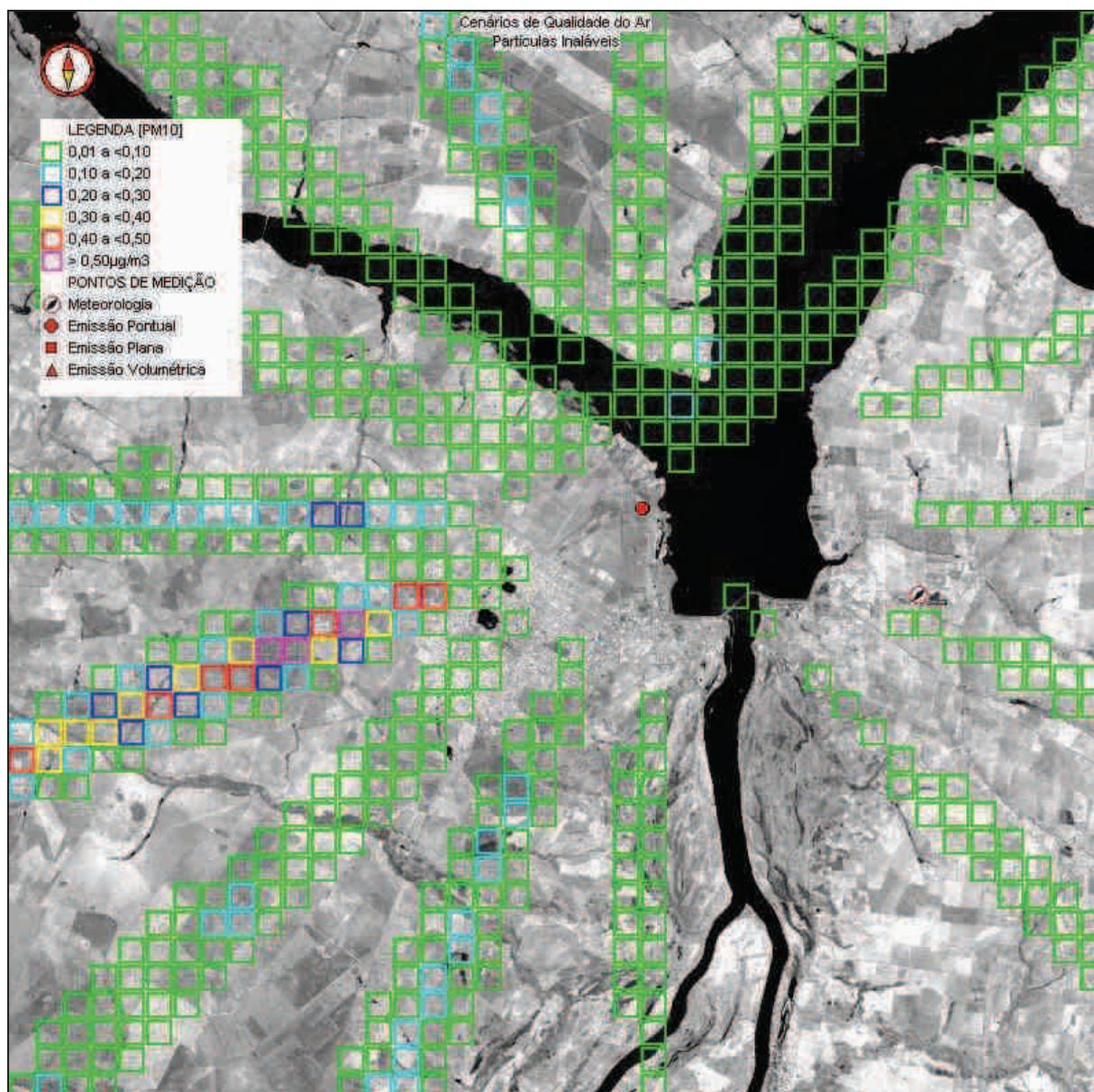


Figura 7.3.4-33: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Hidrocarbonetos considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).



**Figura 7.3.4-34: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Partículas Inaláveis considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).**

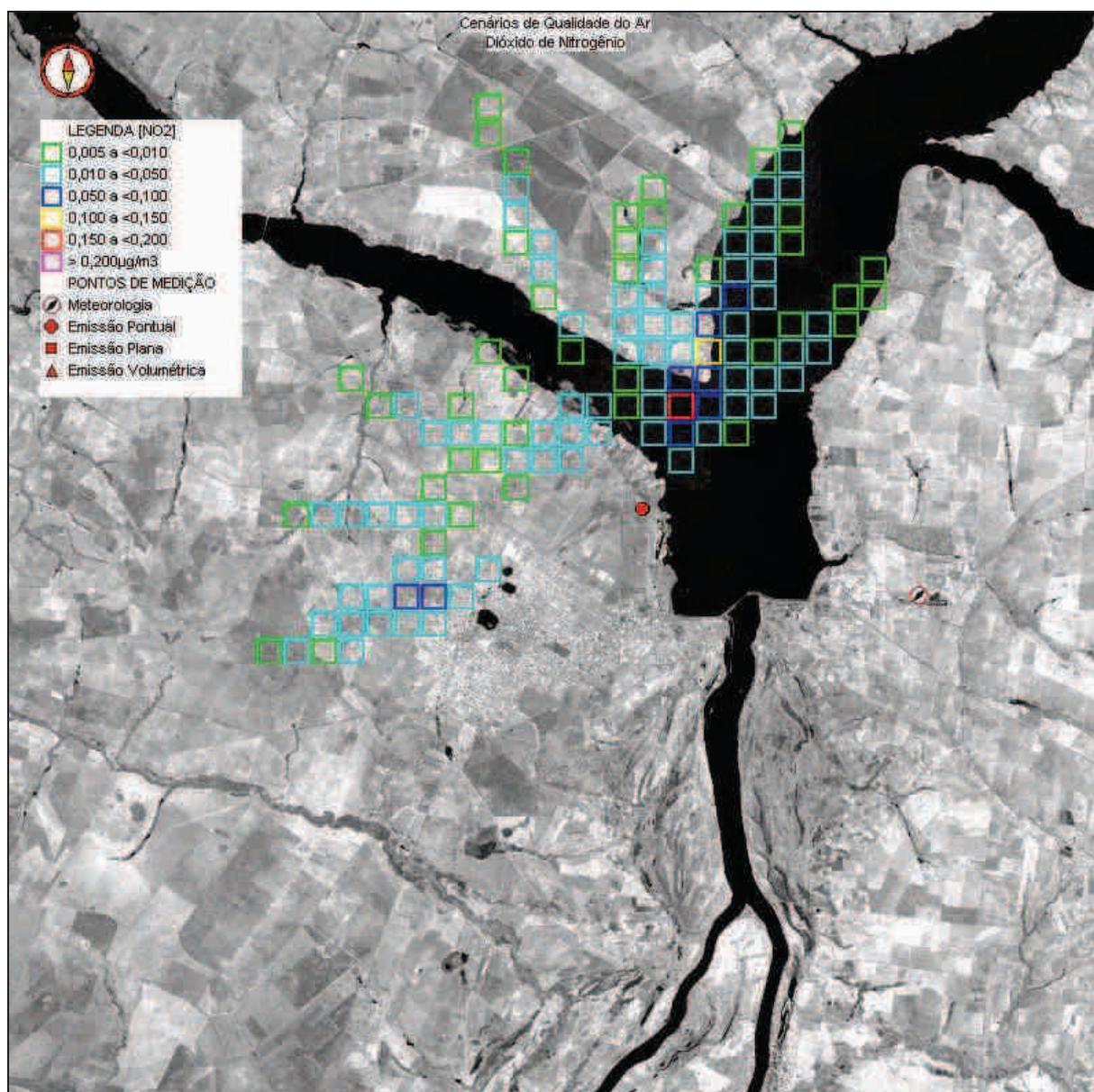
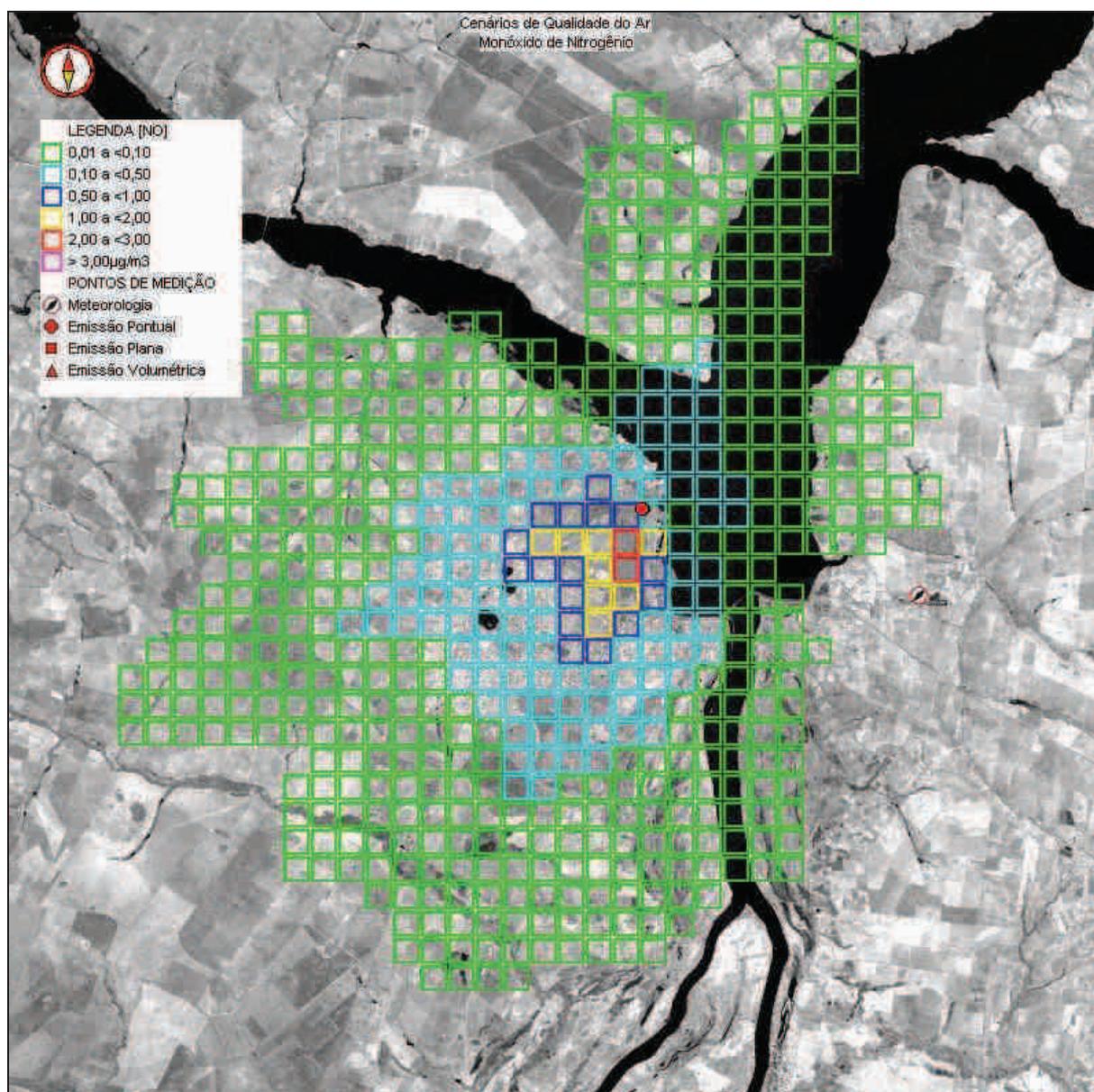


Figura 7.3.4-35: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Dióxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).



**Figura 7.3.4-36: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Monóxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).**

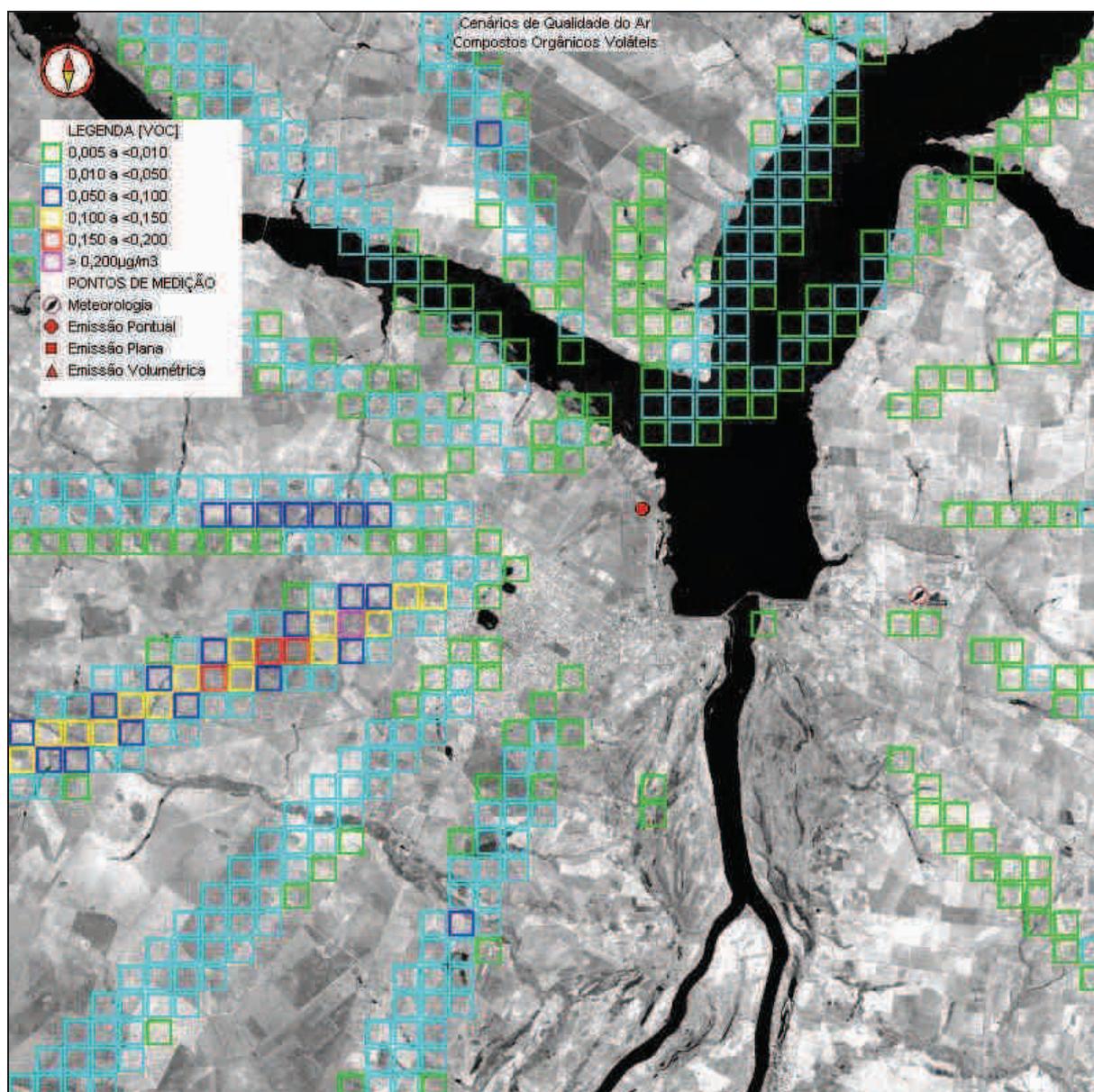
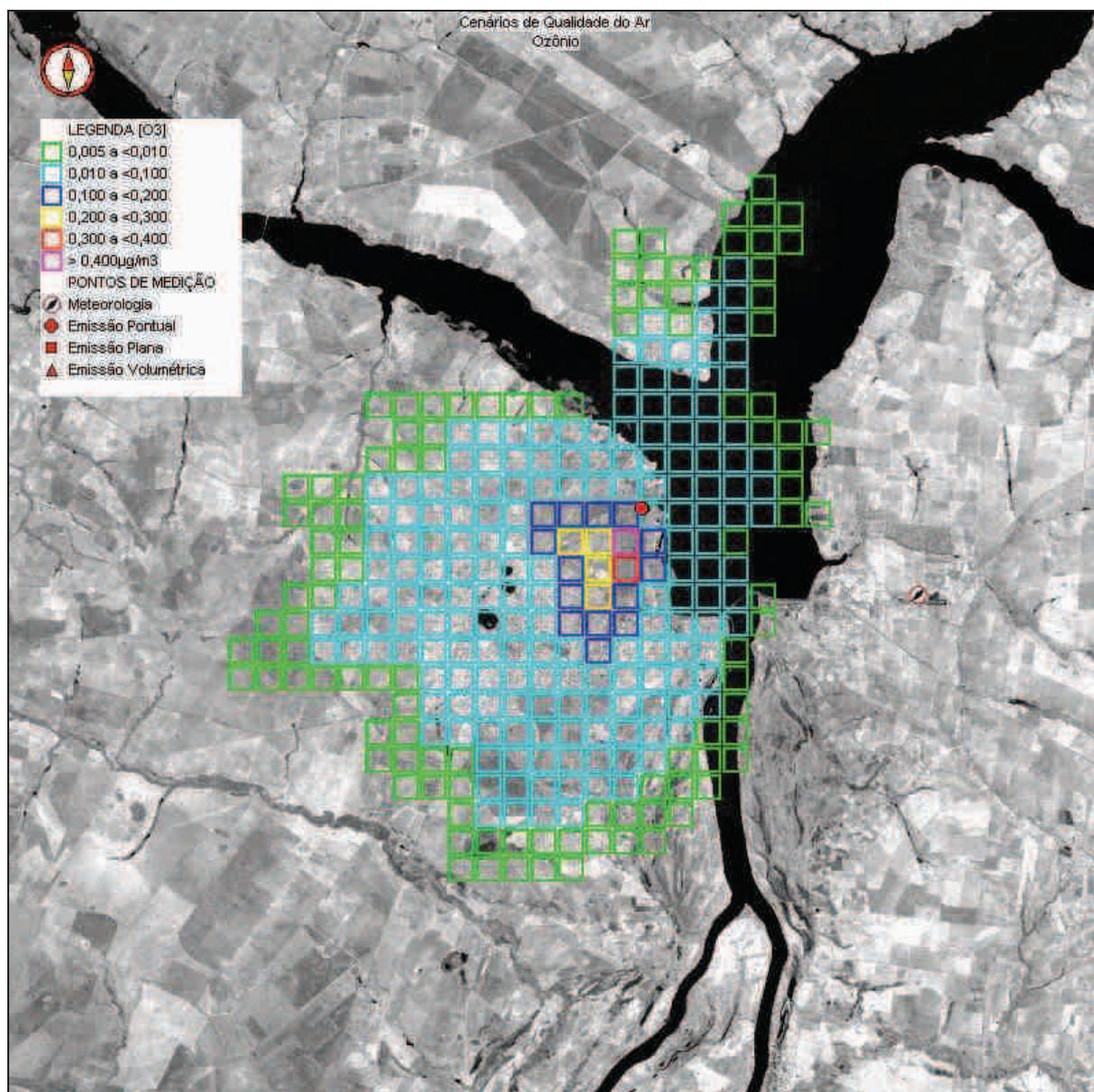


Figura 7.3.4-37: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Compostos Orgânicos Voláteis considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).



**Figura 7.3.4-38: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Horário nas Concentrações de Ozônio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).**

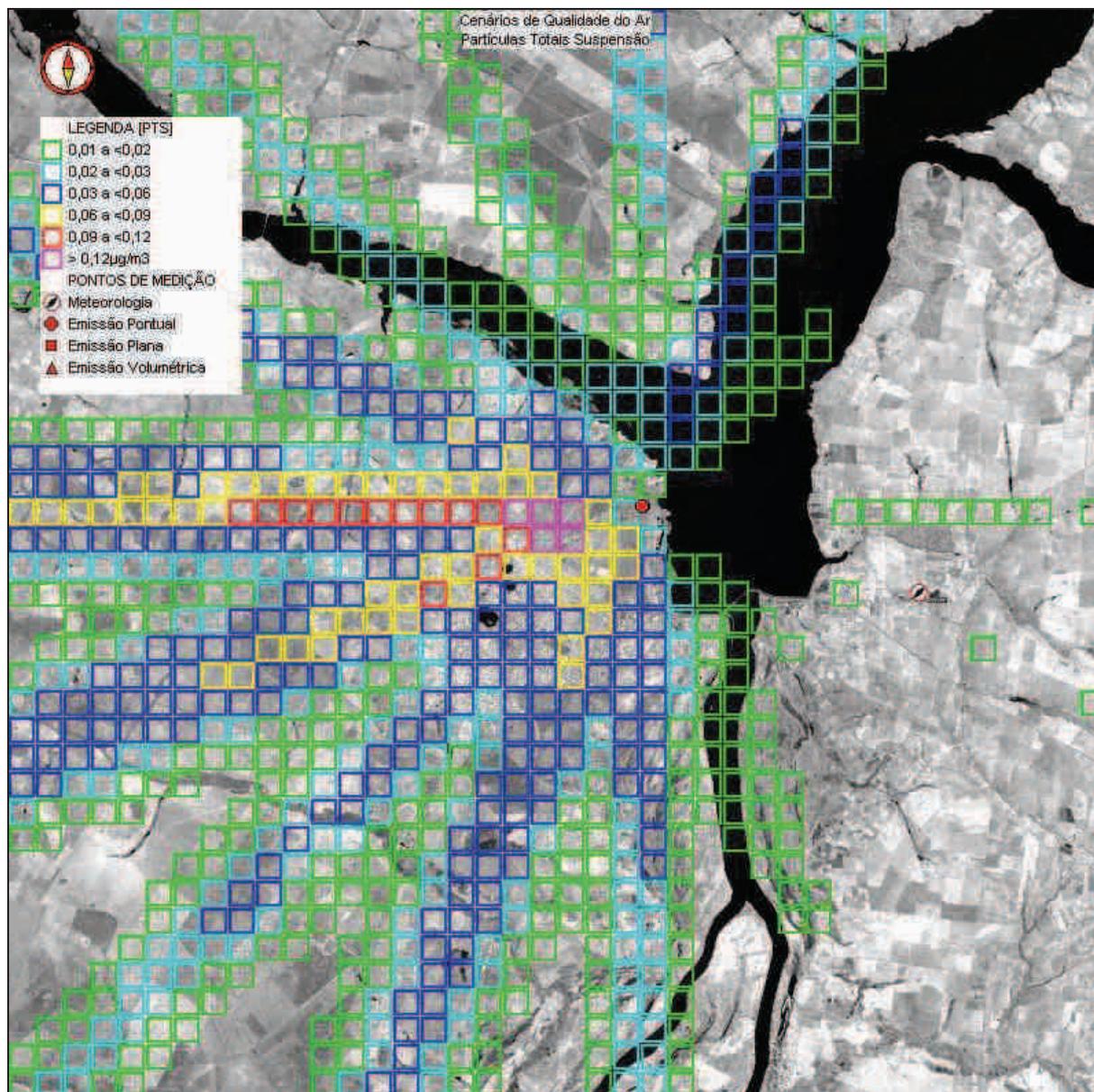


Figura 7.3.4-39: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Partículas Totais em Suspensão considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase II (ciclo combinado).

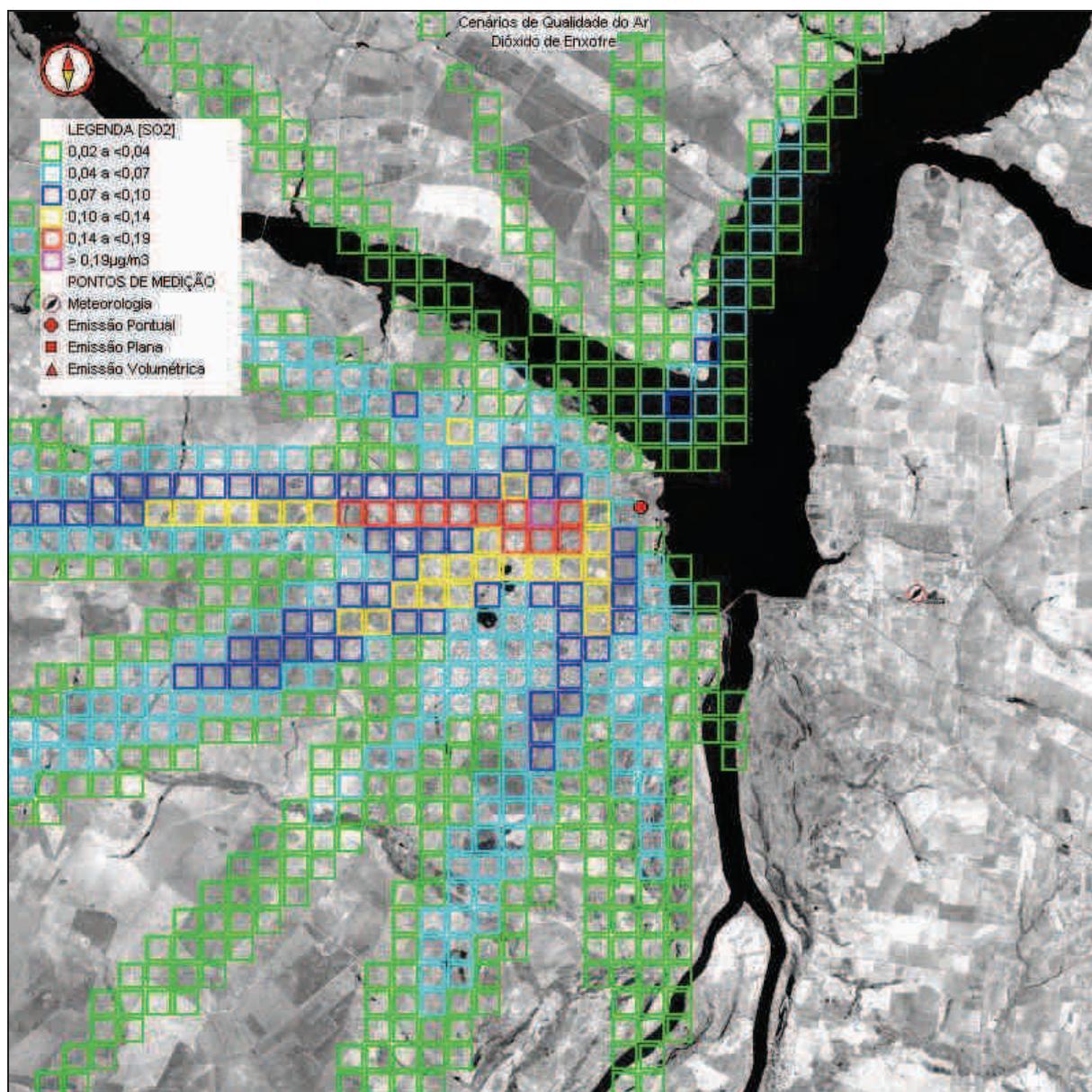


Figura 7.3.4-40: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Dióxido de Enxofre considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase II (ciclo combinado).

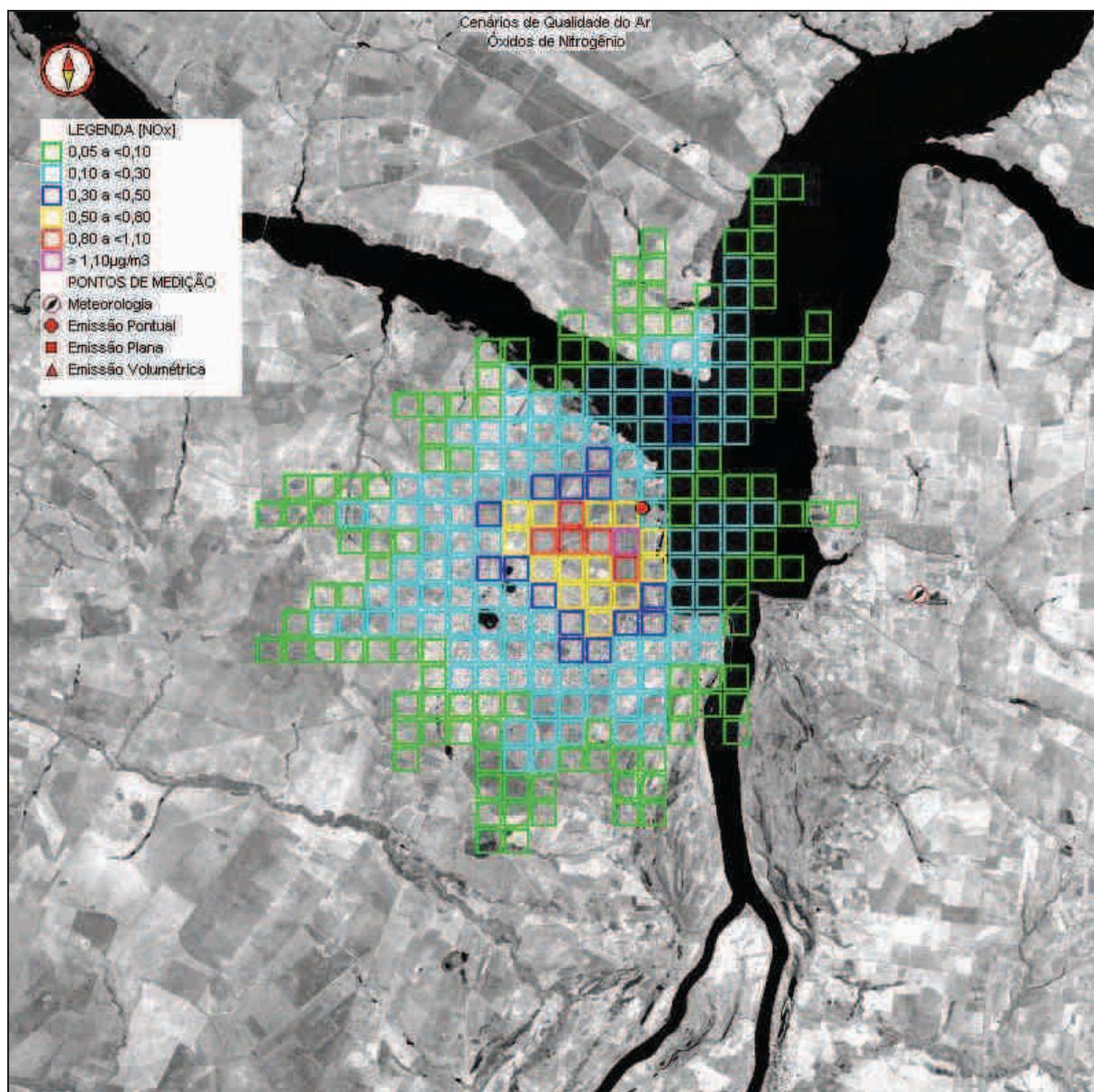


Figura 7.3.4-41: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Óxidos de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase II (ciclo combinado).

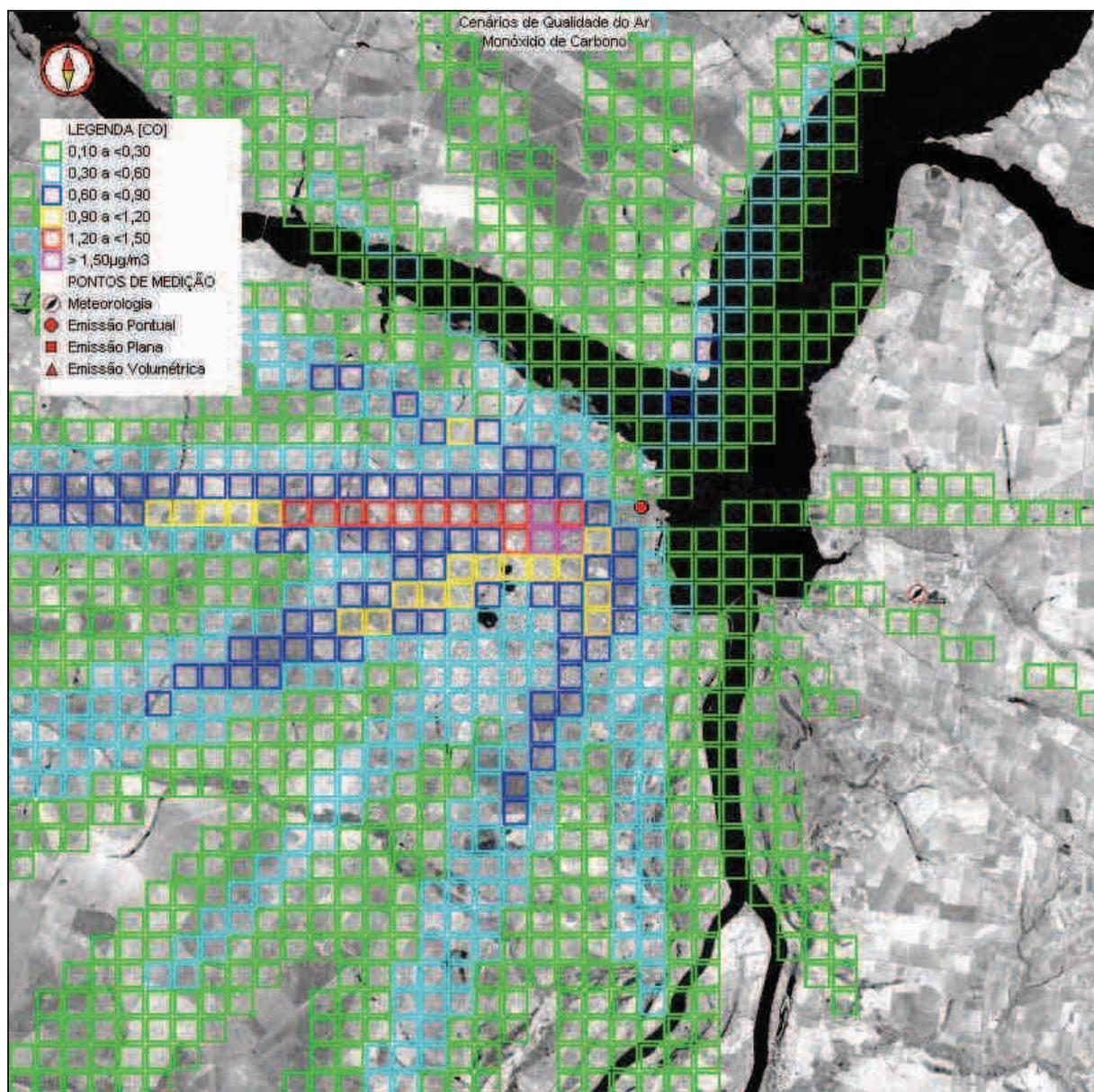


Figura 7.3.4-42: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Monóxido de Carbono considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase II (ciclo combinado).

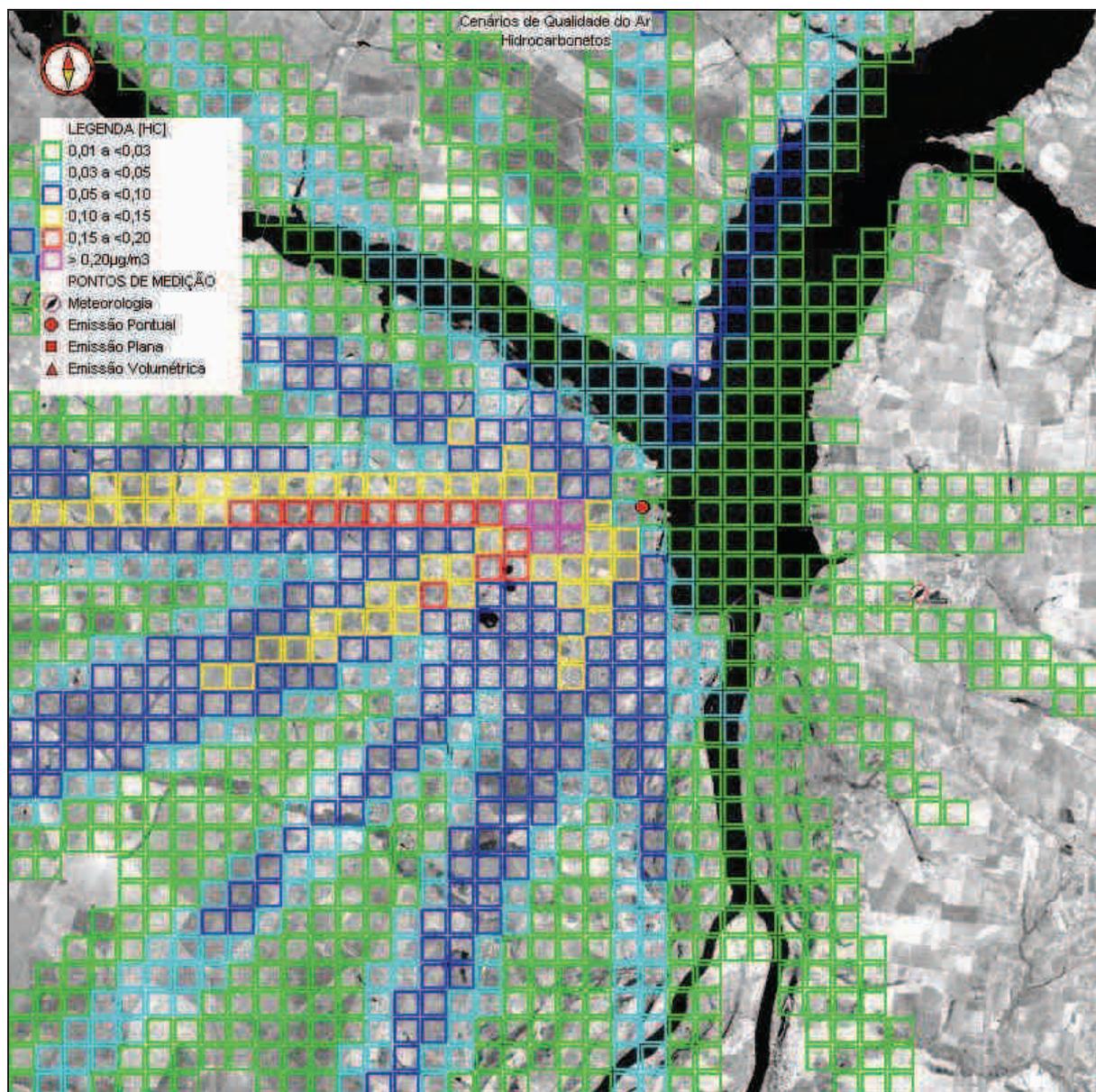


Figura 7.3.4-43: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Hidrocarbonetos considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase II (ciclo combinado).

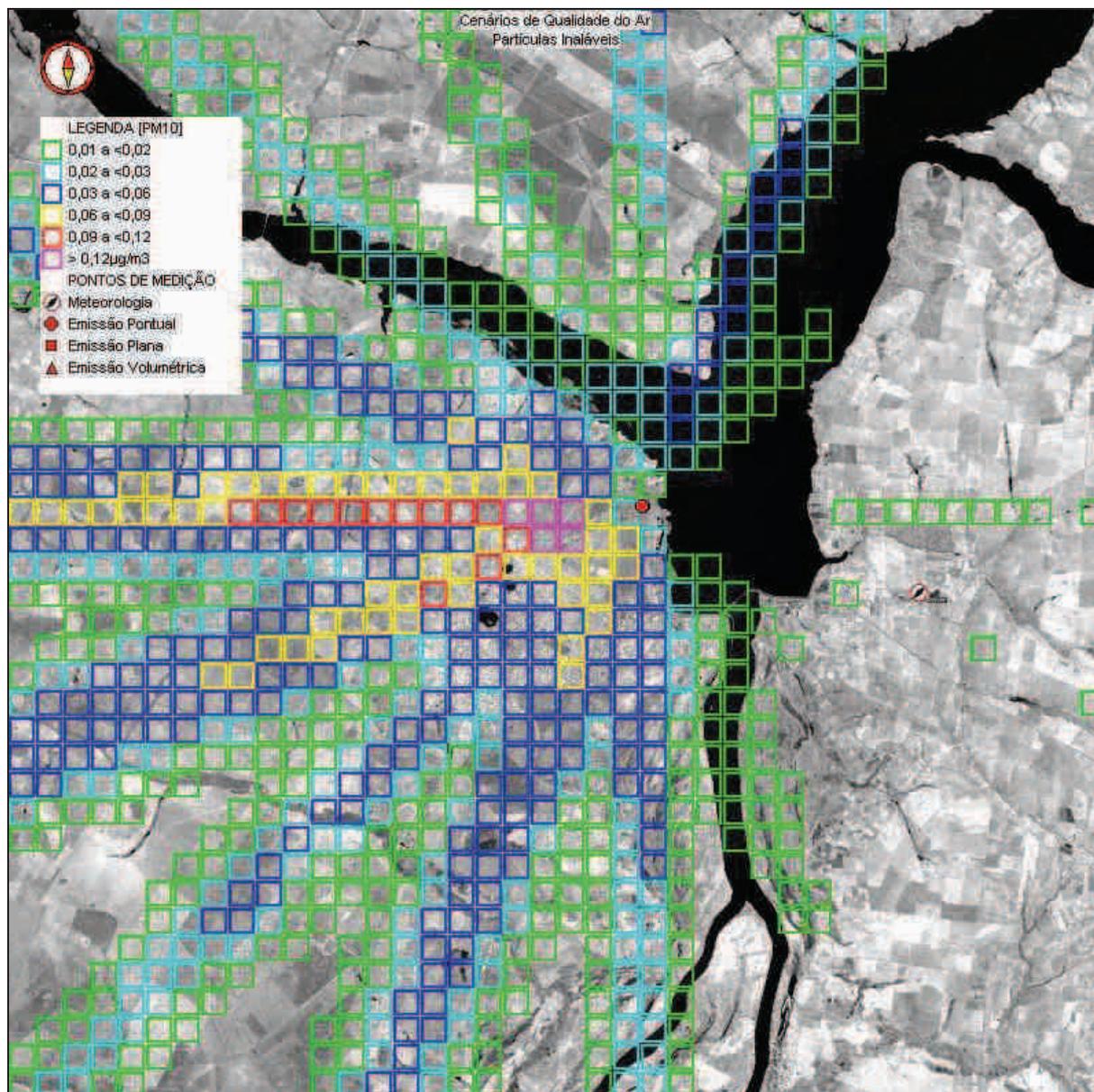


Figura 7.3.4-44: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Partículas Inaláveis considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase II (ciclo combinado).

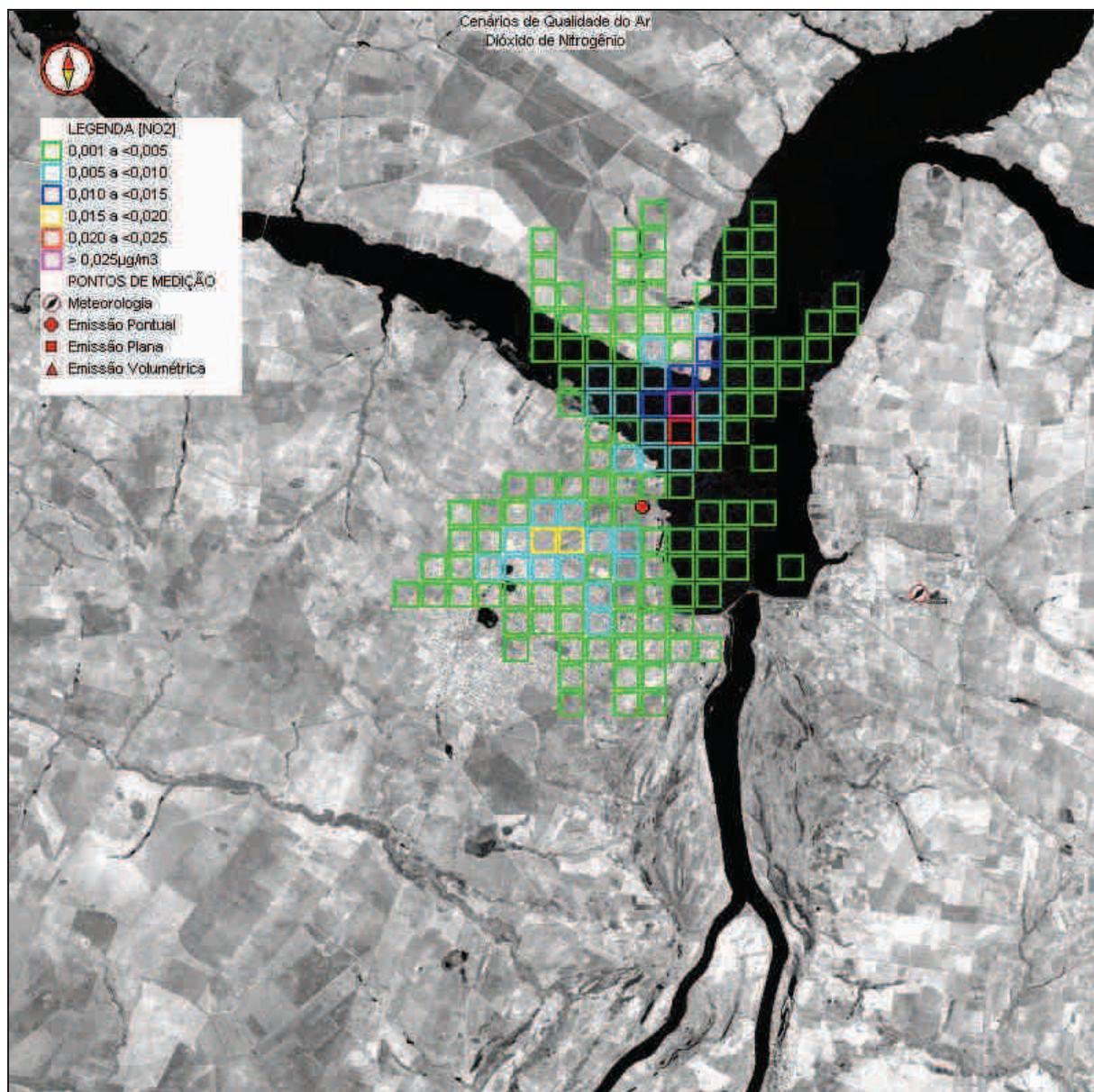


Figura 7.3.4-45: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Dióxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase II (ciclo combinado).

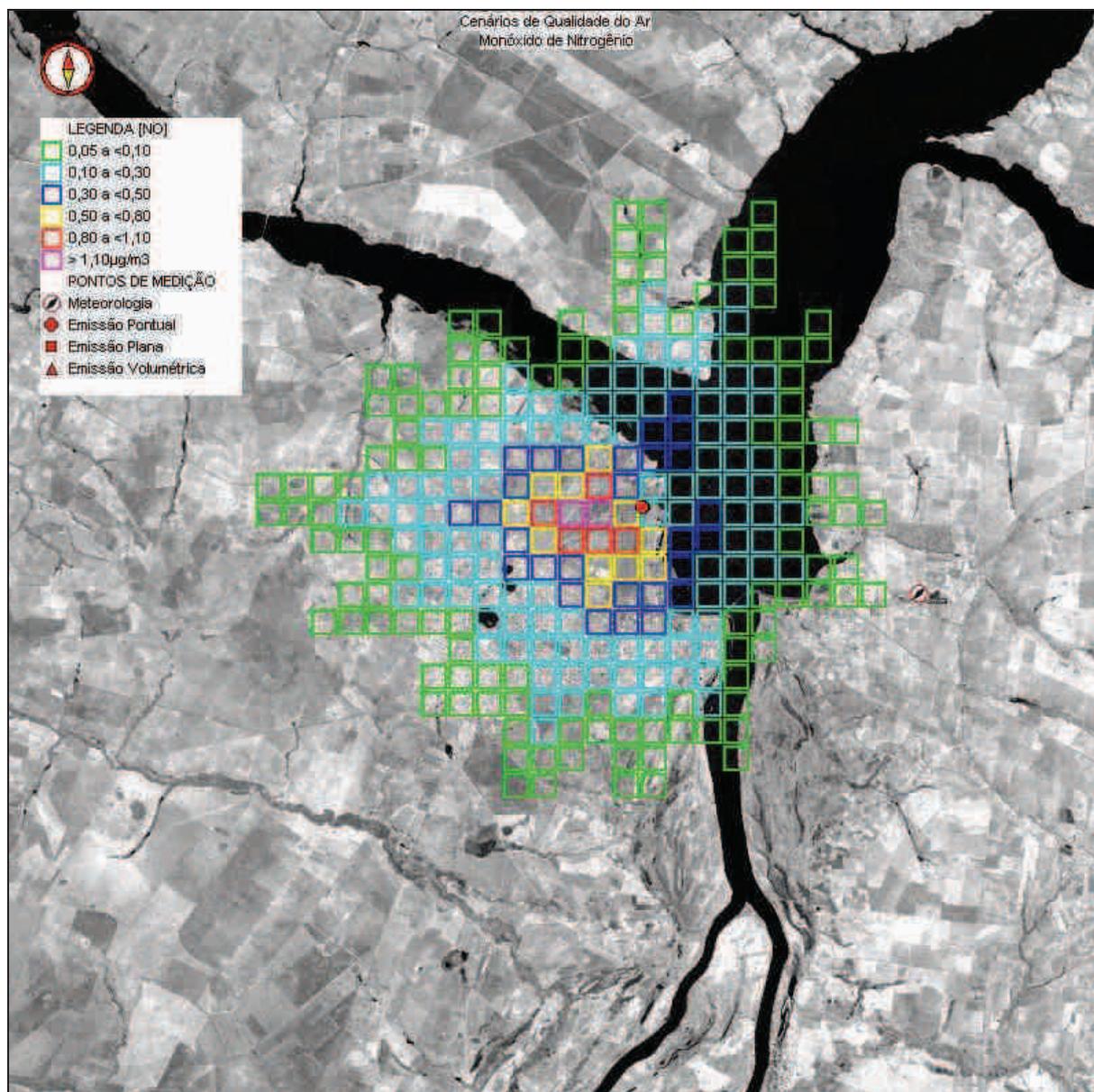


Figura 7.3.4-46: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Monóxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase II (ciclo combinado).

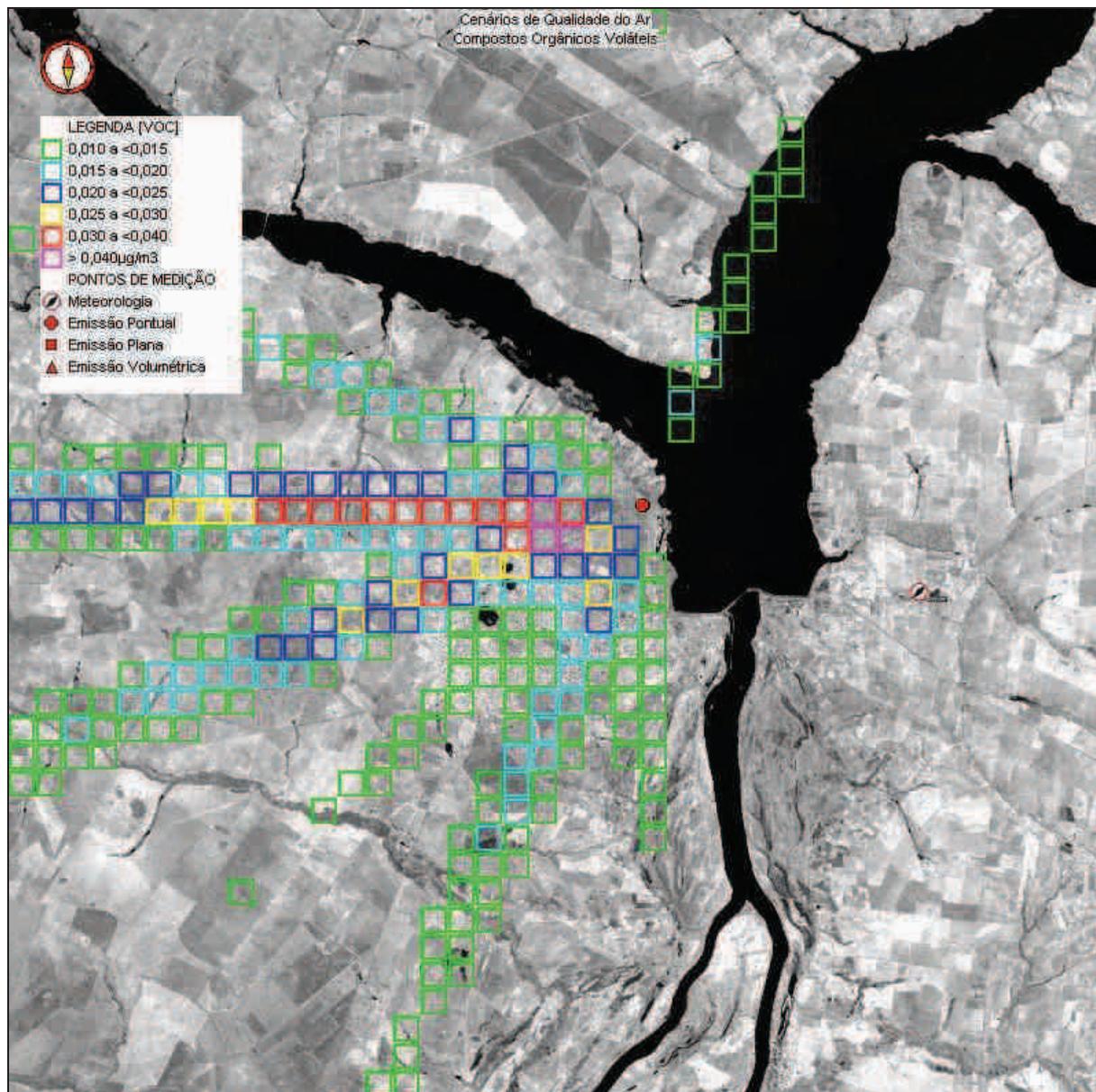


Figura 7.3.4-47: Cenário Modelado que Contém o Máximo Acréscimo Médio Diário nas Concentrações de Compostos Orgânicos Voláteis considerando as Emissões Atmosféricas da UTTL – Fase II (ciclo combinado).

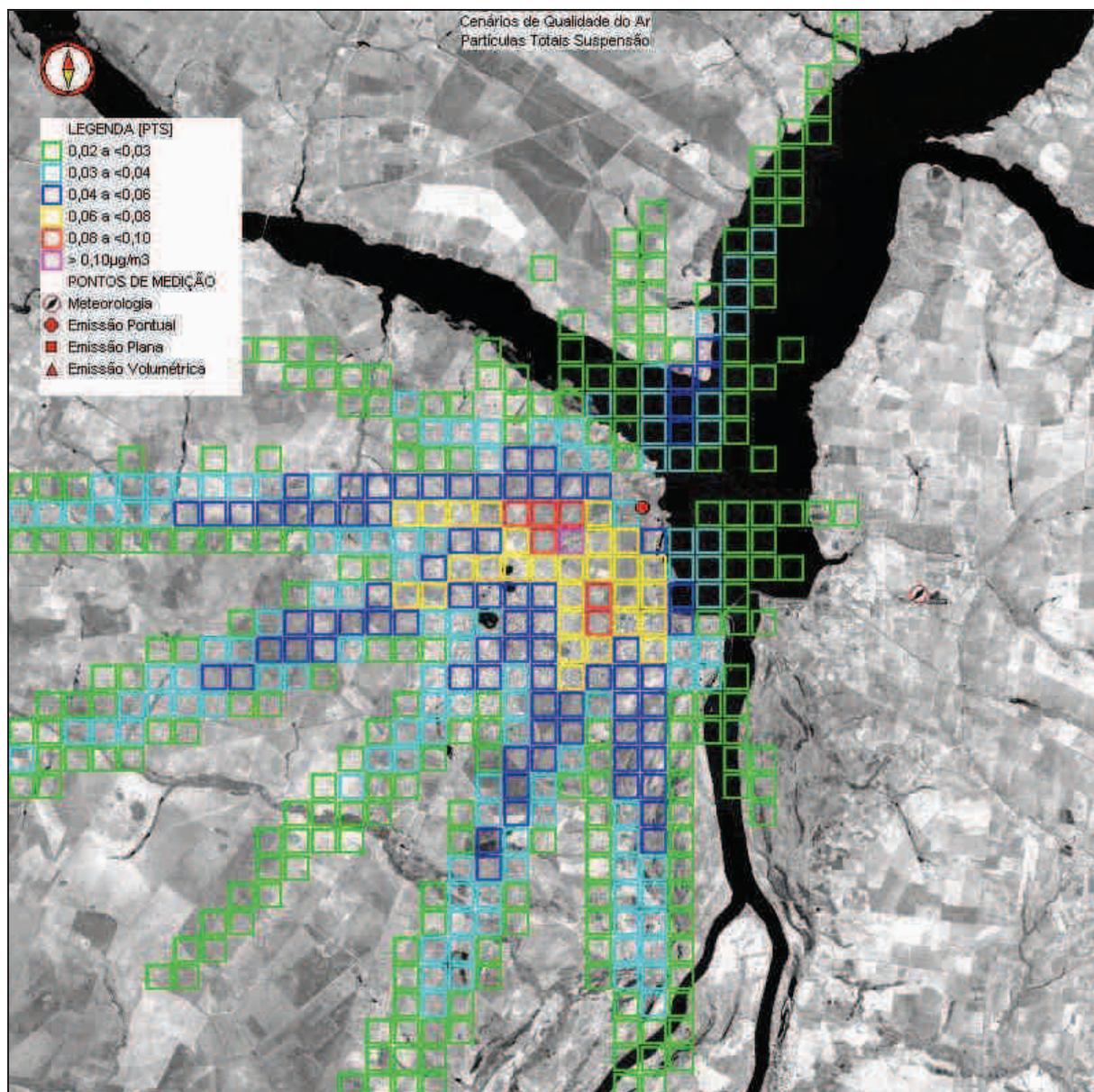


Figura 7.3.4-48: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Partículas Totais em Suspensão considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).

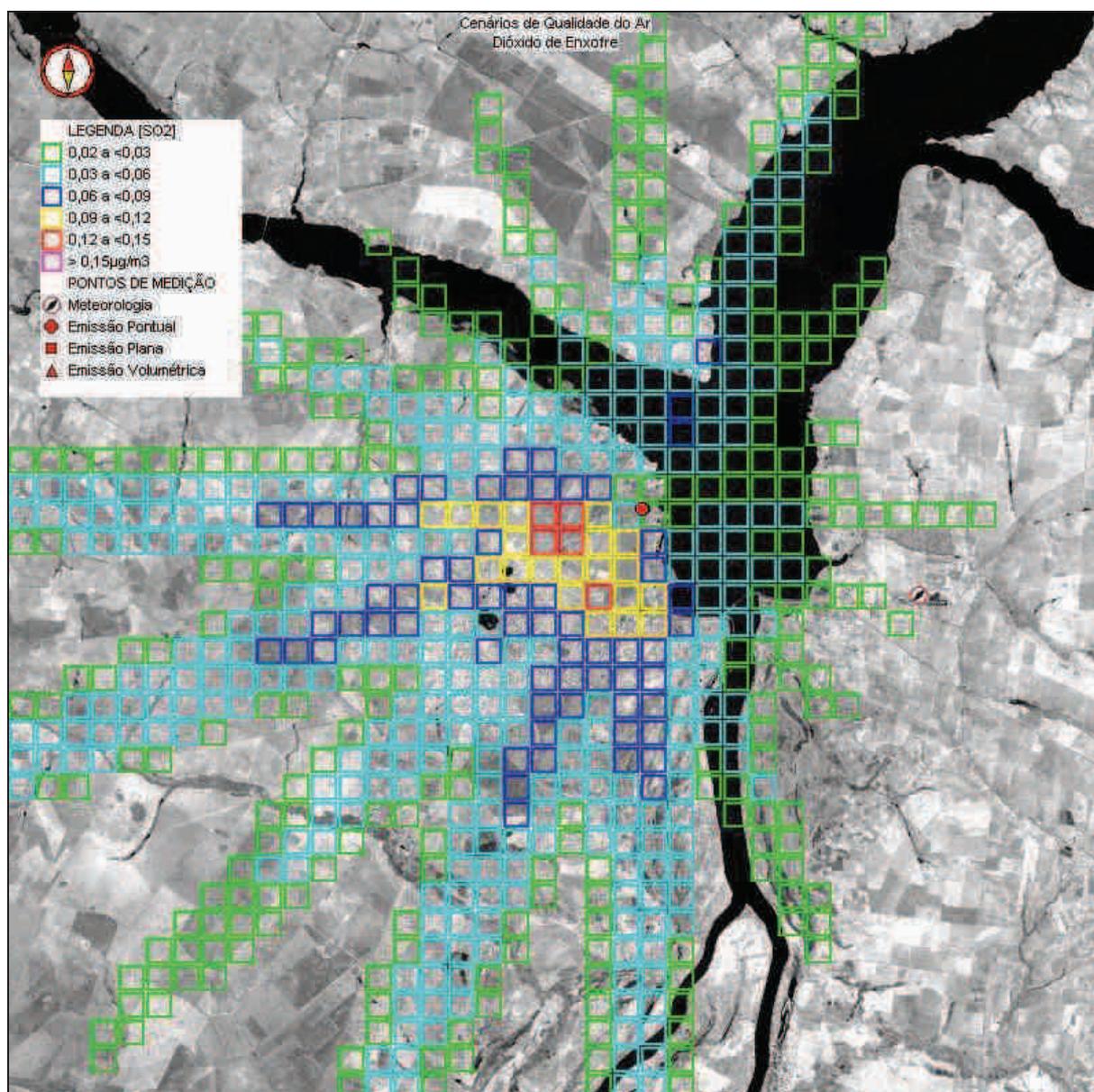
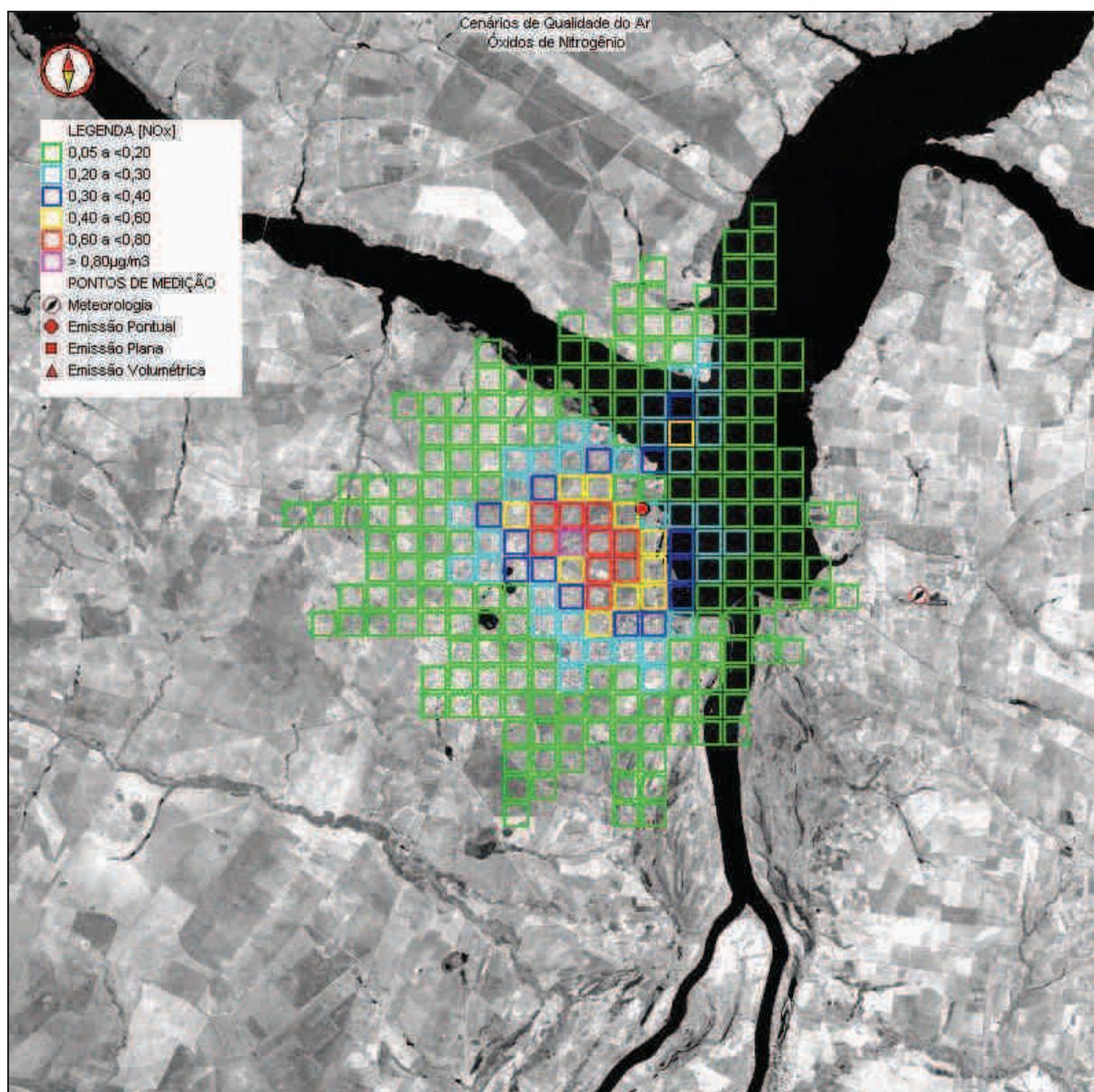


Figura 7.3.4-49: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Dióxido de Enxofre considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).



**Figura 7.3.4-50: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Óxidos de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).**

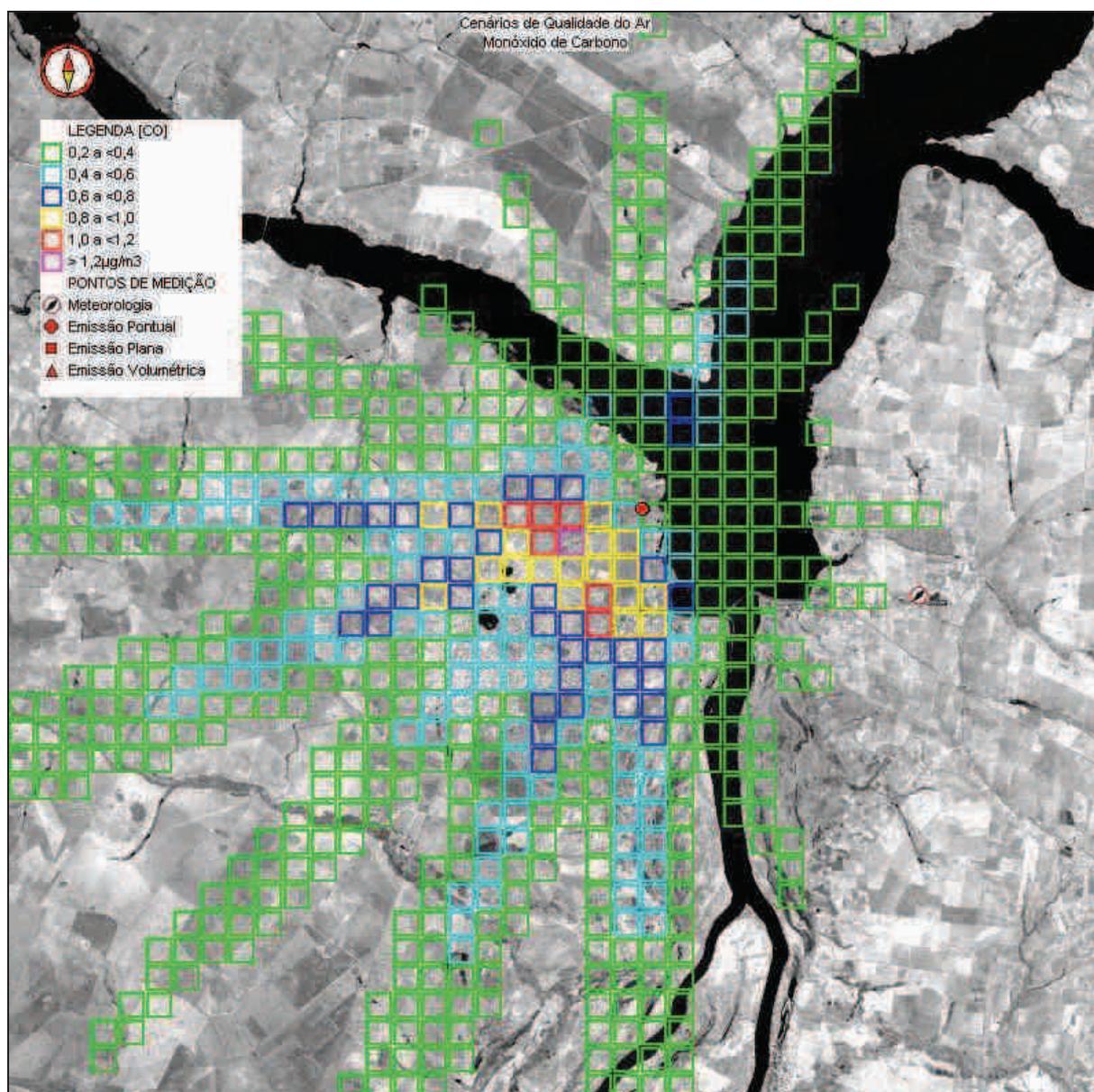


Figura 7.3.4-51: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Monóxido de Carbono considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).

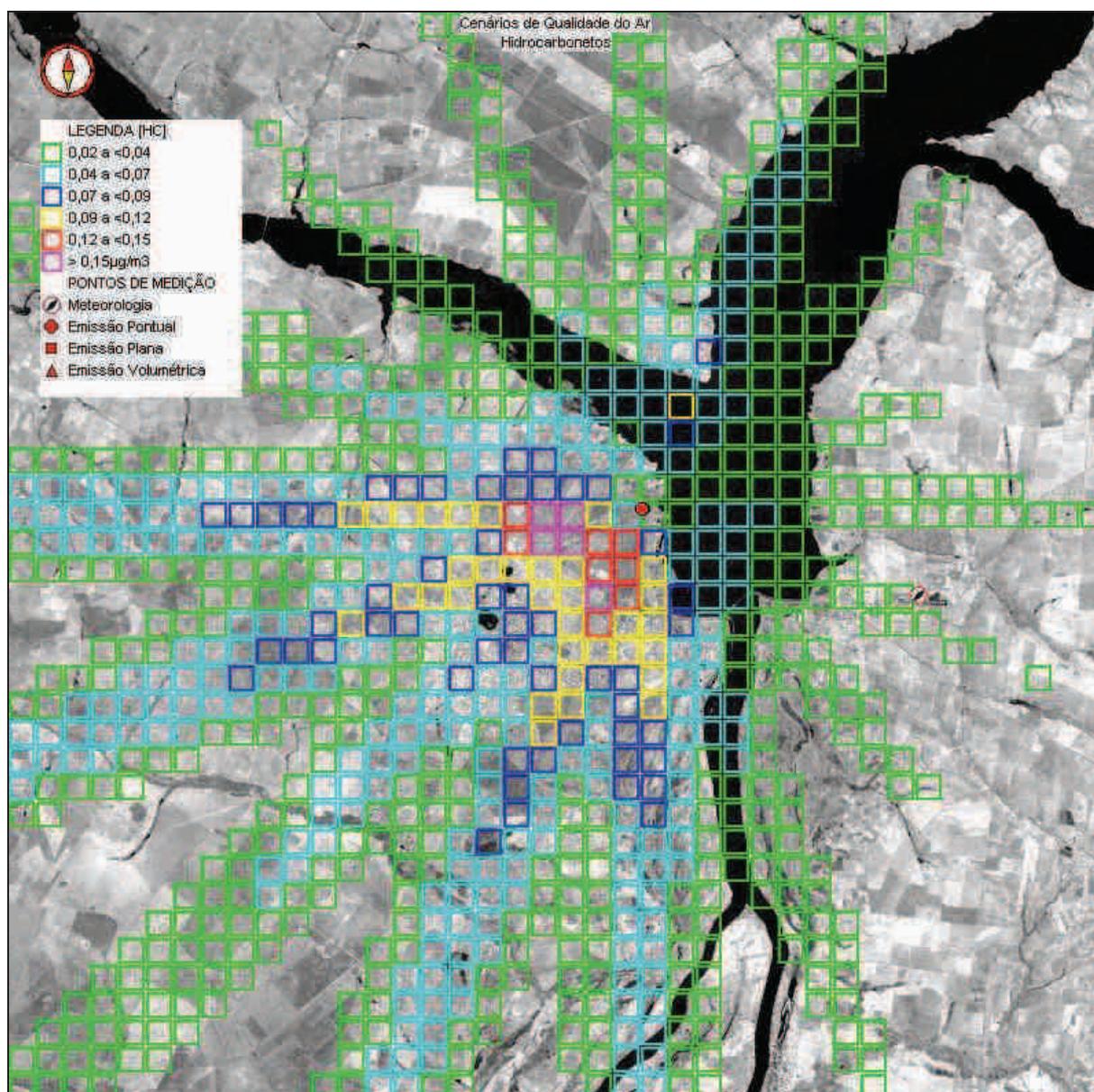


Figura 7.3.4-52: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Hidrocarbonetos considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).

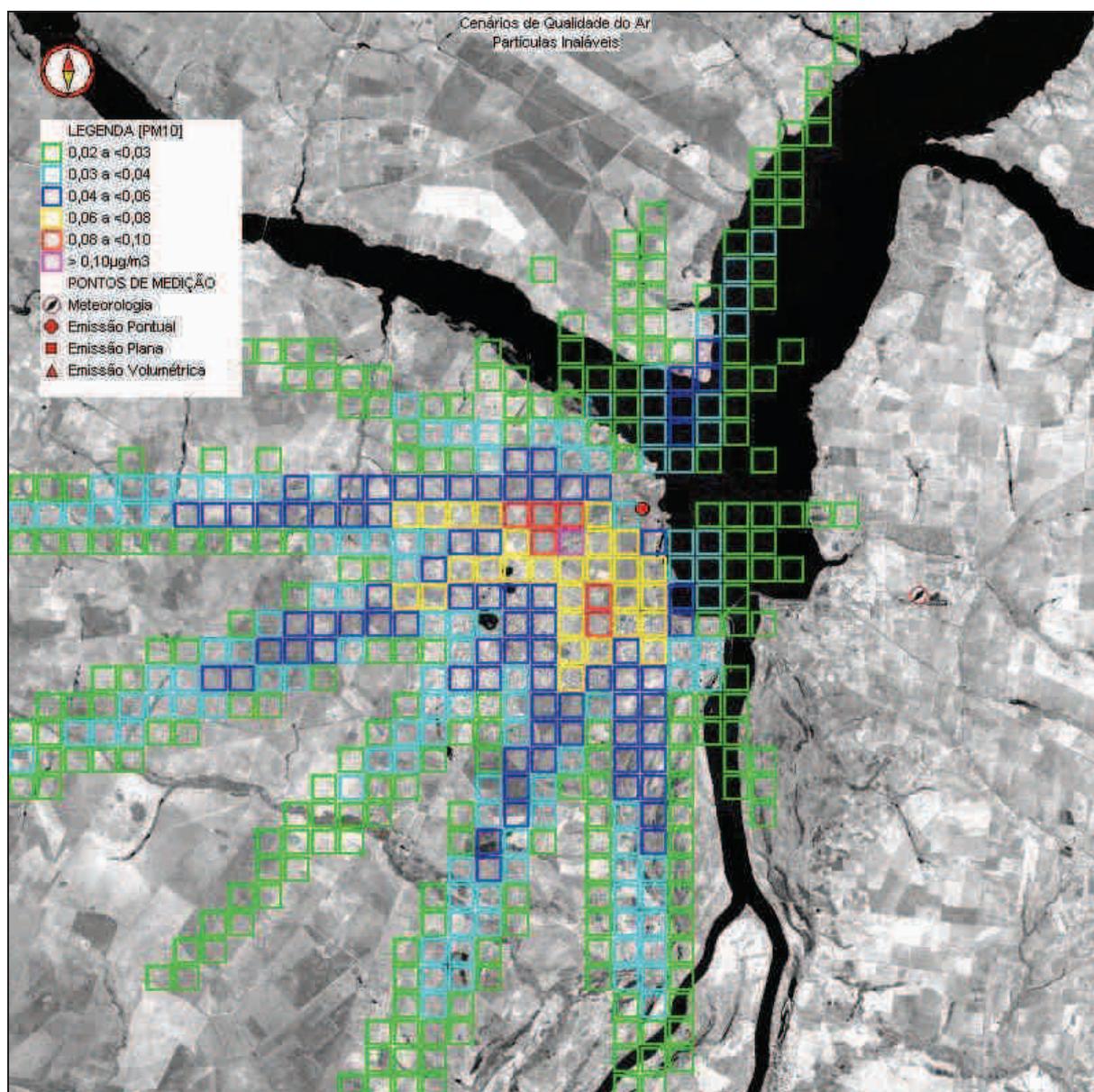
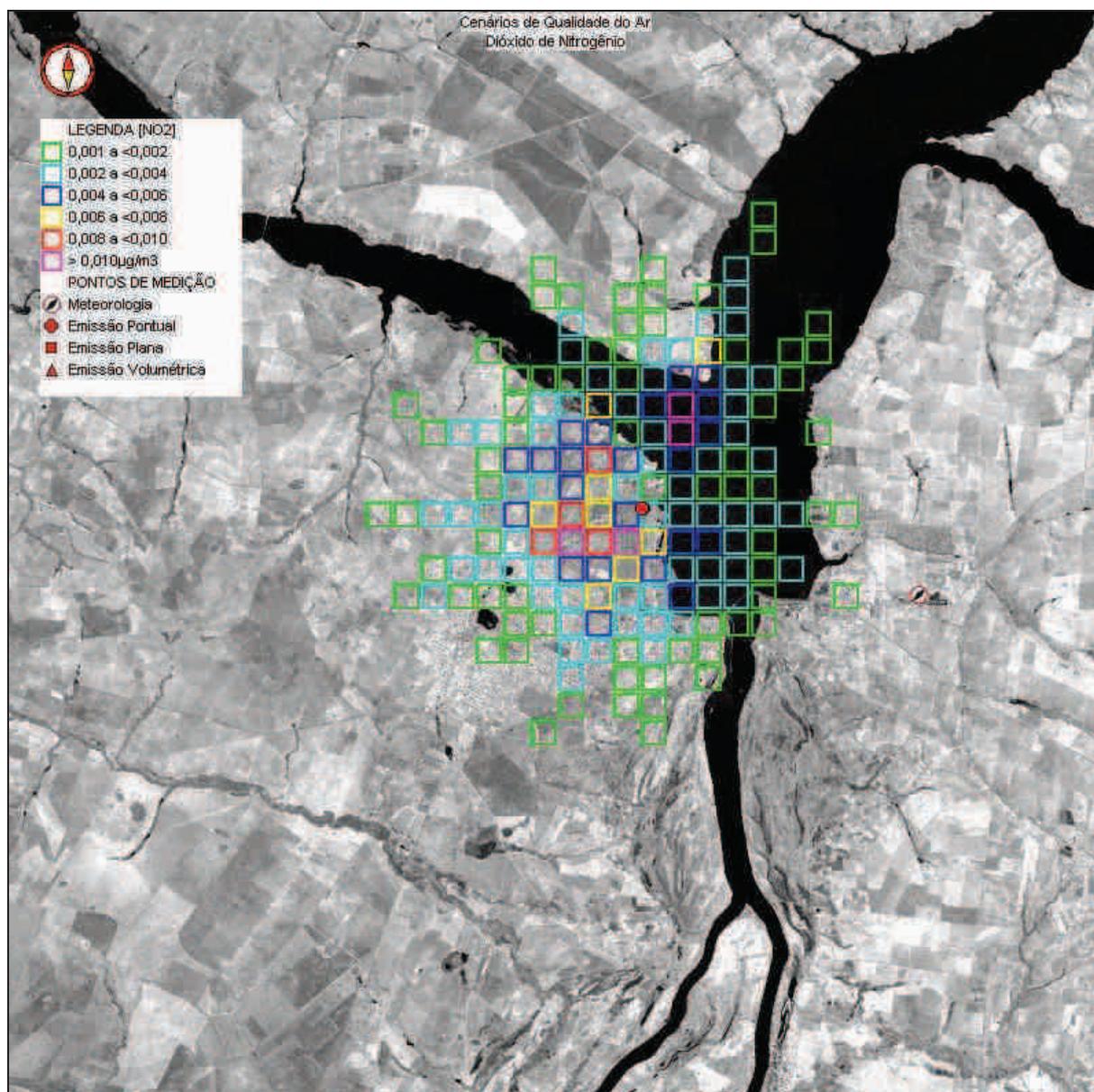


Figura 7.3.4-53: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Partículas Inaláveis considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).



**Figura 7.3.4-54: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Dióxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).**

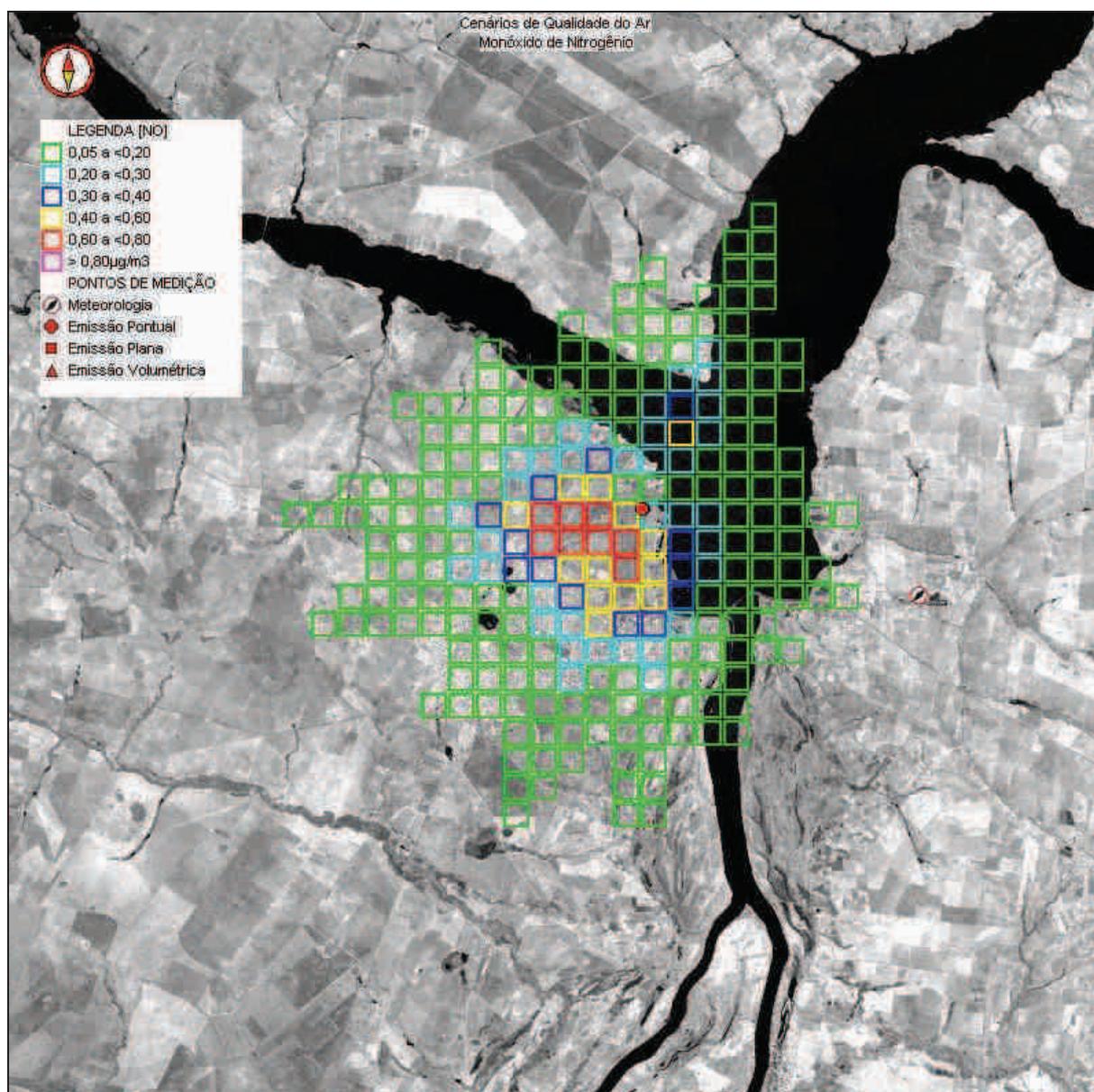


Figura 7.3.4-55: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Monóxido de Nitrogênio considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (ciclo combinado).

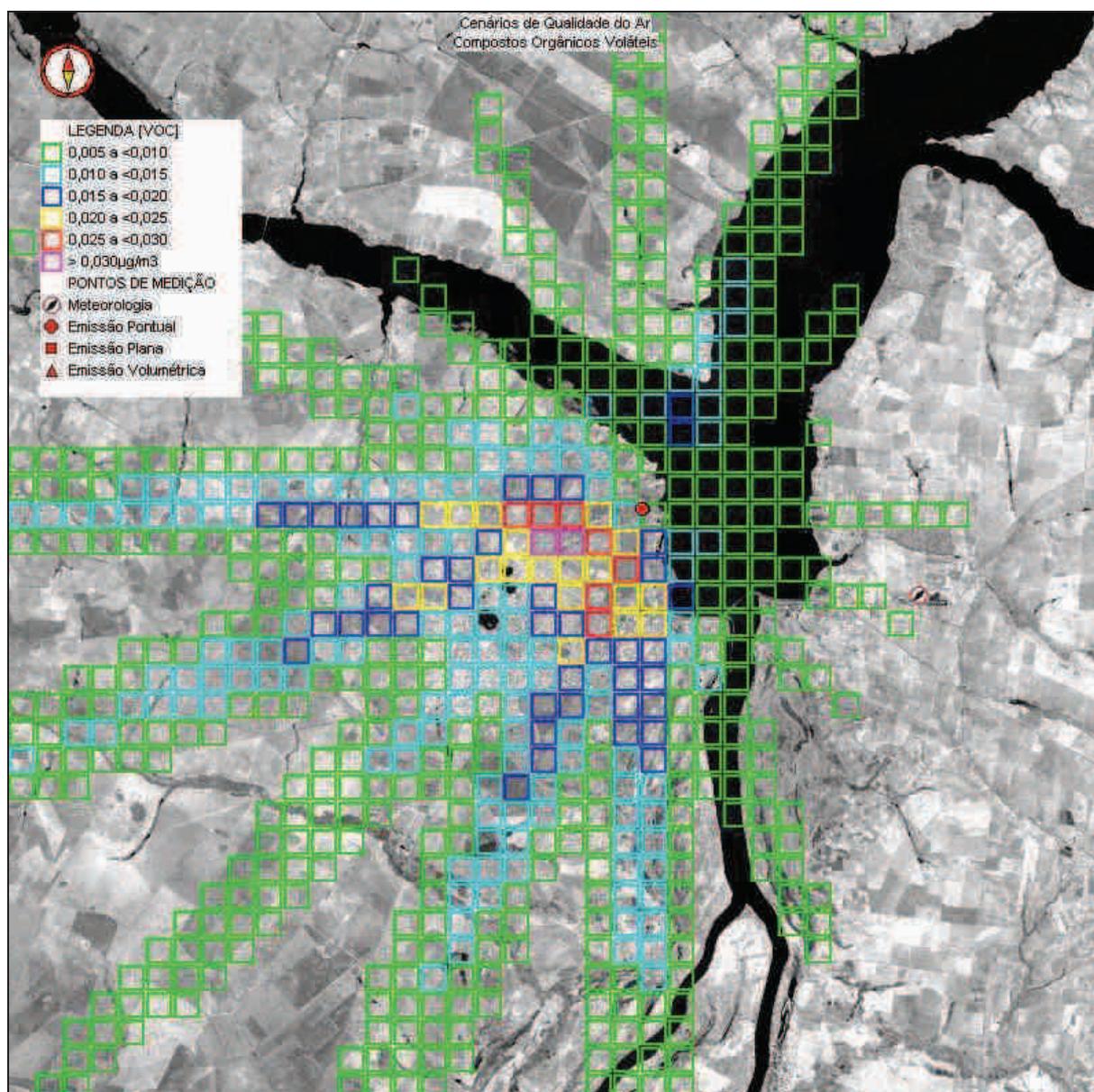


Figura 7.3.4-56: Cenário Modelado dos Acréscimos nas Concentrações Médias Anuais de Compostos Orgânicos Voláteis Considerando as Emissões Atmosféricas da UTE – Fase II (Ciclo Combinado).

## 7.4 - RESULTADOS E CONCLUSÕES

As concentrações de poluentes foram calculadas utilizando o modelo Atmos, descrito no item 3, tendo como base a caracterização das fontes emissoras e de informações históricas de micrometeorologia geradas na estação meteorológica de Urubupungá.

Os níveis de impactos previstos no caso da implantação da Usina Termelétrica Três Lagoas (UTE) serão, em geral, pouco significativos e não deverão acarretar modificações significativas na qualidade do ar da região.

Em virtude da inexistência de dados meteorológicos para o período entre 20:00 e 06:00 h não foi possível o cálculo das concentrações nas referidas horas. Assim as médias diárias devem ser entendidas como médias tomadas para os períodos compreendidos entre 07:00 e 19:00 h. Da mesma forma os resultados médios anuais devem ser vistos com ressalvas, uma vez que pelo motivo supracitado, foram considerados menos dados na composição das médias.

A seguir, é descrito concisamente o prognóstico dos impactos provocados pelas emissões da Usina Termelétrica Três Lagoas (UTE) para as fases I e II para cada um dos poluentes modelados, não sendo consideradas nesses resultados as demais fontes emissoras existentes na região.

### 7.4.1 - FASE I (CICLO ABERTO)

- **Partículas Totais em Suspensão (PTS):** os acréscimos médios anuais, médios diários e médias horárias deverão ser inferiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dessa forma, os impactos nas concentrações de PTS acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;
- **Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>):** os acréscimos médios anuais, médios diários e médias horárias deverão ser inferiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dessa forma, os impactos nas concentrações de SO<sub>2</sub> acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;
- **Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>):** neste estudo os óxidos de nitrogênio foram especiados em monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), cujos impactos estão descritos separadamente a seguir. Os acréscimos médios anuais e médios de 24 horas deverão ser inferiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sendo que as áreas mais comumente impactadas situam-se entorno de 4 km à Sudoeste da UTE. O mês de Fevereiro apresenta maior probabilidade de ocorrência das máximas concentrações médias diárias. O máximo acréscimo nas concentrações médias horárias de NO<sub>x</sub> situa-se entorno de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , com maior probabilidade de ocorrência no mês de Abril. Conclui-se que os impactos nas concentrações de NO<sub>x</sub> acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE situam-se em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar da região;
- **Monóxido de Carbono (CO):** os acréscimos médios anuais e médios diários deverão ser inferiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sendo que as áreas mais comumente impactadas situam-se entorno de 9 km à Sudoeste da UTE. O mês de Fevereiro apresenta maior probabilidade de ocorrência das máximas concentrações médias diárias. O máximo acréscimo nas concentrações médias horárias de CO situa-se entorno de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , com maior probabilidade de ocorrência no mês de Março. Dessa forma, os impactos nas concentrações de CO acarretados pelas emissões atmosféricas da

UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;

- **Hidrocarbonetos (HC):** os acréscimos médios anuais, médios diários e médias horárias deverão ser inferiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dessa forma, os impactos nas concentrações de HC acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;
- **Partículas Inaláveis (PI):** todo Material Particulado emitido deverá estar na faixa granulométrica menor que  $10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) considerados neste estudo como partículas inaláveis. Assim, os resultados da modelagem das partículas inaláveis são idênticos aos obtidos para PTS;
- **Dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ):** os acréscimos médios anuais, médios diários e médias horárias deverão ser inferiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dessa forma, os impactos nas concentrações de  $\text{NO}_2$  acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;
- **Monóxido de Nitrogênio (NO):** cerca de 75% dos óxidos de nitrogênio emitidos pela UTE estão na forma de monóxido de nitrogênio. Os acréscimos médios anuais e médios de 24 horas deverão ser inferiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sendo que as áreas mais comumente impactadas situam-se em regiões rurais entorno de 4 km à Sudoeste da UTE. O mês de Fevereiro apresenta maior probabilidade de ocorrência das máximas concentrações médias diárias. O máximo acréscimo nas concentrações médias horárias de NO situa-se entorno de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , com maior probabilidade de ocorrência no mês de Abril.
- **Compostos Orgânicos Voláteis (VOC):** os acréscimos médios anuais, médios diários e médias horárias deverão ser inferiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dessa forma, os impactos nas concentrações de VOC acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;
- **Ozônio ( $\text{O}_3$ ):** por tratar-se de um poluente formado a partir de poluentes precursores ( $\text{NO}_x$ , VOC, etc.) e necessitar da presença de luz solar para a sua formação não faria sentido a análise de médias com intervalo de tempo muito superiores a algumas horas. Assim, para o ozônio foram analisados apenas os acréscimos médios horários, que deverão ser inferiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 7.4.2 - FASE II (CICLO COMBINADO):

- **Partículas Totais em Suspensão (PTS):** os acréscimos médios anuais, médios diários e médias horárias deverão ser inferiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dessa forma, os impactos nas concentrações de PTS acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;
- **Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ):** os acréscimos médios anuais, médios diários e médias horárias deverão ser inferiores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dessa forma, os impactos nas concentrações de  $\text{SO}_2$  acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;

- **Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>):** neste estudo os óxidos de nitrogênio foram especiados em monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), cujos impactos estão descritos separadamente a seguir. Os acréscimos médios anuais deverão ser inferiores a 1 µg/m<sup>3</sup>, os acréscimos médios de 24 horas deverão ser inferiores a 2 µg/m<sup>3</sup>, sendo que as áreas mais comumente impactadas situam-se entorno de 3 km à Sudoeste da UTE. O mês de Agosto apresenta maior probabilidade de ocorrência das máximas concentrações médias diárias. O máximo acréscimo nas concentrações médias horárias de NO<sub>x</sub> situa-se entorno de 3 µg/m<sup>3</sup>, com maior probabilidade de ocorrência no mês de Abril. Conclui-se que os impactos nas concentrações de NO<sub>x</sub> acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE situam-se em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar da região;
- **Monóxido de Carbono (CO):** os acréscimos médios anuais e médios de 24 horas deverão ser inferiores a 2 µg/m<sup>3</sup>, sendo que as áreas mais comumente impactadas situam-se entorno de 3 km à Sudoeste da UTE. O mês de Abril apresenta maior probabilidade de ocorrência das máximas concentrações médias diárias. O máximo acréscimo nas concentrações médias horárias de CO situa-se entorno de 9 µg/m<sup>3</sup>, com maior probabilidade de ocorrência no mês de Agosto. Dessa forma, os impactos nas concentrações de CO acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;
- **Hidrocarbonetos (HC):** os acréscimos médios anuais e médios de 24 horas deverão ser inferiores a 1 µg/m<sup>3</sup>, sendo que as áreas mais comumente impactadas situam-se entorno de 3 km à Sudoeste da UTE. O mês de Abril apresenta maior probabilidade de ocorrência das máximas concentrações médias diárias. O máximo acréscimo nas concentrações médias horárias de HC situa-se entorno de 1 µg/m<sup>3</sup>, com maior probabilidade de ocorrência no mês de Agosto. Dessa forma, os impactos nas concentrações de HC acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;
- **Partículas Inaláveis (PI):** todo Material Particulado emitido deverá estar na faixa granulométrica menor que 10 µm (PM<sub>10</sub>) considerados neste estudo como partículas inaláveis. Assim, os resultados da modelagem das partículas inaláveis são idênticos aos obtidos para PTS;
- **Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>):** os acréscimos médios anuais, médios diários e médias horárias deverão ser inferiores a 1 µg/m<sup>3</sup>. Dessa forma, os impactos nas concentrações de NO<sub>2</sub> acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;
- **Monóxido de Nitrogênio (NO):** cerca de 75% dos óxidos de nitrogênio emitidos pela UTE estão na forma de monóxido de nitrogênio. Os acréscimos médios anuais deverão ser inferiores a 1 µg/m<sup>3</sup>, os acréscimos médios de 24 horas deverão ser inferiores a 2 µg/m<sup>3</sup>, sendo que as áreas mais comumente impactadas situam-se entorno de 3 km à Sudoeste da UTE. O mês de Outubro apresenta maior probabilidade de ocorrência das máximas concentrações médias diárias. O máximo acréscimo nas concentrações médias horárias de NO situa-se entorno de 3 µg/m<sup>3</sup>, com maior probabilidade de ocorrência no mês de Abril.
- **Compostos Orgânicos Voláteis (VOC):** os acréscimos médios anuais, médios diários e médias horárias deverão ser inferiores a 1 µg/m<sup>3</sup>. Dessa forma, os impactos nas concentrações de VOC acarretados pelas emissões atmosféricas da UTE deverão ocorrer em níveis de baixo potencial de alteração da qualidade do ar atual da região;