

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MONTE CARLO PARA ANÁLISE DE INCERTEZA  
NA SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS COMPOSTOS DE NITROGÊNIO  
EM RIOS

TATIANA CANDEIA DA SILVA

VITÓRIA

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO  
AMBIENTAL

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MONTE CARLO PARA ANÁLISE DE INCERTEZA  
NA SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS COMPOSTOS DE NITROGÊNIO  
EM RIOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Pr. Dr. José Antônio Tosta dos Reis

VITÓRIA

2014

**TATIANA CANDEIA DA SILVA**

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MONTE CARLO PARA ANÁLISE DE INCERTEZA  
NA SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS COMPOSTOS DE NITROGÊNIO  
EM RIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, na área de concentração em Recursos Hídricos.

Aprovada em 17 de dezembro de 2014.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup>. José Antônio Tosta Reis  
Orientador – UFES

---

Prof.<sup>o</sup>. Dr.<sup>o</sup> Daniel Rigo  
Examinador Interno -UFES

---

Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup>. Lucien Akabassi  
Examinador Externo - IFES

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial Tecnológica,  
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

S586a Silva, Tatiana Candeia da, 1983-  
Aplicação do método de Monte Carlo para análise de incerteza  
na simulação do comportamento dos compostos de nitrogênio em  
rios / Tatiana Candeia da Silva. – 2014.  
119 f. : il.

Orientador: José Antônio Tosta dos Reis.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento  
Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro  
Tecnológico.

1. Nitrogênio. 2. Água – Qualidade – Modelos matemáticos. 3.  
Método de Monte Carlo. 4. Piracicaba, Rio, Bacia (MG). I. Reis,  
José Antônio Tosta dos. II. Universidade Federal do Espírito  
Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

---

*Dedico este trabalho às minhas filhas Thaís  
e Ana Luíza, razões de minhas conquistas.*



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus, que nos momentos felizes ou tristes sempre esteve comigo, me proporcionou força, paciência e sabedoria para chegar à conclusão deste trabalho;

Agradeço de uma forma especial ao meu orientador, professor José Antônio Tosta dos Reis, por toda atenção, disponibilidade de ensinar e confiança ao longo da minha vida acadêmica. Por ter sido mais que um orientador, exemplo de profissional a ser seguido. Obrigada Zé!

À minha mãe Ruth Candeia da Silva pelo imenso apoio e compreensão em todos os momentos da minha vida.

À minha querida avó materna Nair Silva Candeia (*in memoriam*) pelos belos exemplos de amor, dedicação e honestidade. Para sempre em meu coração!

Aos meus irmãos, Rogério, Binho, Raná e Juninho, pelos bons exemplos que representam para mim, pela participação na minha vida me incentivando a ir mais longe e alcançar os meus objetivos.

Aos meus colegas e amigos de Pós graduação em Engenharia e Desenvolvimento sustentável turma 2012/2, pela amizade, companheirismo e por partilharem as dificuldades do caminho de um mestrando.

Aos meus colegas de trabalho da Prefeitura Municipal da Serra, em especial a Cláudia Soares, Cremildo Teixeira e Juliana Schaefer, pela amizade e apoio diariamente demonstrados.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente me auxiliaram na realização deste trabalho, mesmo com uma simples palavra de incentivo.

“Jamais se desespere em meio às sombrias aflições da vida, pois das nuvens mais negras cai água límpida e fecunda.”

(Provérbio Chinês)



## RESUMO

O nitrogênio é um componente de grande importância em termos da geração e do próprio controle da poluição das águas. Ao mesmo tempo em que é um elemento indispensável para a produção dos ecossistemas aquáticos, pode ser o agente causador de diversos problemas de qualidade de água. O nitrogênio em corpos d'água se apresenta em vários estados de oxidação, sendo encontrado nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As reações de maior importância são a fixação, amonificação, assimilação, nitrificação e desnitrificação. O objetivo geral desta pesquisa é conduzir, com emprego do modelo matemático de qualidade de água Qual-UFMG e do método de Monte Carlo, simulações computacionais das transformações dos compostos de nitrogênio no trecho final do Rio Piracicaba, importante afluente do Rio Doce. A análise de incerteza decorrente do emprego do método de Monte Carlo envolveu a geração aleatória dos dados de entrada (variáveis hidrodinâmicas, condições de qualidade de água e constantes cinéticas) com auxílio das distribuições normal e uniforme de probabilidades. Os resultados indicaram que, para os valores de coeficiente de variação e percentual de variação inicialmente assumidos para a condução do presente estudo, os histogramas de frequência dos valores máximos de concentração dos diferentes compostos de nitrogênio são similares, quando produzidos com auxílio das distribuições normal ou uniforme para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e concentrações dos compostos de nitrogênio. De todas variáveis simuladas, os valores do coeficiente de variação e o percentual de variação não se apresentam relevantes para o  $K_{so}$  (coeficiente de sedimentação de nitrogênio orgânico), uma vez que os valores de  $K_{so}$  são usualmente pequenos, se comparado com os outros coeficientes simulados.

Palavras chaves: Nitrogênio, Monte Carlo, Rio Piracicaba e Qual-UFMG.

## ABSTRACT

Nitrogen is a component of major importance regarding generation and its own control of water pollution. At the same time it is an indispensable element for the production of the aquatic ecosystem, it can be the causative agent of several problems related to water quality. Nitrogen in water bodies is presented in many oxidation states and can be found in the forms of organic nitrogen, ammoniacal, nitrite and nitrate. The most important reactions are fixation, ammonification, assimilation, nitrification and denitrification. The research's main goal is to conduct, with the use of the mathematical model of water quality Qual-UFMG and the Monte Carlo method, a computational simulation of the nitrogen compounds transformations in the last stretch of the Piracicaba River, which is an important affluent of the Doce River. The uncertainty analysis due to using the Monte Carlo method involved the random creation of entry data (hydrodynamic variables, water quality conditions and kinetic constant) with the assistance of regular and uniform distributions of probabilities. Results indicate that, for the variation coefficient values and the percentage of variation, initially assumed for the performance of this present study, the histograms of frequency of maximum values of the different nitrogen compounds concentration are similar when produced with the aid of the regular or uniform distributions in order to randomly create the kinetic constants, hydrodynamic variables and concentrations of nitrogen compounds. From all the variables simulated, the variation coefficient values and the variation percentage are not presented as relevant for  $K_{s0}$  (sedimentation coefficient of the organic nitrogen), once the  $K_{s0}$  values are usually small when compared to the other coefficient already simulated.

**Keywords:** Nitrogen. Monte Carlo. Piracicaba River. Qual-UFMG.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Representação Esquemática do Ciclo do Nitrogênio em Corpos d'água.....	28
Figura 4.2 – Etapas para Condução da Análise de Incerteza com Auxílio do Método de Monte Carlo (Von Sperling, 2007).....	53
Figura 4.3– Representação esquemática das simulações realizadas para avaliação da influência dos valores assumidos para o coeficiente de variação (distribuição normal) e percentual de variação (distribuição uniforme).....	56
Figura 5.1 – Perfis de concentração de nitrogênio orgânico para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Normal. ....	57
Figura 5.2 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Normal. ....	58
Figura 5.3 – Perfis de concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Normal. ....	58
Figura 5.4 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Normal. ....	59
Figura 5.5 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrogênio Orgânico (mg/L) considerando-se o emprego da distribuição Normal para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água. ....	60
Figura 5.6 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) considerando-se o emprego da distribuição Normal para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água. ....	60
Figura 5.7 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrito (mg/L) considerando-se o emprego da distribuição Normal para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água.....	61
Figura 5.8 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrato (mg/L) considerando-se o emprego da distribuição Normal para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água.....	61
Figura 5.9 – Perfis da concentração de nitrogênio orgânico para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas,	

variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Uniforme. ....	64
Figura 5.10 – Perfis da concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Uniforme. ....	65
Figura 5.11– Perfis da concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Uniforme. ....	65
Figura 5.12 – Perfis da concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição uniforme.....	66
Figura 5.13 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrogênio Orgânico considerando-se o emprego da distribuição Uniforme para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água. ....	67
Figura 5.17 - Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrogênio orgânico considerando os percentuais e coeficientes de variação de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da $K_{so}$ .....	72
Figura 5.18 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrogênio orgânico considerando os percentuais e coeficientes de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da $K_{oa}$ .....	73
Figura 5.19 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrogênio amoniacal considerando os percentuais e coeficientes de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da $K_{oa}$ .....	74
Figura 5.20 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrogênio amoniacal considerando os percentuais e coeficientes de variação de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da $K_{an}$ .....	78

Figura 5.21 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrito considerando os percentuais e coeficientes de variação de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da $K_{an}$ .....	79
Figura 5.22 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrito considerando os percentuais e coeficientes de variação de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da $K_{nn}$ .....	82
.....	82
Figura 5.23 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrito considerando os percentuais e coeficientes de variação de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da $K_{nn}$ .....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1- Concentrações de nitrogênio no trecho simulado do rio Piracicaba	47
Tabela 4.2 - Concentrações de nitrogênio no esgoto doméstico bruto .....	48
Tabela 4.4 – Valores empregados nas simulações computacionais.....	51
Tabela 4.5 - Coeficientes e constantes cinéticas envolvidas no ciclo do nitrogênio.....	52
Tabela 5.1 – Valores extremos das concentrações máximas dos compostos de nitrogênio (mg/L) considerada a geração aleatória da $K_{so}$ , a partir de diferentes coeficientes e percentuais de variação.....	75
Tabela 5.2 – Valores extremos das concentrações máximas dos compostos de nitrogênio (mg/L) considerada a geração aleatória da $K_{oa}$ , a partir de diferentes coeficientes e percentuais de variação.....	75
Tabela 5.3 – Valores extremos das concentrações máximas dos compostos de nitrogênio (mg/L), considerados a geração aleatória da $K_{an}$ a partir de diferentes coeficientes e percentuais de variação.....	80
Tabela 5.4 – Valores extremos das concentrações máximas dos compostos de nitrogênio (mg/L), considerados a geração aleatória da $K_{nn}$ a partir de diferentes coeficientes e percentuais de variação.....	84
Tabela 5.5 – Perfis de concentração de nitrogênio orgânico para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água. ....	96
Tabela 5.5 – Perfis de concentração de nitrogênio orgânico para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	97
Tabela 5.5 – Perfis de concentração de nitrogênio orgânico para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	98
Tabela 5.6 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água. ....	99
Tabela 5.6 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	100
Tabela 5.6 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	101
Tabela 5.7 – Perfis de concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água.....	102

Tabela 5.7 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	103
Tabela 5.7 – Perfis de concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	104
Tabela 5.8 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água.....	105
Tabela 5.8 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	106
Tabela 5.8 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	107
Tabela 5.9 – Perfis de concentração de nitrogênio orgânico para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água. ....	109
Tabela 5.9 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	109
Tabela 5.9 – Perfis de concentração de nitrogênio orgânico para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	109
Tabela 5.10 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água. ....	109
Tabela 5.10 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	109
Tabela 5.10 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	109
Tabela 5.11 – Perfis de concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água.....	109
Tabela 5.11 – Perfis de concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).....	109

Tabela 5.11 – Perfis de concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação). .....	109
Tabela 5.12 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água.....	109
Tabela 5.12 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação). .....	109
Tabela 5.12 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação). .....	109



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 3.1 – Formas predominantes de nitrogênio, no ambiente aquático.....	27
Quadro 3.2 – Evolução dos modelos de qualidade de água. ....	33
Quadro 3.2 – Evolução dos modelos de qualidade de água (continuação). ....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Área da bacia
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPC	Consumo per capita(L/hab.d)
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
H,y	Profundidade do rio
$K_{so}$	Coefficiente de remoção do nitrogênio orgânico por sedimentação( $d^{-1}$ )
$K_{oa}$	Coefficiente de conversão do nitrogênio orgânico a amônia ( $d^{-1}$ )
$K_{an}$	Coefficiente de conversão da amônia a nitrito(coefficiente de nitrificação ( $d^{-1}$ ))
$K_{nn}$	Coefficiente de conversão de nitrito a nitrato(coefficiente de nitrificação ( $d^{-1}$ ))
$N_{tot}$	Nitrogênio total (mgN/L)
Norg	Nitrogênio orgânico (mgN/L)
Namon	Amônia (mgN/L)
Nnitri	Nitrito (mgN/L)
Nnitrat o	Nitrato(mgN/L)
OD	Oxigênio Dissolvido
QUAL2E	The Enhanced Stream Water Quality Models
QUAL-UFMG	Modelo de Qualidade de Águas baseado na QUAL2E
$Q_{7,10}$	Valor anual da menor média de 7 vazões diárias consecutivas que se pode repetir, em média, uma vez a cada 10 anos - período de retorno de 10 anos
$SN_{amon}$	coeficiente de liberação de amônia pelo sedimento de fundo ( $gO_2/m^2.d$ )
UPGRH	Unidades de Planejamento de Recursos Hídricos
vs	Velocidade de sedimentação do material particulado Velocidade média
d	Distância

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	24
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	24
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>25</b>
3.1. COMPOSTOS DE NITROGÊNIO EM CORPOS D'ÁGUA.....	25
3.2. MODELAGEM MATEMÁTICA DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	31
3.3. MODELAGEM DO CICLO DO NITROGÊNIO.....	36
3.4. ANÁLISE DE INCERTEZA .....	40
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>44</b>
4.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	44
4.2. INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS E DE QUALIDADE DE ÁGUA.....	47
4.3. MODELAGEM MATEMÁTICA DO CICLO DO NITROGÊNIO .....	48
4.4. CONSTANTES CINÉTICAS.....	51
4.5. MÉTODO DE MONTE CARLO .....	52
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
5.1. CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DOS COMPOSTOS DE NITROGÊNIO .....	57
5.2. AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO ALEATÓRIA DAS CONSTANTES CINÉTICAS .....	70
5.2.1. Constantes Cinéticas que Regulam o Decaimento do nitrogênio orgânico.....	70
5.2.2. Constantes cinéticas que regulam o decaimento do nitrogênio amoniacal.....	77
5.2.3. Constante Cinética que Regula o Decaimento de Nitrito e Acumulação de Nitrato.....	81
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>86</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>108</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio é encontrado no meio ambiente em diferentes formas: nitrogênio orgânico, amônia, nitrogênio gasoso, nitrito e nitrato. Nos corpos d'água, o termo nitrogênio total é empregado para representar a soma das concentrações das formas de nitrogênio encontradas na água.

Os compostos de nitrogênio podem ser introduzidos em corpos d'água por meio de fontes naturais ou como consequência de atividades antropogênicas. A fixação biológica, processos de precipitações, escoamento e drenagem rural são alguns exemplos de fontes naturais de nitrogênio. Já as fontes antropogênicas abrangem diversas atividades industriais, escoamento de águas em centros urbanos, usos de fertilizantes no meio rural e despejo de material fecal e urina em corpos d'água sem tratamento adequado (FERRETI, 2005).

Nos seus diferentes estados de oxidação, os compostos nitrogênio (principalmente aqueles na forma de nitrato) nos corpos d'água configuram um problema de saúde humana. O nitrato tem a capacidade de produzir a metemoglobina, elemento que reduz o transporte de oxigênio para os tecidos e, em concentrações elevadas no organismo humano, pode ocasionar o óbito. (FERNICOLA, 1981).

Além dos riscos a saúde humana, a determinação da forma predominante do nitrogênio em um curso d'água pode fornecer indicações sobre o estágio da poluição eventualmente ocasionada por algum lançamento de esgotos a montante (VON SPERLING, 2006). Elevadas concentrações de nitrogênio orgânico, por exemplo, indicam a disposição final recente de esgoto.

Por serem mais facilmente assimilados por algas e plantas aquáticas, o nitrogênio amoniacal e o nitrato pode acelerar o processo de eutrofização. Este cenário compromete a manutenção da vida aquática, além de constituir um problema para o abastecimento de água (LARENTIS, 2004).

Constituem outros problemas ambientais associados ao ciclo do nitrogênio que merecem particular atenção:

- A amônia, particularmente na forma não-ionizada, é tóxica para peixes;

- Durante o processo de nitrificação (processo conformado por reações de oxidação) ocorrem adições de oxigênio (ou eliminação de hidrogênio) à molécula orgânica. Desta forma, a nitrificação pode deplecionar os níveis de oxigênio do corpo d'água.

Neste contexto, para o adequado gerenciamento dos compostos nitrogenados em corpos d'água, ganha relevância a simulação do ciclo do nitrogênio com o auxílio de modelos matemáticos de qualidade de água.

A Modelagem Matemática pode ser definida como uma representação da realidade ou uma tradução simplificada e generalizada do que se afigura como sendo conjunto de características mais importantes de uma situação do mundo real, ou como uma abstração da realidade utilizada para se obter clareza conceitual – reduzir a variedade e complexidade do mundo real a um nível que se possa entender e representar (SILVA, 2007).

Modelos ambientais objetivam representar a realidade tal como é observada ou medida e, por isto, dificilmente conseguem representar toda a complexidade das múltiplas interações nos sistemas ambientais, várias delas não mensuráveis ou quantificáveis (VON SPERLING, 2007).

O uso de modelos matemáticos para previsão de comportamentos no meio ambiente apresenta limitações quando o conhecimento acerca de processos físicos, químicos e biológicos de um meio é restrito ou quando os recursos financeiros ou tecnológicos são limitados para observação e monitoramento do que realmente ocorre no meio ambiente. Neste sentido torna-se relevante a análise de incerteza dos resultados produzidos a partir do emprego de modelos matemáticos.

A realização da análise de incerteza permite que os resultados sejam expressos em termos probabilísticos e não apenas como valores únicos, determinísticos. Adicionalmente, permite realizar a análise de sensibilidade dos dados de entrada e dos coeficientes do modelo (VON SPERLING, 2007).

Dentre as metodologias disponíveis para análise de incerteza destaca-se a simulação de Monte Carlo, na qual, a partir de um elevado número de simulações nas quais os valores das variáveis de entrada variam de uma para outra, são

possíveis inferências quanto à interferência de cada variável (dado de entrada ou coeficiente) nos resultados do modelo (SILVA, 2007).

Por se basear em um grande número de simulações computacionais e na incorporação de incertezas relacionadas com as variáveis hidrodinâmicas ou constantes cinéticas, o método de Monte Carlo permite simulações mais consistentes do comportamento dos parâmetros empregados para a descrição da qualidade de corpos d'água.

O presente trabalho tem como principal objetivo empregar o método de Monte Carlo para simular as transformações dos compostos de nitrogênio no trecho final do Rio Piracicaba, importante afluente do Rio Doce que, no seu percurso, recebe relevantes aportes de compostos nitrogenados devido ao estabelecimento de vários municípios de pequeno e médio porte ao longo de suas margens e de seus afluentes, tornando a poluição por esgotos domésticos um dos principais problemas a serem enfrentados na bacia hidrográfica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o comportamento dos compostos de nitrogênio em rio a partir da utilização combinada de modelo matemático de qualidade de água e do método de Monte Carlo.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Visando atender ao objeto geral proposto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Desenvolver ambiente computacional para simulação de qualidade de água com incorporação da análise de incerteza pelo método de Monte Carlo;
2. Simular a variação dos compostos de nitrogênio, incorporando análise de incerteza conduzida com auxílio das distribuições Normal e Uniforme;
3. Avaliar a influência da forma de geração aleatória de constantes cinéticas sobre os resultados da simulação dos compostos de nitrogênio.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. COMPOSTOS DE NITROGÊNIO EM CORPOS D'ÁGUA

A vida no ambiente aquático depende diretamente da presença de macro e micronutrientes. O carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e fósforo constituem exemplos de macronutrientes, necessários em grande quantidade e que participam em quantidades superiores a 1% do peso orgânico seco dos seres vivos. Já os micronutrientes, como manganês, cobre e zinco também são necessários, mas em menor quantidade (BRAGA *et al.*, 2002).

Os nutrientes estão presentes em diferentes formas no ecossistema aquático: na forma de sedimentos, particulados orgânicos, dissolvidos na forma orgânica e inorgânica e na biota aquática (algas, zooplâncton, peixes, etc.). Somente as formas inorgânicas dissolvidas estão disponíveis para o crescimento de algas, as quais incluem o CO<sub>2</sub> dissolvido, amônia, nitrito, nitrato, ortofosfato e sílica dissolvida. (CHAPRA, 1997).

Diversas são as fontes de introdução de compostos de nitrogênio em corpos d'água. A fixação biológica, processos de precipitações, escoamento e drenagem rural, decomposição de plantas e animais, bem como fezes e urina desses animais, são alguns exemplos de fontes naturais de nitrogênio.

Já as fontes antropogênicas abrangem diversas atividades industriais (refinarias de petróleo, curtumes, produção de fertilizantes, indústrias de alimentos, indústrias químicas em geral), escoamento de águas em centros urbanos (acréscimo de nitrogênio através do carreamento de partículas), usos de fertilizantes no meio rural e despejo de material fecal e urina em corpos d'água sem tratamento adequado (principais fontes de nitrogênio em esgotos domésticos) (FERRETI, 2005).

O nitrogênio é um componente de grande importância em termos da geração e do próprio controle da poluição dos corpos d'água (VON SPERLING, 2007).

No esgoto, os compostos de nitrogênio constituem elementos indispensáveis para o crescimento de microorganismos responsáveis por seu tratamento. Além disso, os processos de conversão do nitrogênio têm implicações na operação das estações de tratamento de esgotos (PEREIRA; MENDONÇA, 2005).



Em cursos d'água utilizados para irrigação, a presença de compostos nitrogenados é bem vinda, pelo fato de atuarem como fertilizante da cultura irrigada (VON SPERLING, 2007). Sua presença em excesso, no entanto, pode acarretar em diversos problemas relacionados à qualidade da água. Uma consequência bastante conhecida é o fenômeno da eutrofização que, em termos de qualidade da água, pode ser definido como o excessivo crescimento de espécies vegetais (produção primária) no meio aquático para níveis em que se considere que a utilização normal e desejável da água seja afetada. Alterações significativas do pH, redução de oxigênio dissolvido, aumento no custo de tratamento da água para consumo, morte extensiva de peixes e aumento da incidência de florações de microalgas, especialmente de cianobactérias, são exemplos dos problemas decorrentes da eutrofização. Em águas naturais, a ocorrência do ciclo do nitrogênio afeta os níveis de oxigênio dissolvido. Nos processos bioquímicos de oxidação aeróbia dos compostos de nitrogênio, se a demanda de oxigênio por esses processos for maior que a oxigenação disponível no ambiente, a vida aquática pode ficar comprometida (VON SPERLING, 2005; ROQUES, 2006).

A determinação da forma predominante de nitrogênio em cursos d'água pode fornecer indicações sobre o estágio de poluição eventualmente ocasionada por algum lançamento de esgotos à montante. Um corpo d'água contendo altas concentrações de nitrogênio orgânico e amoniacal e baixas concentrações de nitrito e nitrato apresenta poluição recente. Por outro lado, a ausência de nitrogênio orgânico e amônia e a presença de algum nitrato, sugerem um corpo d'água com poluição remota, pois a nitrificação já ocorreu (TEBBUTT, 1992; VON SPERLING, 2007).

O nitrogênio amoniacal é encontrado naturalmente em corpos d'água superficiais, bem como em água residuárias, já que a amônia é o principal produto de excreção dos organismos aquáticos (PEREIRA; MENDONÇA, 2005).

A presença de amônia pode caracterizar ainda o efluente de uma estação de tratamento de esgotos sanitários a nível terciário, onde o processo de nitrificação é induzido e controlado com o objetivo de redução de nutrientes. O nitrito é encontrado em pequenas quantidades em águas superficiais, pois é instável na presença de oxigênio. Sua presença em água indica processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica (PIEDRAS et al, 2006).

A presença de nitrito indica também carência de oxigênio, e sob essas condições, pode haver redução parcial do nitrato, elevando as concentrações de nitrito (TEIXEIRA, 2006).

Na forma de nitrato, está associado a doenças como a metemoglobinemia. Sua presença no corpo d'água possibilita a formação da metemoglobina no organismo humano que em concentrações elevadas é incompatível com a vida, uma vez que reduz o transporte de oxigênio para os tecidos (FERNICOLA, 1981).

Além de indicar poluição remota, a predominância do nitrato pode ser explicada por sua estabilidade. O nitrato é a forma oxidada mais estável do nitrogênio em solução aquosa. Por isso, o nitrato é a forma mais comum de nitrogênio combinado encontrado na natureza e praticamente ausente no esgoto bruto. Já a presença de todas as espécies significa uma fase intermediária de poluição ou um despejo contínuo associado a um baixo padrão de circulação da água do corpo receptor (LEITE, 2004).

A diversidade de fontes de material nitrogenado pode ser explicada por sua complexidade química. Devido ao alto número de estados de oxidação que pode assumir, o nitrogênio está presente em vários compostos. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas diferentes formas e estados de oxidação apresentadas no Quadro 3.1.

**Quadro 3.1 – Formas predominantes de nitrogênio, no ambiente aquático.**

<b>FORMA</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>ESTADO DE OXIDAÇÃO</b>
Nitrogênio Molecular	$N_2$	0
Nitrogênio Orgânico	variável	variável
Amônia Livre	$NH_3$	-3
Íon amônio	$NH_4^+$	-3
Íon nitrito	$NO_2^-$	+3
Íon nitrato	$NO_3^-$	+5

Fonte: Von Sperling (2007)

No ambiente aquático, o termo nitrogênio total é empregado para representar a soma das concentrações das formas ali encontradas. A Figura 3.1 representa, de forma esquemática, os diferentes processos envolvidos nas transformações do nitrogênio em corpos d'água.

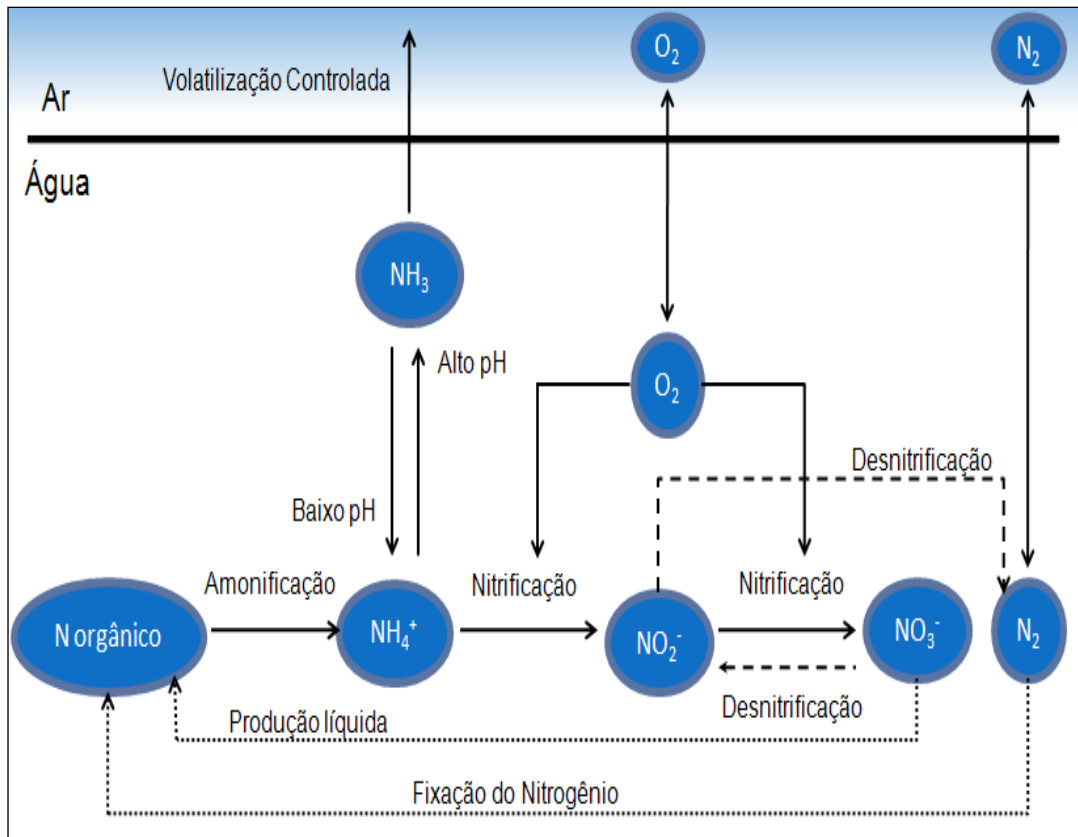


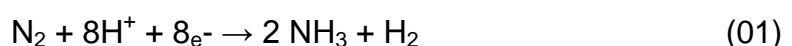
Figura 3.1 – Representação Esquemática do Ciclo do Nitrogênio em Corpos d'água

Fonte: Chapra (1997)

O ciclo do nitrogênio no ambiente aquático apresenta-se predominantemente na fase gasosa, tem extensa participação de microorganismos e pode ser dividido em quatro processos principais: fixação do nitrogênio atmosférico em nitratos, amonificação, nitrificação e desnitrificação (ESTEVES, 1988; BRAGA *et al.*, 2002).

No processo de fixação, o nitrogênio gasoso (N<sub>2</sub>) é transformado em nitrogênio orgânico. Este processo ocorre, em sua maior parte, biologicamente e é realizado por microorganismos ou, em menor porcentagem, através de descargas elétricas na atmosfera (REIS, 1997).

Dentre os organismos que podem fixar o nitrogênio destacam-se as cianobactérias, microorganismos associados a diversos problemas de qualidade das águas. Com altas populações de organismos fixadores de nitrogênio, a concentração de nitrogênio pode cair bastante, limitando o crescimento de organismos não fixadores (VON SPERLING, 2007). O processo de fixação biológica pode ser representado pela equação (01).



Depois de fixado, o nitrogênio, agora em sua forma orgânica, é transformado em nitrogênio amoniacal através de um processo denominado amonificação. O processo de amonificação pode ser representado por meio da reação indicada pela equação (02).



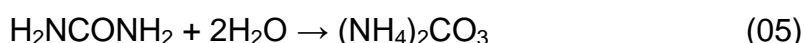
Como verificado na equação (02), a amônia existe em solução, tanto na forma de íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), como na forma livre, não ionizada ( $\text{NH}_3$ ). O equilíbrio dinâmico entre as duas formas é estabelecido por meio da equação (03).



Este equilíbrio é fortemente dependente do pH e da temperatura (PIEDRAS et al, 2006). A equação (04), proposta originalmente por Emerson et al. (1975), permite apropriar a proporção de amônia livre nas concentrações de amônia total em função do pH e da temperatura.

$$\text{NH}_3(\%) = \frac{100}{1,10 \left[ 0,09018 + \left( \frac{2729,92}{T+273,20} \right) \right] \cdot \text{pH}} \quad (04)$$

O nitrogênio também pode ser encontrado na urina, principalmente como uréia. A hidrólise da ureia produz sais de amônia como simplificada e representado pela seguinte equação (05).



Na assimilação, a amônia ou os nitratos são utilizados pelos vegetais clorofilados para a formação de proteínas. Embora o fitoplâncton utilize tanto amônia quanto o nitrato, parece haver preferência pelo primeiro (CHAPRA, 1997).

A assimilação da amônia e dos nitratos é rerepresentada, respectivamente, pelas equações (06) e (07).

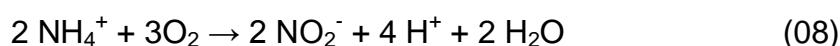


O processo de transformação de nitrogênio na forma amoniacal para nitritos, e em seguida para nitratos é denominado nitrificação. Este processo não remove nitrogênio total, apenas muda suas formas, convertendo amônia a nitrato (VON SPERLING, 2007). Além disso, a nitrificação é um processo biológico que necessita

da ação de bactérias nitrificantes, bactérias que ocorrem naturalmente em locais onde existam condições aeróbias e nitrogênio amoniacal (FERREIRA, 2000).

Os microorganismos normalmente envolvidos neste processo são autótrofos quimiossintetizantes, para os quais o CO<sub>2</sub> é a principal fonte de carbono, e a energia é obtida através da oxidação de um substrato inorgânico, como a amônia, a fontes mineralizadas (VON SPERLING, 2007).

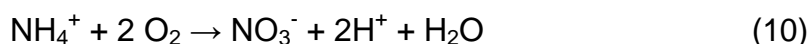
As bactérias do gênero *Nitrosomonas* oxidam o nitrogênio amoniacal, formando o nitrito segundo a equação (08).



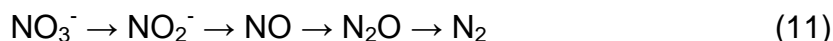
As bactérias do gênero *Nitrobacter* transformam o nitrito em nitrato pelo processo de oxidação, novamente com liberação de energia, como mostra a equação (09).



A reação global da nitrificação é a soma das equações (08) e (09), cujo resultado é representado pela equação (10).



O processo de redução dos nitratos é chamado desnitrificação. Desta forma, os nitratos formados a partir da nitrificação, além de serem assimilados, podem, através da desnitrificação, ser convertidos a nitrogênio gasoso. Este processo de redução ocorre em condições anóxicas. Desta maneira, os nitratos são utilizados por microorganismos heterotróficos como o receptor de elétron nos processos respiratórios, em substituição ao oxigênio (VON SPERLING, 2007). A reação indicada pela equação (11) caracteriza o processo de desnitrificação.



Ao mesmo tempo em que o processo de desnitrificação regula a produção primária de ecossistemas limitados por nitrogênio, promove o controle do processo de eutrofização artificial em corpos d'água que recebem efluentes com elevadas concentrações de compostos nitrogenados (ENRICH-PRAST, 2005).

O processo de desnitrificação é realizado pela ação de bactérias do gênero *Pseudomonas* (BRAGA *et al.*, 2002). Esteves (1988) afirma que a desnitrificação, no meio aquático, geralmente ocorre em sedimentos.

### 3.2. MODELAGEM MATEMÁTICA DE QUALIDADE DA ÁGUA

A existência de fontes pontuais em rios e córregos implica em impactos à jusante que podem comprometer os usos futuros desses recursos hídricos. Neste contexto, a modelagem matemática apresenta-se como uma ferramenta útil para a avaliação do impacto da disposição de efluentes, permitindo avaliar o atendimento das questões de natureza legal e, subsidiar atividades de licenciamento (MENDES, 2010).

Os modelos matemáticos de qualidade da água permitem tanto o entendimento da relação de causa-efeito entre as emissões de cargas poluentes e os impactos na qualidade da água, quanto à determinação de medidas de controle e seus efeitos prováveis (IWA, 2001).

Em um modelo matemático, as observações de um fenômeno se iniciam de maneira qualitativa para que sejam entendidas as causas, efeitos e agentes intervenientes na sua ocorrência. A partir desta etapa seguem as observações quantitativas e, posteriormente, busca-se sua tradução para um modelo matemático (LEITE, 2004).

De acordo com Andrade (2007), os fenômenos do ambiente aquático podem ser traduzidos de maneira eficiente para modelos matemáticos. Esta atividade consiste na representação dos processos físicos, químicos ou biológicos que ocorrem no ambiente aquático por meio de um conjunto de equações capazes de descrever adequadamente aqueles processos.

Alguns modelos representam uma situação real de forma suficientemente precisa, enquanto outros são empregados apenas para uma aproximação inicial, devido a simplificações em sua formulação. Desta forma, o emprego de um modelo matemático inadequado pode gerar resultados insatisfatórios com conclusões equivocadas (BRAGA et.al., 2002).

A modelagem da qualidade da água é destinada à simulação dos processos de transporte e autodepuração de um corpo d'água, propiciando assim, antever e avaliar, para diferentes cenários, as alterações na qualidade das águas de um efetivo e/ou possível corpo receptor de descargas de poluentes e contaminantes (GIORGETTI; LIMA, 2001).

Em bacias norte-americanas, a modelagem matemática é amplamente utilizada no planejamento dos recursos hídricos através do cálculo da carga máxima total diária (TDML) (LARENTIS, 2004). A TDML é a estimativa da carga máxima de um poluente que um corpo de água pode receber sem que os padrões de qualidade de água sejam violados (ROQUES, 2006).

Para a definição dos parâmetros a serem utilizados na modelagem matemática de qualidade de água devem ser considerados os seguintes aspectos (LARENTIS, 2004):

- a facilidade de monitoramento do parâmetro e disponibilidade de dados históricos;
- as possibilidades de simulação do poluente através de um modelo; e
- a representatividade do poluente como indicador das fontes de poluição e dos processos que ocorrem no curso d'água.

O marco inicial da evolução da modelagem de qualidade da água ocorreu em 1925 com a elaboração de uma formulação matemática para modelagem de oxigênio dissolvido em corpos d'água - o modelo Streeter-Phelps. Este modelo relaciona o consumo de oxigênio pela conversão da matéria orgânica e a reaeração atmosférica no balanço de oxigênio dissolvido no corpo d'água.

Trata-se de um modelo simplificado por não considerar outros fatores que também interferem no balanço de oxigênio, como reações de nitrificação ou fotossíntese, por exemplo. O modelo de Streeter-Phelps assume o lançamento constante de um poluente em um ponto de um rio de vazão constante e seção transversal uniforme (STREETER; PHELPS, 1925).

Um breve resumo da evolução histórica dos modelos matemáticos de qualidade de água é apresentado no Quadro 3.2. O referido quadro reúne ainda as principais características e os parâmetros considerados por cada modelo.

**Quadro 3.2 – Evolução dos modelos de qualidade de água.**

ANO	MODELO	CARACTERÍSTICAS
1925	STREETER-PHELPS	<i>Este modelo representa o balanço entre Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) definidos na forma de equações diferenciais ordinárias de primeira ordem.</i>
1963	CAMP	<i>É um modelo de simulação de OD/DBO que modifica as equações originais do modelo Streeter-Phelps adicionando os termos referentes à sedimentação e/ou resuspensão, DBO do escoamento superficial e fotossíntese.</i>
1964	DOBBINS	<i>Modelo de simulação de OD/DBO na forma de equações diferenciais de segunda ordem, considerando os efeitos da demanda bentônica, fotossíntese e respiração no acréscimo da taxa de OD.</i>
1967	O'CONNOR	<i>Este modelo de simulação OD/DBO utiliza uma equação onde os termos referentes à DBO carbonácea e DBO nitrificante estão separados.</i>
1970	DOSAG I	<i>Modelo proposto pelo Texas Water Development Board (WDB) que apresenta, de forma integrada, a equação do modelo Streeter-Phelps e é aplicável a sistemas unidimensionais sem considerar os efeitos da dispersão.</i>
1970	DOSAG III	<i>Criado pela Environmental Protection Agency (EPA), este modelo registra maior habilidade nos procedimentos de simulação e maior número de parâmetros simulados no DOSAG I.</i>
1971	QUAL I	<i>O modelo QUAL I, desenvolvido pelo Texas WDB, usa equações unidimensionais de dispersão-advectação pela solução das diferenças finitas. É diferente dos modelos acima citados, que utilizam um trecho como um elemento computacional e necessitam apenas de lançamento no início e final de cada trecho a ser alimentado. Utiliza um elemento computacional padrão de um comprimento estabelecido através do sistema. Elementos computacionais com propriedades hidrológicas e físicas similares são agrupados no mesmo trecho.</i>
1971	CE – QUAL-I CM	<i>O modelo CE-QUAL -I CM pode ser aplicado em uma, duas ou três dimensões e deve ser ligado a um modelo hidrodinâmico. Inclui processo detalhado de qualidade d'água para temperatura, salinidade, balanço de OD/carbono, ciclos de nitrogênio, fósforo e sílica e interações de fitoplâncton, zooplâncton, bactéria e sedimentos. O CE-QUAL-ICM requer uma grande quantidade de dados para calibragem de processos químicos e biológicos.</i>

Fonte: Adaptado de Lima (2001)



**Quadro 3.2 – Evolução dos modelos de qualidade de água (continuação).**

1972	QUAL II	<i>O modelo QUAL- II é uma modificação do QUAL –I proposto pela EPA – Enviromental Protection Agency, sendo aplicável para rios profundos e dentríticos. Pode simular variações temporais e espaciais de até treze parâmetros de qualidade de água.</i>
1972	CE – QUAL - RIVI	<i>O modelo CE-QUAL-RIVI é hidrodinâmico, unidimensional e de qualidade da água, usado para simular escoamentos altamente variáveis em rios com barragens ou outras estruturas. O transporte de poluentes por advecção e dispersão está ligado à hidrodinâmica e transformações de poluentes também são simuladas.</i>
1974	SIMOX (Dissolved Oxygen Simulation Model)	<i>O modelo de simulação de oxigênio dissolvido inclui OD/DBO, bactéria (Chick's Law) e uma substância conservativa. A versão mais recente também decaimento de primeira ordem de nitrogênio e fósforo para representar sedimentação, absorção e transformação.</i>
1976	QUAL II-SEMOG	<i>QUAL II-SEMOG é um modelo matemático determinístico, unidimensional de Qualidade de água, desenvolvido pela firma Water Resource Engineering para o Southeast Michigan Council of Governments, a partir do modelos QUAL I e QUAL II. Pode ser operado tanto em regime permanente quanto dinâmico, embora, em termos hidráulicos, forneça apenas soluções permanentes.</i>
1976	CE-QUAL-W2	<i>O modelo CE-QUAL-W2 é bidimensional vertical, hidrodinâmico e de Qualidade da água. Inclui temperatura, salinidade, ciclos de OD, carbono, nitrogênio, fósforo, fitopanctum e bactéria. Vários níveis de complexidade são possíveis devido à organização modular das simulações de qualidade d'água. O CE-QUAL-W2 tem sido aplicado largamente para rios, lagos, reservatórios e estuários nos Estados Unidos.</i>

Fonte: Adaptado de Lima (2001)

**Quadro 3.2 – Evolução dos modelos de qualidade de água (continuação).**

1985	QUAL-2EU	<i>QUAL2E é um modelo unidimensional de estado permanente, usado frequentemente para simular os efeitos de descargas de poluição de fontes pontuais e não-pontuais na Qualidade da água de rios. Ciclos detalhados de OD/DBO e de nutrientes são simulados, considerando os efeitos de respiração de algas, reaeração e demanda de oxigênio de sedimentos. Os metais podem ser simulados arbitrariamente como constituintes conservativos ou não. Sua hidrodinâmica baseia-se na equação unidimensional de advecção-dispersão. É amplamente utilizado em todo o mundo, havendo diversos exemplos de aplicação no Brasil.</i>
2003	QUAL 2Kw	<i>O QUAL2Kw é um modelo de qualidade de água de cargas pontuais e difusas aplicado em rios e córregos, distribuído pela Agência Norte Americana de Proteção Ambiental (USEPA). O modelo é baseado em equações diferenciais ordinárias para sistemas unidimensionais e de fluxo constante (regime permanente de vazões), apresenta algumas características do modelo Qual-2EU. Pode ser utilizado para simular o comportamento de diversos indicadores e constituintes de qualidade de água.</i>
2007	QUAL-UFMG	<i>Desenvolvido no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG), o programa baseia-se no QUAL-2EU. Apresenta-se como um modelo simples, versátil e em linguagem acessível, por utilizar o ambiente computacional compatível com a planilha Microsoft Excel. Permite a simulação de parâmetros como OD, DBO, nitrogênio total e suas frações, fósforo total e suas frações, coliformes termotolerantes. Nele os resultados das simulações podem ser facilmente visualizados através dos gráficos contidos em suas planilhas. O modelo permite ainda avaliar o atendimento à legislação ambiental para cada parâmetro simulado</i>

Fonte: Adaptado de Lima (2001)

### 3.3. MODELAGEM DO CICLO DO NITROGÊNIO

Com o auxílio de modelos matemáticos de qualidade de água é possível simular os processos envolvidos no ciclo do nitrogênio. O nitrogênio é fortemente suscetível a transformações no ambiente (LEITE, 2004). Em função das formas que assume, as transformações podem ser modeladas como reações de primeira ordem, ou seja, a taxa de perda da substância é proporcional à concentração para qualquer tempo. Por constituir uma substância não conservativa, seu balanço de massa deve levar em conta os processos cinéticos de decaimento que ocorrem em cada trecho de rio entre dois afluentes (SOUZA; SILVA, 2010).

Segundo Reis (1997), dentre os diversos modelos de simulação de parâmetros de qualidade de água, o modelo QUAL2E permite acompanhar as transformações que conformam o ciclo do nitrogênio em corpos d'água com condições aeróbias naturais, além de constituir uma ferramenta prática e versátil para simular o processo de nitrificação em rios. O referido autor utilizou o modelo computacional QUAL2E para simular o processo de nitrificação e avaliar, nos rios Piracicaba e Doce, o atendimento dos padrões de qualidade ambiental associados aos compostos amoniacais em efluentes e mananciais de água doce.

Pereira e Mendonça (2005) utilizaram o modelo QUAL2E para simular parâmetros de qualidade de água relacionados com nitrogênio em um trecho de curso d'água situado imediatamente a montante de um reservatório, na bacia do Rio Santa Maria da Vitória, estado do Espírito Santo. As simulações realizadas variaram entre os dados referentes à campanha que apresentou a menor vazão para o rio, dados referentes à maior vazão e à vazão mais próxima da média para cada rio. Além disso, foram realizadas simulações considerando a existência de tratamento de esgotos, reduzindo-se as concentrações de compostos nitrogenados dos municípios que realizavam a disposição final dos seus efluentes no rio Santa Maria da Vitória. A aplicação do modelo de simulação de qualidade de água neste estudo de caso apontou-o como ferramenta extremamente útil na tomada de decisão no que concerne a concentração permitida para os compostos nitrogenados lançados em cursos d'água e para estimativa das eficiências necessárias para tratamento de efluentes.

Bottino (2008) utilizou o modelo QUAL2K no rio Canha, localizado no baixo Ribeirão de Iguape, estado de São Paulo, para verificar a evolução da concentração de nitrato devido ao processo de nitrificação e sua perda por desnitrificação e fotossíntese. Adicionalmente, verificou a concentração de nitrogênio total a partir do balanço de nitrogênio orgânico, amoniacal e nitrato. O modelo utilizado ajustou-se de maneira satisfatória para a maioria dos dados experimentais e os resultados apontaram que as concentrações e cargas específicas de nitrogênio total foram altas para os períodos seco e chuvoso do ano hidrológico.

Guedes (2009) simulou parâmetros de nitrogênio total e suas frações (nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato), fósforo, OD e DBO no Rio Pomba, afluente do Rio Paraíba do Sul, localizado nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Para as simulações de qualidade de água foram empregados os modelos QUAL-UFMG e QUAL2K. Os resultados demonstraram que, durante o período chuvoso, houve uma melhora na qualidade da água em termos de OD, mas que o excesso de matéria orgânica e o aumento das concentrações de outros parâmetros de qualidade da água como fósforo, nitrogênio e coliformes, comprometeu os níveis satisfatórios de qualidade. Adicionalmente, o autor verificou que o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados de qualidade de água no Rio Pomba foi o QUAL-UFMG.

Para a avaliação da qualidade da água do rio Andrada, visando à construção de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH), Santos (2009) utilizou o modelo computacional QUAL2K. O modelo foi calibrado para a simulação de diferentes parâmetros de qualidade de água, incluindo-se nitrogênio em suas diferentes formas. Para a calibração do modelo foram empregados registros de qualidade de água da estação de São Sebastião, localizada no município de Capitão Leônidas Marques, PR. A partir disso foram estabelecidos dois cenários de simulação. O primeiro, referente à simulação para o período de 30 dias e o segundo, para o mesmo período, porém considerando-se a adição de cargas poluentes ao longo da extensão do rio em estudo. A qualidade da água mostrou-se, para os compostos nitrogenados, compatível com os padrões fixados pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Em 2010, o modelo QUAL2K foi aplicado para verificar a capacidade de assimilação de cargas pontuais em um trecho do Rio Itapanhú, curso d'água localizado no Centro leste do estado de São Paulo. As simulações consideraram vários

parâmetros, dentre os quais amônia e nitratos. Nesse estudo, conforme observa Mendes (2010), foram simulados nove cenários de poluição, revelando que o Rio Itapanhú apresenta boa capacidade de assimilação para compostos nitrogenados. Foi demonstrado ainda que, embora as concentrações simuladas não ultrapassassem os limites fixados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios Classe 2 após a disposição de efluentes no período chuvoso, para todas as condições de maré (Alta e Baixa) houve um aumento significativo de nitrogênio na forma de amônia.

O modelo HSPF, desenvolvido United States Environmental Protection Agency para simulação das diferentes fases do ciclo hidrológico e da qualidade de água em bacias hidrográficas, foi utilizado por Jung e Deng (2011) para avaliar a retenção de nitrogênio no rio Amite, curso d'água localizado no sudeste da Louisiana (EUA). Segundo os referidos autores, a modelagem de retenção de nitrogênio no rio Amite apresentou-se importante não apenas para avaliação da restauração costeira, mas também necessária para a estimativa do total de carga máxima diária (TMDL) suportada pelo curso d'água.

Hadjikakou *et al.* (2011) aplicaram o modelo de nitrogênio INCA (Integrated Nitrogen in Catchments) para modelar futuras alterações nas concentrações de nitrato, em função das mudanças climáticas, na bacia do rio Yesilirmak, curso d'água localizado no norte da Turquia. Os autores simularam dois períodos futuros (2021-2050 e 2069-2098) e compararam com um período de referência (1961-1990) a fim de avaliar a eficácia das várias intervenções possíveis na bacia. Os autores concluíram que, na parte urbanizada da bacia, os efeitos das alterações climáticas e outras alterações ambientais atuariam na mesma direção, levando as concentrações de nitrato para um pico de 7,5 mg N/L no período (2069-2098). O mesmo estudo revelou que a instalação de estações de tratamento de águas residuárias nos principais povoados ao longo da bacia poderia garantir níveis melhores de nitrato para o período (2021-2050).

Gonçalves *et al.* (2011), simularam durante um mês chuvoso (março) e um mês seco (agosto), a concentração de condutividade, oxigênio dissolvido, cloreto, amônia, nitrato e demanda bioquímica de oxigênio, nas águas do Rio Jaú, no trecho urbano do município de Jaú (SP). Para a condução das simulações foram empregadas soluções numéricas implementadas em um software de planilha eletrônica, ou folha

de cálculo, com passo de integração de 50 metros. Os resultados indicaram que, apesar da sazonalidade de alguns dos parâmetros estudados, as águas do rio Jaú estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente. O bom ajuste entre os valores simulados pelo modelo e os dados coletados em campo indicaram que o modelo pode ser utilizado em estudos associados a avaliação da capacidade da assimilação de efluentes pelo rio Jaú, além de permitir a quantificação dos impactos causados por determinadas ações pontuais.

Ao avaliar a capacidade de autodepuração do Rio Jordão (MG) com auxílio do modelo Qual-UFMG, Salla *et al.* (2013) consideraram as contribuições reais do córrego Brejo Alegre em período de estiagem e dois cenários que levam em conta as cargas poluidoras associadas à estação de tratamento de esgoto. Os autores observaram que, para a simulação no período de estiagem, a calibração foi considerada aceitável e evidenciou a prevalência da desoxigenação por demanda carbonácea sobre a nitrificação e a importância da reaeração natural no processo de autodepuração.

### 3.4. ANÁLISE DE INCERTEZA

Os modelos matemáticos são construções teóricas que incluem uma série de coeficientes, além de requisitar dados de entrada. No entanto, quando um modelo é aplicado, pouco se questiona quanto à confiabilidade dos coeficientes e dados de entrada empregados. Nem sempre é possível mensurar em campo os coeficientes necessários ao modelo devido a questões técnicas ou econômicas. Desta forma os dados de entrada do modelo e os coeficientes podem não apresentar confiabilidade suficiente (VON SPERLING, 2007).

Na modelagem da dinâmica do oxigênio, matéria orgânica e de nutrientes, estão incluídos vários coeficientes que regulam as taxas de decaimento, sedimentação, oxidação e aporte das variáveis. Dessa maneira, é conveniente a condução da análise de incerteza com o objetivo de se identificar quais conjuntos de coeficientes podem ser mais significativos e cuja alteração ou incerteza no valor estimado pode provocar resultados incoerentes, quando da aplicação dos modelos.

Segundo Esty *et al.* (2005) e Nardo *et al.* (2005), a análise de incerteza tem como objetivo identificar as variáveis de entrada que, potencialmente, podem produzir relevantes erros ou incertezas nas saídas. Neste contexto, Saisana *et al.* (2005) observam que a análise de incerteza busca analisar os efeitos das incertezas na entrada sobre os valores de saída.

Como observam por Kuczera e Parent (1998), sem uma previsão realista da incerteza dos parâmetros, não seria possível efetuar, com qualquer confiança, tarefas tais como avaliação dos intervalos de respostas do modelo, prever a significância dos desvios em testes de validação e previsão do valor de relações de regionalização obtidas entre parâmetros do modelo e características da bacia. A incerteza na resposta de um modelo é induzida não apenas pela propagação da incerteza dos parâmetros através do modelo, como também pela incerteza natural contida nos erros do modelo e da medição dos dados de entrada.

Dentre os diferentes métodos para a realização da análise de incerteza está a simulação de Monte Carlo, método no qual, a partir de um elevado número de simulações, nos quais valores de entrada variam de uma simulação para outra, é possível realizar avaliações quanto à interferência de cada variável (dado de entrada ou coeficiente) nos resultados do modelo (SILVA, 2007).

De acordo com Von Sperling (1993), a análise de incerteza utilizando como ferramenta o método de Monte Carlo é simples, robusta e eficaz, permitindo uma análise probabilística dos resultados do modelo e não uma simples avaliação de valores determinísticos isolados.

A simulação de Monte Carlo é um procedimento numérico que reproduz variáveis randômicas que seguem uma distribuição estatística específica. Na simulação de Monte Carlo, a resposta do sistema de interesse é medida repetidamente em vários conjuntos de parâmetros gerados a partir de leis probabilísticas conhecidas ou admitidas (TUNG *et al.*, 2006).

No método de Monte Carlo são consideradas aleatoriamente diferentes variáveis de entrada num intervalo pré-estabelecido, simulando os valores de saída correspondentes (CLEMEN; REILLY, 2001). Com esta técnica, todas as incertezas sobre os fatores de entrada podem ser considerados simultaneamente ou individualmente (SAISANA *et al.*, 2005).

Segundo Xavier (2002), a modelagem hidrológica está sujeita a um conjunto de limitações reconhecidas, porém raramente consideradas explicitamente por meio da análise de incerteza associada aos resultados obtidos. O autor utilizou o método de Monte Carlo para avaliar o papel desempenhado pelas incertezas nas simulações de vazões em bacias hidrográficas. O impacto das incertezas foi analisado por meio de simulações do comportamento hidrológico de uma sub-bacia do rio Itaguaçu (RJ). Os resultados produzidos demonstraram que a representação imperfeita da precipitação em um modelo hidrológico constitui uma considerável fonte de incerteza.

Larentis (2004) aplicou a análise de incerteza para alguns parâmetros e variáveis de entrada do modelo IPH-MGBq, modelo usualmente aplicado para a análise da qualidade de água de bacias de grande extensão (bacias com áreas superiores a 1.000 Km<sup>2</sup>). A análise conduzida demonstrou ser uma alternativa adequada para aplicação em modelos de qualidade de água em bacias com ausência de dados.

Pastres e Ciavatta (2005) também utilizaram o método de Monte Carlo para avaliar as respostas de um modelo de três dimensões aplicável a descrição da dinâmica sazonal de nutrientes (fósforo e nitrogênio), fitoplâncton e zooplâncton em ambientes lênticos. O estudo apontou os coeficientes que especificam a dinâmica de



fitoplâncton e zooplâncton como agentes de maior influência nos resultados das simulações.

Já McIntyre *et al.* (2005) utilizaram o método de Monte Carlo para avaliar as respostas do modelo INCA (Integrated Nitrogen in Catchments), amplamente utilizado na Europa (mais especificamente, no Reino Unido) e que permite simular o balanço de nitrogênio em uma bacia hidrográfica. No estudo, o modelo foi utilizado para simular a qualidade das águas da bacia do rio Kennet, curso d'água localizado no Reino Unido. Para a aplicação do método de Monte Carlo, a geração de números aleatórios foi baseada na distribuição uniforme. Os dados de entrada relacionados à carga subterrânea mostraram-se como os mais importantes sobre as respostas oferecidas pelo modelo.

Silva (2007) realizou análise de incerteza, por meio do método de Monte Carlo, visando identificar os coeficientes mais importantes na modelagem de qualidade da água no Trecho de Vazão Reduzida do aproveitamento hidrelétrico de Capim Branco I, no Rio Araguari (MG). Os resultados apontaram que poderia ocorrer uma deterioração da qualidade da água em função da construção das soleiras, uma vez que as simulações para OD nesse cenário apresentaram valores fora dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05.

Mendes (2010) empregou o método de Monte Carlo para avaliação de cargas pontuais no Rio Itapanhú (SP). No trabalho, após a modelagem por meio do programa QUAL2K, aplicou-se a análise de incerteza para os parâmetros relacionados com a modelagem do parâmetro de OD, considerando-se o emprego de uma distribuição normal para a geração aleatória dos coeficientes que dão forma ao modelo. Com a incorporação da análise de incerteza pelo método de Monte Carlo para cada um dos parâmetros associados ao modelo de qualidade de água, os resultados indicaram que apenas em 2% das simulações (20 simulações) foram estimadas concentrações críticas de OD maiores ou iguais a 6,65 mg/L.

Lima (2014) utilizou o método de Monte Carlo para a avaliação da probabilidade de galgamento de uma barragem, causado por eventos de naturezas hidráulicas e hidrológicas. O estudo de caso foi aplicado a oito comportas que compõem o vertedouro de superfície da pequena central hidrelétrica de Cajuru, localizada no rio Pará, no centro-sul de Minas Gerais. Todos os mecanismos e princípios de funcionamento da comporta foram analisados. A simulação de Monte Carlo foi

utilizada com o intuito de avaliar a probabilidade de galgamento da barragem de Cajuru em decorrência de uma cheia de determinado tempo de retorno, considerando as incertezas presentes na análise local de frequência de vazões máximas anuais. O método de Monte Carlo, ao verificar as incertezas das estimativas de eventos de dado tempo de retorno, demonstrou ser de muita utilidade na avaliação completa da probabilidade de galgamento.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a pesquisa foram utilizados dados hidrológicos e de qualidade de água da porção final da bacia do Rio Piracicaba, correspondentes ao trecho do Rio Piracicaba compreendido entre o município de Coronel Fabriciano e a sua foz, numa extensão total de 60 Km.

A bacia do Rio Piracicaba é uma sub-bacia do Rio Doce e localiza-se na porção centro leste do Estado de Minas Gerais. O Rio Piracicaba nasce na Serra do Espinhaço, município mineiro de Ouro Preto, numa altitude de 1.680 m, e deságua no Rio Doce, a uma altitude 210 m, nas proximidades do município de Ipatinga. A largura do Rio Piracicaba é variável, chegando a sua foz a 120 m, e seu comprimento é de 241 Km (MOURÃO JÚNIOR, 2010).

A população dos municípios que total ou parcialmente estão inseridos na bacia é de 920.584 habitantes (IBGE, 2009). Ipatinga, com 244.508 habitantes é o maior e mais importante município da região do Vale do Aço, seguido por Coronel Fabriciano, com 105.037 habitantes. Conhecido nacionalmente como pólo industrial, o município de Ipatinga conta com uma densa rede de serviços e com um comércio forte e dinâmico.

Além de Ipatinga, como consequência da vocação industrial, vários municípios de pequeno e médio porte se estabeleceram ao longo das margens do Rio Piracicaba e de seus afluentes, estabelecendo a poluição por esgotos domésticos e industriais como um dos principais problemas a serem enfrentados na bacia hidrográfica. Além de presentes nos esgotos domésticos, os compostos nitrogenados constituem importantes poluentes presentes nos efluentes de plantas industriais estabelecidas na bacia do rio Piracicaba (REIS, 1997).

A bacia é uma das 6 (seis) Unidades de Planejamento de Recursos Hídricos (UPGRH) da parte mineira da bacia do Rio Doce, sendo formada por 21 municípios mineiros, total ou parcialmente inserida em seus limites, totalizando uma área de 5706 km<sup>2</sup>. Encontram-se localizadas na bacia as sedes dos municípios de Antonio Dias, Barão de Cocais, Bela Vista de Minas, Bom Jesus do Amparo, Catas Altas, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Itabira, Jaguaráçu, João Monlevade, Marliéria, Nova

Era, Rio Piracicaba, Santa Bárbara, Santana do Paraíso, São Domingos do Prata, São Gonçalo do Rio Abaixo e Timóteo e as demais Alvinópolis, Mariana, Ouro Preto (MOURÃO JUNIOR, 2010). A Figura 4.1 apresenta o trecho modelado da Bacia do Rio Piracicaba.

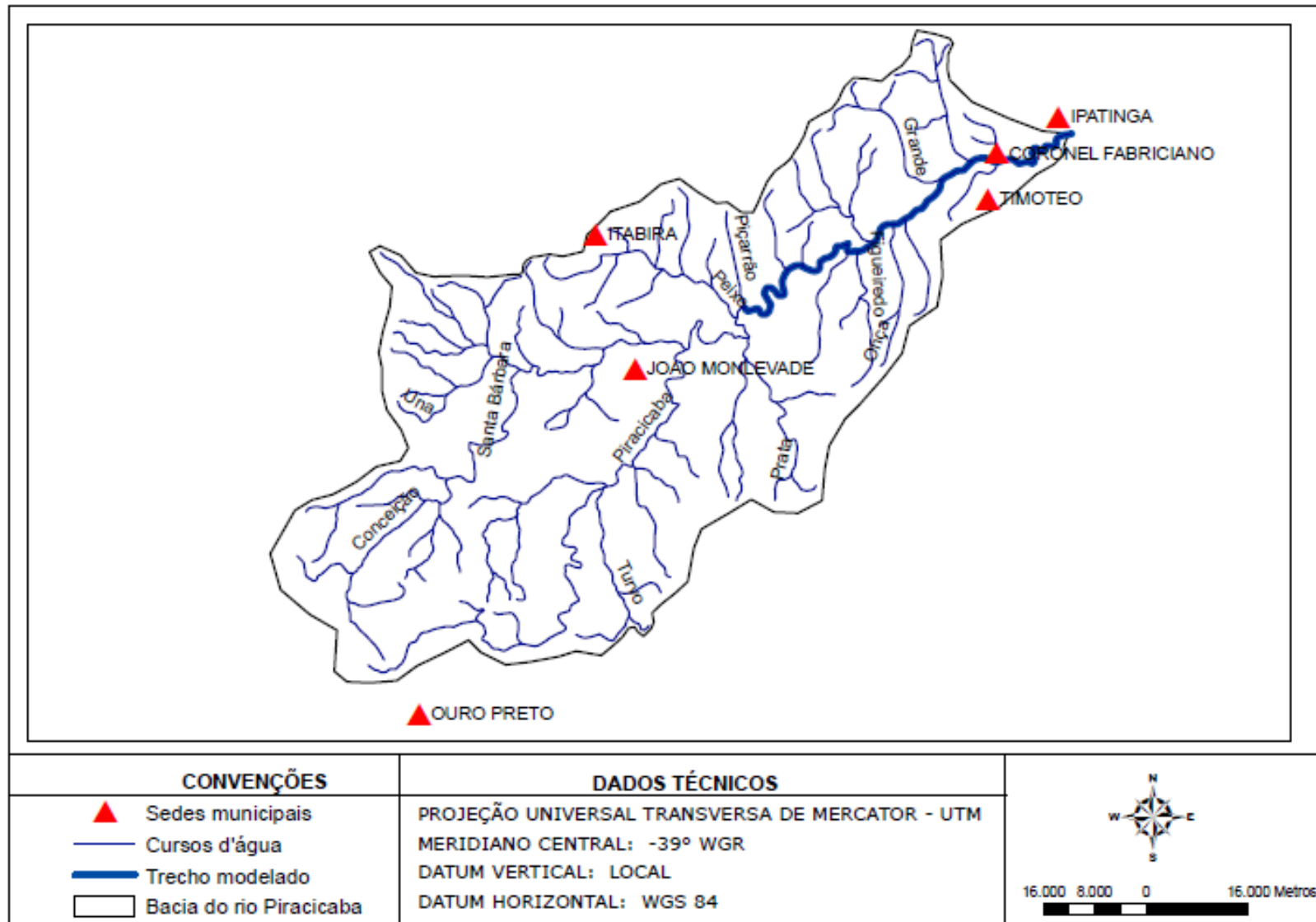


Figura 4.1 – Bacia do Rio Piracicaba com trecho modelado.

## 4.2. INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS E DE QUALIDADE DE ÁGUA

As condições críticas referentes à poluição hídrica de qualquer manancial superficial ocorrem nos períodos de vazão mínima. Desta forma, neste trabalho, foram realizadas simulações de qualidade de água assumindo-se para o curso d'água com a vazão média mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ).

O valor da vazão  $Q_{7,10}$  para o Rio Piracicaba definida a partir dos dados da estação fluviométrica ACESITA, estação operada pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, foi de 23,68 m<sup>3</sup>/s, conforme trabalho apresentado por Mourão Junior (2010).

Nas simulações computacionais assumiu-se, para a cabeceira do trecho simulado, as concentrações de compostos de nitrogênio reunidas na tabela 4.1, reproduzindo-se condições de qualidade observada por Mourão Júnior (2010) quando da condução de estudos no mesmo curso d'água.

**Tabela 4.1- Concentrações de nitrogênio no trecho simulado do rio Piracicaba**

Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)
0,00	0,00	1,0	1,0

Nas diferentes simulações, assumiu-se a disposição de um efluente doméstico bruto no início do trecho simulado 03 (três) Km à jusante da seção de cabeceira. Para o referido efluente assumiu-se vazão de 0,175 m<sup>3</sup>/s, vazão que corresponde a aproximadamente a vazão média de esgotos produzidos pelo município de Coronel Fabriciano, considerando-se uma população de em torno de 105.000 habitantes, consumo per capita de 180 habitantes/dia e uma taxa de retorno de 80%. Nas simulações não foram consideradas entradas difusas de vazão.

Para a carga pontual de esgoto doméstico foram considerados os valores correspondentes ao limite superior das faixas de variação sugeridas por Von Sperling (2005), conforme a Tabela 4.2. Desta forma, as concentrações de nitrogênio orgânico e amoniacal para as simulações que consideram o lançamento de esgoto *in natura* assumiram respectivamente, 30 e 40 mg/L. Já

as concentrações de nitrito e nitrato no esgoto doméstico foram consideradas nulas em todas as simulações.

**Tabela 4.2 - Concentrações de nitrogênio no esgoto doméstico bruto**

Parâmetro	Contribuição per capita (g/hab.d)		Concentração (mg/L)	
	<i>Faixa</i>	<i>Típico</i>	<i>Faixa</i>	<i>Típico</i>
Nitrogênio total	6,0 – 12,0	8,0	35 - 70	50
Nitrogênio orgânico	2,5 – 5,0	3,5	15 - 30	20
Amônia	3,5 – 7,0	4,5	20 - 40	30
Nitrito	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Nitrato	0,0 – 0,5	≈ 0	0 - 2	≈ 0

Fonte: Von Sperling (2005)

### 4.3. MODELAGEM MATEMÁTICA DO CICLO DO NITROGÊNIO

Neste trabalho, as equações utilizadas para representar as transformações do ciclo do nitrogênio em cursos d'água foram estabelecidas por Von Sperling (2007), equações definidas a partir dos modelos matemáticos originalmente apresentados por Thomann e Mueller (1987), Brown e Barnwell (1987) e Chapra (1997).

As referidas equações permitiram representar os processos de conversão do nitrogênio orgânico para amônia, sedimentação do nitrogênio orgânico particulado, conversão da amônia para nitrito, conversão da amônia para nitrato e liberação da amônia pelo sedimento de fundo. As taxas de variação correspondentes aos processos que dão forma ao modelo matemático empregado para descrever o ciclo do nitrogênio foram descritas pelas equações de (12) a (16).

A equação (12) foi empregada para estimar a variação de nitrogênio orgânico no curso d'água por meio da transformação em nitrogênio amoniacal a partir do

processo de amonificação e da perda de nitrogênio orgânico pela sedimentação.

$$\frac{dN_{org}}{dt} = -K_{oa} \cdot N_{org} - K_{sed} \cdot N_{org} \quad (12)$$

Na equação (12):

- $N_{org}$ : Concentração de nitrogênio orgânico (mg-N/L);
- $K_{oa}$ : Coeficiente de conversão de nitrogênio orgânico em amônia (1/dia)
- $K_{so}$ : Coeficiente de remoção do N orgânico por sedimentação (1/dia)

A acumulação de nitrogênio amoniacal se dá pela transformação do nitrogênio orgânico e a partir da eventual introdução pelo sedimento de fundo, conforme equação (13). A transformação de nitrogênio amoniacal em nitrito por nitrificação, faz com que uma parcela dessa acumulação seja perdida, fechando-se assim o balanço de massa para os compostos de amônia.

$$\frac{dN_{amom}}{dt} = K_{oa} \cdot N_{org} - K_{an} \cdot N_{amon} + \frac{SN_{amon}}{H} \quad (13)$$

Na expressão anterior:

- $N_{amon}$ : Concentração de amônia (mg-N/L);
- $K_{an}$ : Coeficiente de conversão de amônia em nitrito (1/dia);
- $SN_{amon}$ : Coeficiente de liberação da amônia pelo sedimento de fundo ( $gO_2/m^2 \cdot dia$ );
- $H$ : profundidade do curso d'água (m).

A variação na concentração de nitrito no curso d'água foi simulada utilizando-se a equação (14). Nesta equação representa-se a formação do nitrito a partir do decaimento do nitrogênio amoniacal e o decaimento de nitrito para a formação de nitrato. A acumulação de nitritos constitui uma fase intermediária entre o nitrogênio amoniacal e o nitrato. Como o nitrito constitui um composto pouco estável, alguns modelos de qualidade de água, como o QUAL2K, consideram uma etapa única para representar a transformação do nitrogênio amoniacal em nitrato, conforme observa Von Sperling (2007).

$$\frac{dN_{nitri}}{dt} = K_{an} \cdot N_{amon} - K_{nn} \cdot N_{nitri} \quad (14)$$



Na última expressão:

- $N_{\text{nitri}}$ : Concentração de nitrito (mg-N/L);
- $K_{\text{nn}}$ : Coeficiente de conversão de nitrito em nitrato (1/dia).

A acumulação de nitrato foi simulada em função da transformação do nitrito, por meio da nitrificação, conforme equação (15).

$$\frac{dN_{\text{nitra}}}{dt} = K_{\text{nn}} \cdot N_{\text{nitri}} \quad (15)$$

Na equação (15),  $N_{\text{nitra}}$  representa a concentração de nitrato (mg-N/L).

A acumulação de nitrogênio total ( $N_{\text{total}}$  em mg-N/L) se deu pela simples soma dos diferentes compostos de nitrogenados, conforme indicado pela equação (16). A concentração de nitrogênio total no curso d'água será constante sempre que o processo de desnitrificação não for considerado, abordagem assumida no presente estudo.

$$N_{\text{total}} = N_{\text{org}} + N_{\text{amon}} + N_{\text{Nitri}} + N_{\text{nitra}} \quad (16)$$

Segundo Von Sperling (2007), o processo de desnitrificação assume menor importância na modelagem de qualidade das águas de rios. Isso ocorre em função do processo de desnitrificação só se estabelecer em condições anóxicas, condição bastante específica que, se considerada, produziria diversas outras implicações para a modelagem de outros constituintes.

As diferentes equações relacionadas para descrição do ciclo do nitrogênio foram resolvidas numericamente com o auxílio do método de Euler (Campos Filho, 2001), no ambiente computacional de planilha eletrônica da Microsoft Excel. Hidraulicamente assumiu-se que o curso d'água poderia ser representado como uma sequência de reatores de mistura completa em série, não sendo incorporado o efeito da dispersão longitudinal, condições de contorno que reproduzem as estruturas funcionais e computacionais do modelo

QUAL-UFMG, modelo detalhadamente apresentado e discutido por Von Sperling (2007).

#### 4.4. CONSTANTES CINÉTICAS

Os valores das constantes cinéticas que regulam o ciclo do nitrogênio, empregados nas simulações computacionais realizadas neste trabalho, foram abstraídas de Mourão Júnior (2010), trabalho que calibrou e aplicou o modelo o modelo QUAL-UFMG para a simulação de qualidade da água do Piracicaba. Os valores das referidas constantes cinéticas estão reunidas na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4 – Valores empregados nas simulações computacionais.**

$K_{so}$ (dia <sup>-1</sup> )	$K_{oa}$ (dia <sup>-1</sup> )	$K_{an}$ (dia <sup>-1</sup> )	$K_{nn}$ (dia <sup>-1</sup> )
0,05	0,20	0,20	0,75

Von Sperling (2007) apresenta uma síntese das faixas usuais de variação dos coeficientes e das constantes cinéticas envolvidas no ciclo do nitrogênio. Faixas de variação mais elásticas são sugeridas por Brown e Barnwell (1987), quando da implementação do modelo computacional Qual-2E. Os valores sugeridos por Von Sperling (2007) e por Brown e Barnwell (1987) reunidos na Tabela 4.5, sugerem que os valores apropriados por Mourão Júnior (2010) apresentam-se dentro das faixas típicas de variação das constantes cinéticas que regulam o ciclo do nitrogênio em cursos d'água.

**Tabela 4.5 - Coeficientes e constantes cinéticas envolvidas no ciclo do nitrogênio.**

Constante Cinética	Descrição	Valores Típicos (dia <sup>-1</sup> )	
		Von Sperling (2007)	Brown e Barnwell (1987)
$K_{oa}$	Coeficiente de conversão do nitrogênio orgânico em amônia	0,20 a 0,25	0,02 a 0,40
$K_{so}$	Coeficiente de remoção do nitrogênio orgânico por sedimentação	Remansos: 0,10 Rios lentos com águas naturais e moderadamente poluídas: 0,05 Rios lentos com águas naturais e fortemente poluídas: 0,10 Rios rápidos com águas naturais: 0,02 Rios rápidos com águas moderadamente poluídas: 0,05 Rios rápidos com águas fortemente poluídas: 0,10	0,001 a 0,1
$K_{an}$	Coeficiente de conversão da amônia em nitrito	0,15 a 0,25	0,10 a 1,00
$K_{nn}$	Coeficiente de conversão de nitrito em nitrato	Rios profundos: 0,10 a 0,50 Rios rasos: 0,20 a 1,00	0,20 a 2,00

#### 4.5. MÉTODO DE MONTE CARLO

Para a análise de incerteza das diferentes variáveis e coeficientes associados à simulação matemática das transformações dos compostos de nitrogênio no Rio Piracicaba foi empregado o método de Monte Carlo. A aplicação do método envolveu a execução de um elevado número de simulações sendo gerados, para cada uma das simulações, diferentes valores para as variáveis de entrada e coeficientes cinéticos do modelo de qualidade de água. A Figura 4.2 reúne, num fluxograma, as diferentes etapas associadas à análise de incerteza conduzida com emprego do método de Monte Carlo.

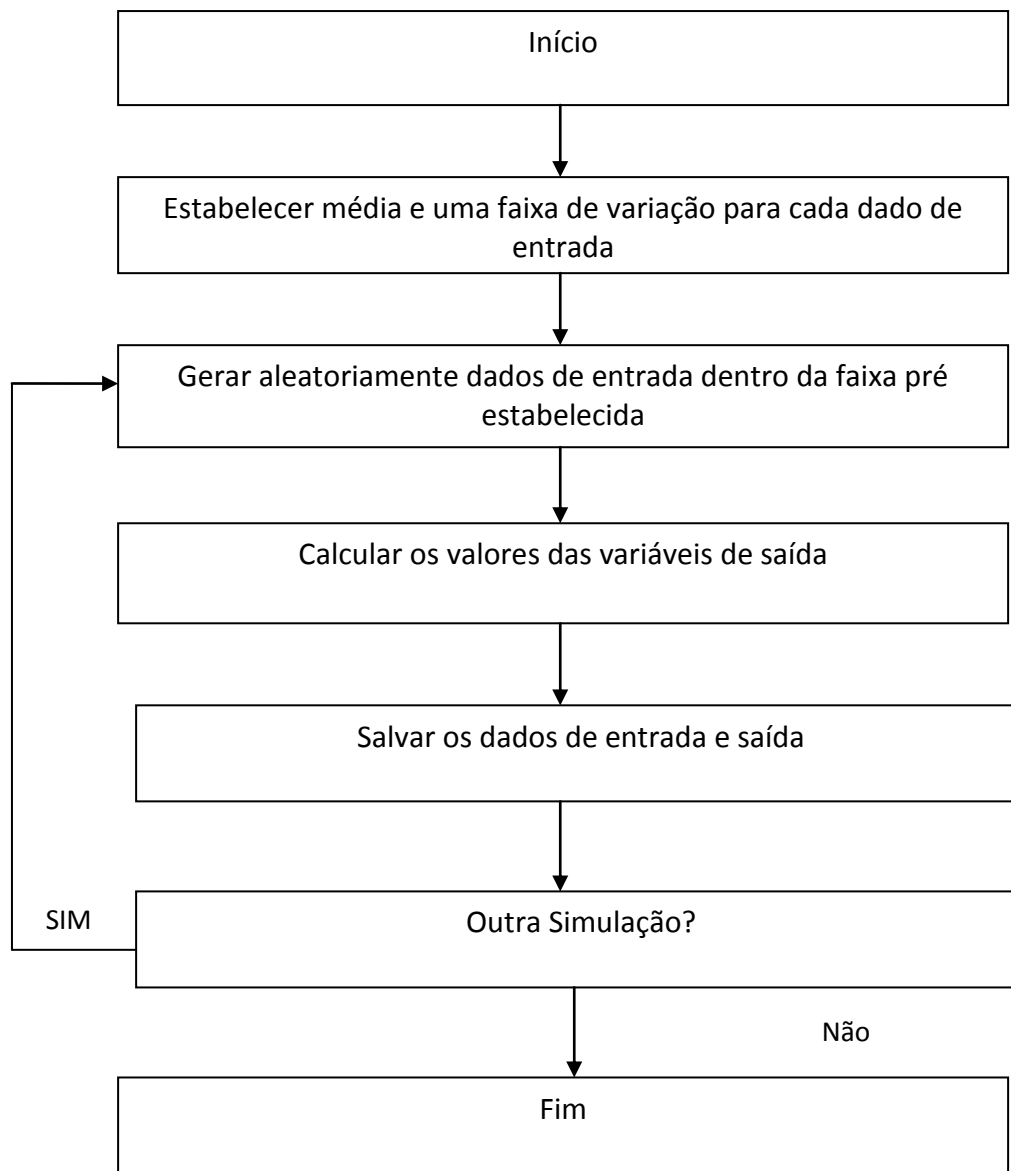


Figura 4.2 – Etapas para Condução da Análise de Incerteza com Auxílio do Método de Monte Carlo (Von Sperling, 2007).

Neste trabalho os coeficientes e dados de entrada para cada simulação de qualidade de água foram gerados aleatoriamente segundo as distribuições de probabilidade Normal e Uniforme, considerando-se uma determinada faixa de variação de valores para cada dado de entrada e coeficiente.

A geração aleatória dos dados de entrada e coeficientes cinéticos com auxílio da distribuição Normal foi conduzida com o auxílio da expressão (17):

$$\text{Valor} = \text{Média} \times (1 + \text{Aleatório} \times \text{cv}) \quad (17)$$

Na expressão (17):

- Valor: novo valor para o dado de entrada ou coeficiente do modelo, a ser usado em cada simulação;
- Aleatório: número aleatório gerado segundo uma distribuição normal, com valor variando de 0 a 1;
- cv: coeficiente de variação.

Para as constantes cinéticas (variáveis para as quais há maior incerteza), foram utilizados os valores utilizados em uma modelagem determinística (valores estabelecidos a partir do trabalho de Mourão Junior (2010), conforme seção 4.4) com coeficiente de variação de 20%, conforme sugerido por Silva (2007). Para os demais dados de entrada (variáveis hidrodinâmicas e concentrações dos compostos nitrogenados no rio e efluente) considerou-se uma variação de 5%, conforme sugerido por Von Sperling (2007).

Para a geração aleatória das variáveis de entrada com emprego da distribuição Uniforme foram empregadas as expressões (18), (19) e (20).

$$\text{Valor} = \text{Valor Mínimo} + \text{Aleatório} \times (\text{Valor Máximo} - \text{Valor Mínimo}) \quad (18)$$

$$\text{Valor mínimo} = \text{valor médio} * (1 - \text{percentual de variação}/100) \quad (19)$$

$$\text{Valor máximo} = \text{valor médio} * (1 + \text{percentual de variação}/100) \quad (20)$$

Nas expressões 18, 19 e 20:

- Valor: novo valor para o dado de entrada ou coeficiente do modelo, a ser usado em cada simulação;
- Valor mínimo: valor mínimo da faixa de valores para cada dado de entrada ou coeficiente do modelo;
- Valor máximo: valor máximo da faixa de valores para cada dado de entrada ou coeficiente do modelo;
- Aleatório: número aleatório gerado segundo uma distribuição Uniforme, com valor variando de 0 a 1;
- Valor médio: valor médio dos dados de entrada;
- Percentual de variação: percentual de variação em torno da média.

Para a geração aleatória das constantes cinéticas adotou-se neste estudo, percentual de variação de 20%. Para os demais dados de entrada (variáveis hidrodinâmicas e concentrações dos compostos nitrogenados no rio e efluente) considerou-se um percentual de variação de 5%.

Tanto a partir da aplicação da distribuição Normal, quanto a partir do emprego da distribuição Uniforme, foram gerados 1000 (mil) perfis de concentração para os diferentes compostos de nitrogênio. Estabelecidos os perfis de concentração foram estabelecidas as distribuições de frequência para as concentrações máximas de nitrogênio orgânico, amônia total, nitrito e nitrato. Os diagramas de frequência das concentrações máximas dos compostos de nitrogênio foram estabelecidos considerando-se 08 (oito) intervalos de classe, definidos a partir dos maiores e menores valores de concentração máxima. Naquelas situações em que os intervalos de classe demandariam a adoção de concentrações com precisão inferior a 0,01 mg/L, os diagramas de frequência foram construídos com menos de 08 (oito) intervalos de classe.

Grupos adicionais de simulações foram realizadas com o objetivo de se avaliar a influência dos valores do coeficiente de variação (distribuição Normal) e do percentual de variação (distribuição Uniforme), sobre a variação das concentrações dos compostos de nitrogênio simulados.

Desta forma, além do coeficiente e do percentual de variação de 20%, foram assumidos coeficientes e percentuais de variação de 10%, 50% e 90% quando da geração aleatória dos coeficientes  $K_{so}$ ,  $K_{oa}$ ,  $K_{an}$  e  $K_{nn}$ . Para a avaliação dos efeitos produzidos por cada valor assumido para o coeficiente de variação e para o percentual de variação foram realizadas, por coeficiente cinético e distribuição de probabilidade, 1000 (mil) simulações, totalizando 24.000 (vinte e quatro mil) simulações adicionais.

Também nesta etapa do trabalho, para cada grupo de 1000 simulações, foi estabelecida distribuição de frequência para as concentrações máximas de nitrogênio orgânico, amônia total, nitrito e nitrato. A Figura 4.6 apresenta o fluxograma referente às simulações realizadas.

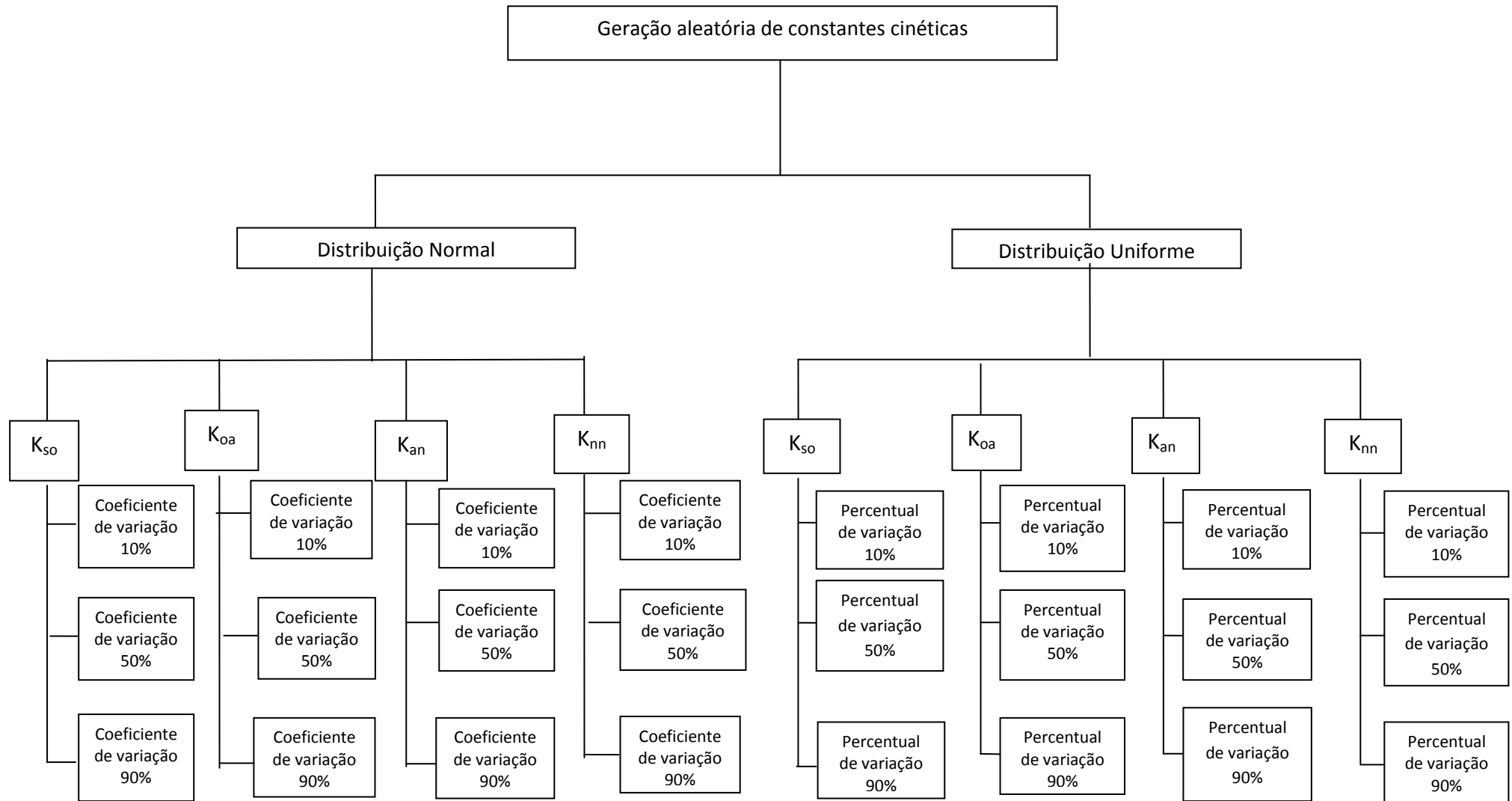


Figura 4.3– Representação esquemática das simulações realizadas para avaliação da influência dos valores assumidos para o coeficiente de variação (distribuição normal) e percentual de variação (distribuição uniforme).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DOS COMPOSTOS DE NITROGÊNIO

As figuras de 5.1 a 5.4 apresentam os perfis de concentração de nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, respectivamente produzidos pelas 10 (dez) primeiras simulações do conjunto de 1000 (mil) simulações, nas quais a geração aleatória dos dados de entrada (vazões, concentrações e constantes cinéticas), foi conduzida com auxílio da distribuição Normal de probabilidade. Nas referidas figuras são adicionalmente apresentados os perfis dos compostos de nitrogênio associados à em condições determinísticas de simulação (simulação 1) estabelecidos a partir das informações hidrodinâmicas, de qualidade de água e constantes cinéticas reunidas nas seções 4.2 e 4.4. O apêndice A reúne o conjunto ampliado de simulações, apresentando os 100 (cem) primeiros perfis de concentração de nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato.

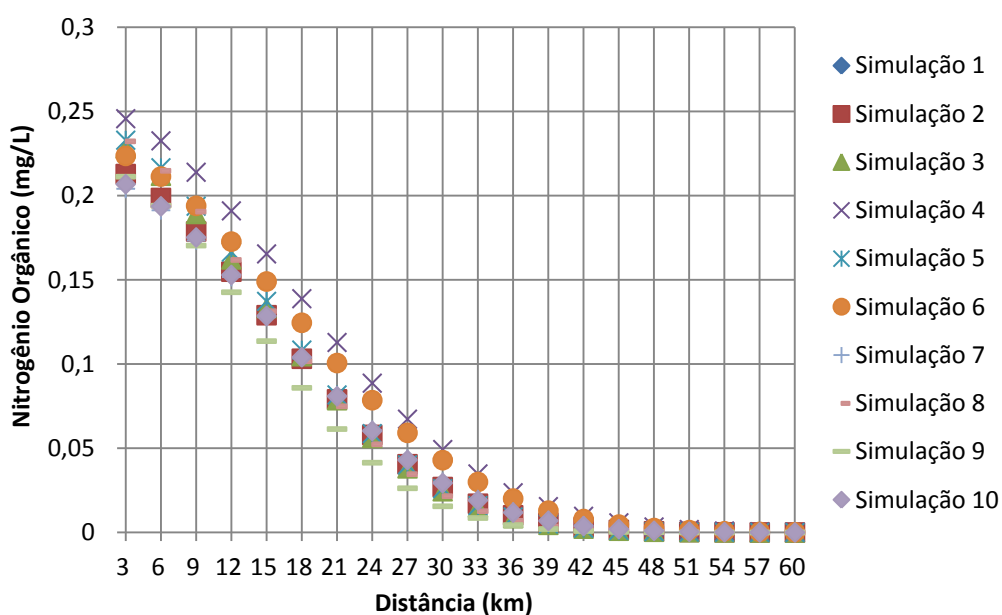


Figura 5.1 – Perfis de concentração de nitrogênio orgânico para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Normal.



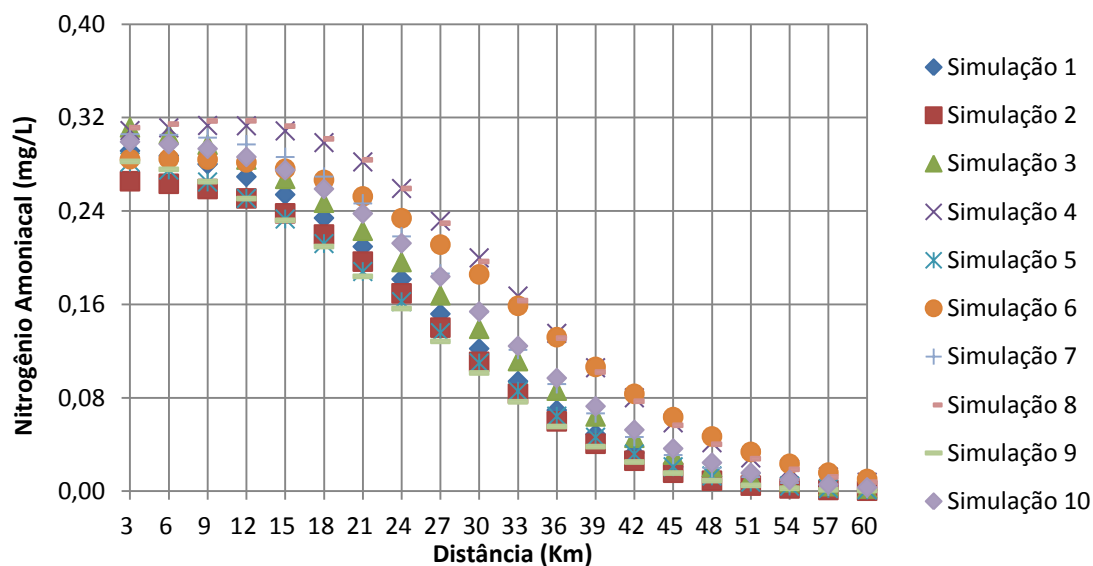


Figura 5.2 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Normal.

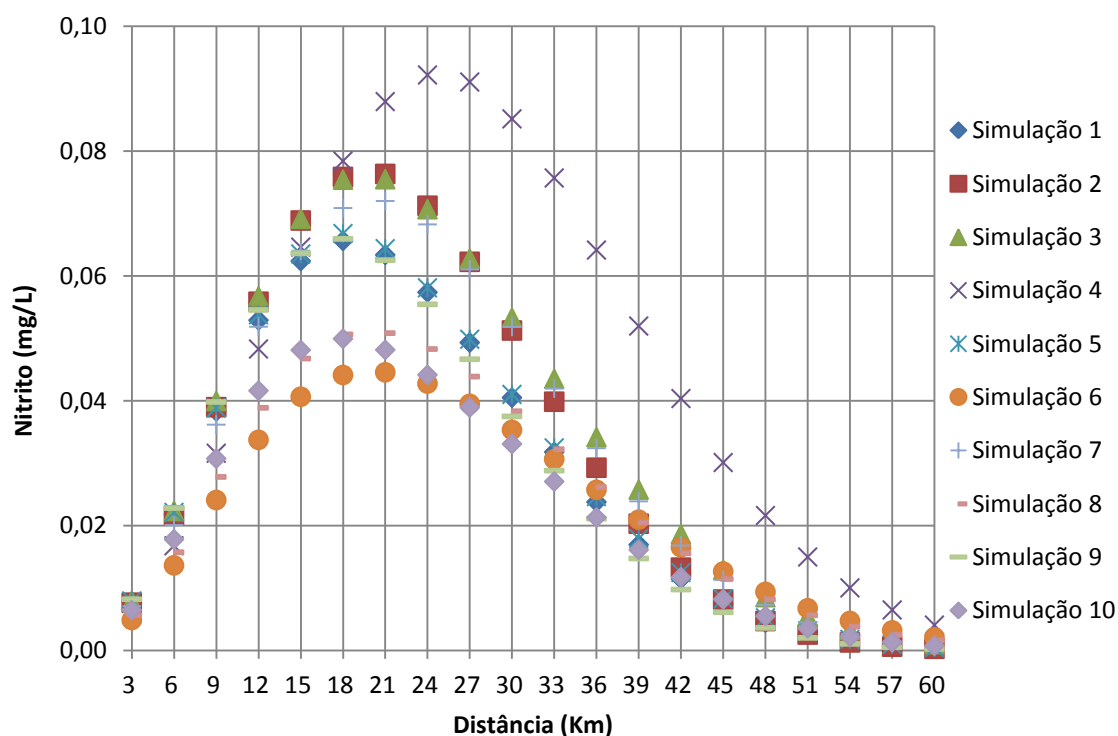


Figura 5.3 – Perfis de concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Normal.

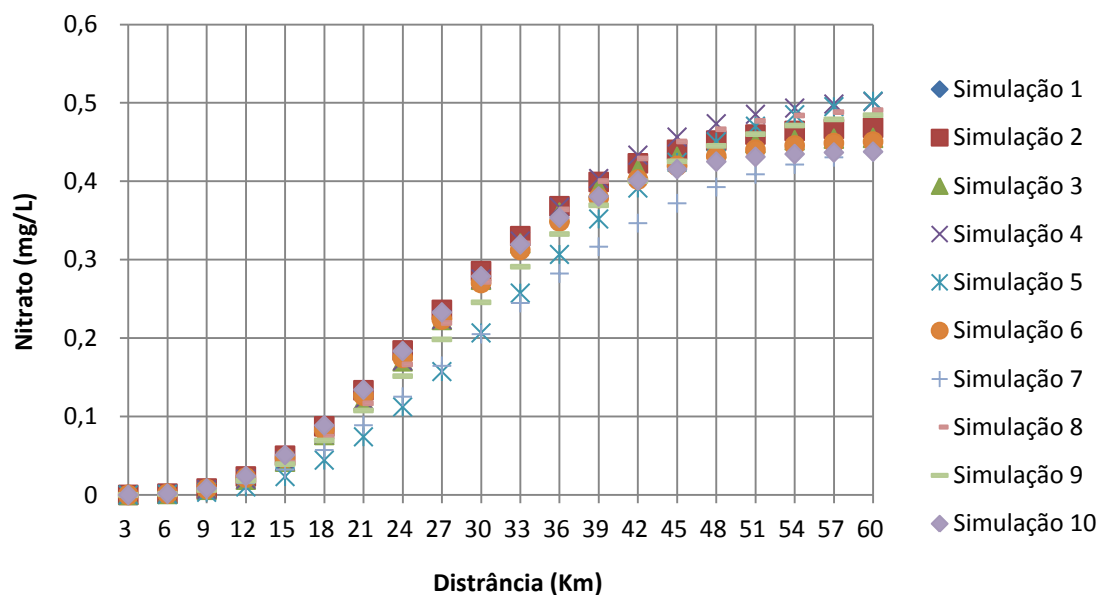


Figura 5.4 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Normal.

As Figuras de 5.5 a 5.8 representam a distribuição de frequência das concentrações máximas dos compostos de nitrogênio, considerando-se o conjunto de 1000 (mil) simulações conduzidas quando do emprego da distribuição Normal para a geração aleatória dos dados de entrada (geração das constantes cinéticas, dados hidrodinâmicos e de qualidade de efluente e curso d'água). Neste conjunto de simulações, o coeficiente de variação assumiu o valor de 20% para a geração aleatória das constantes cinéticas e de 5% para a geração aleatória dos demais dados.

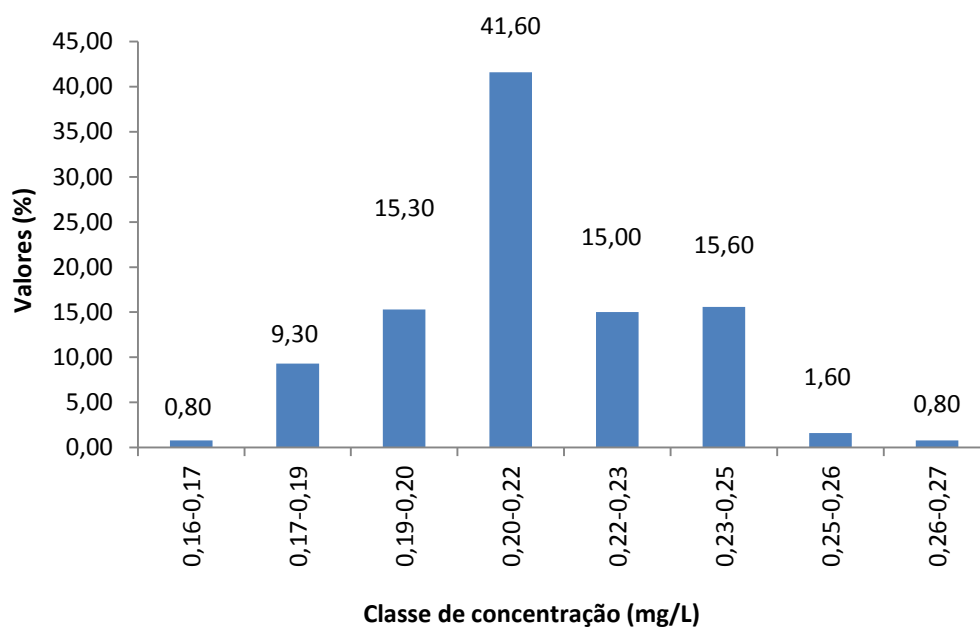


Figura 5.5 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrogênio Orgânico (mg/L) considerando-se o emprego da distribuição Normal para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água.

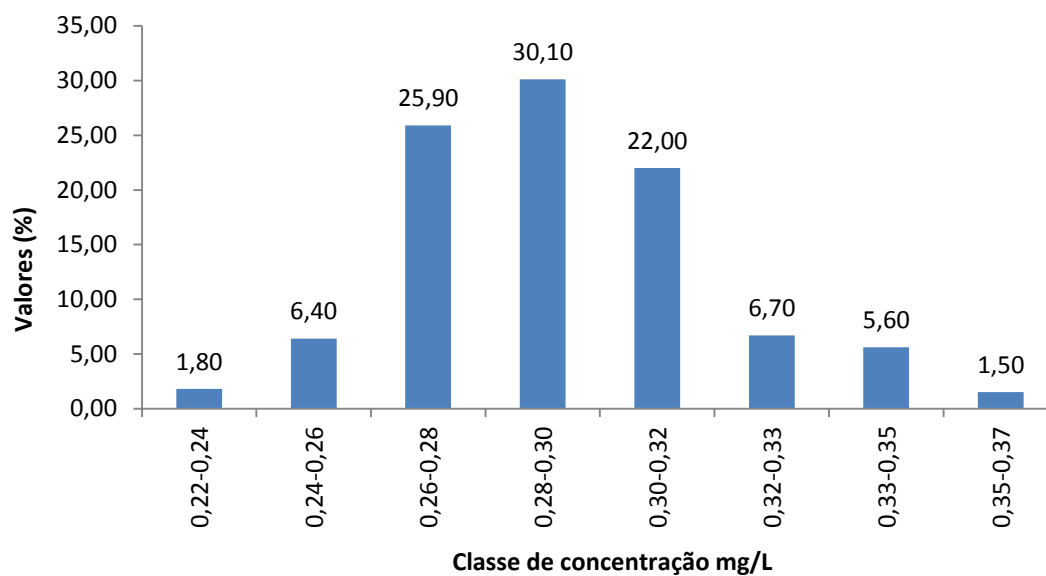


Figura 5.6 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) considerando-se o emprego da distribuição Normal para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água.

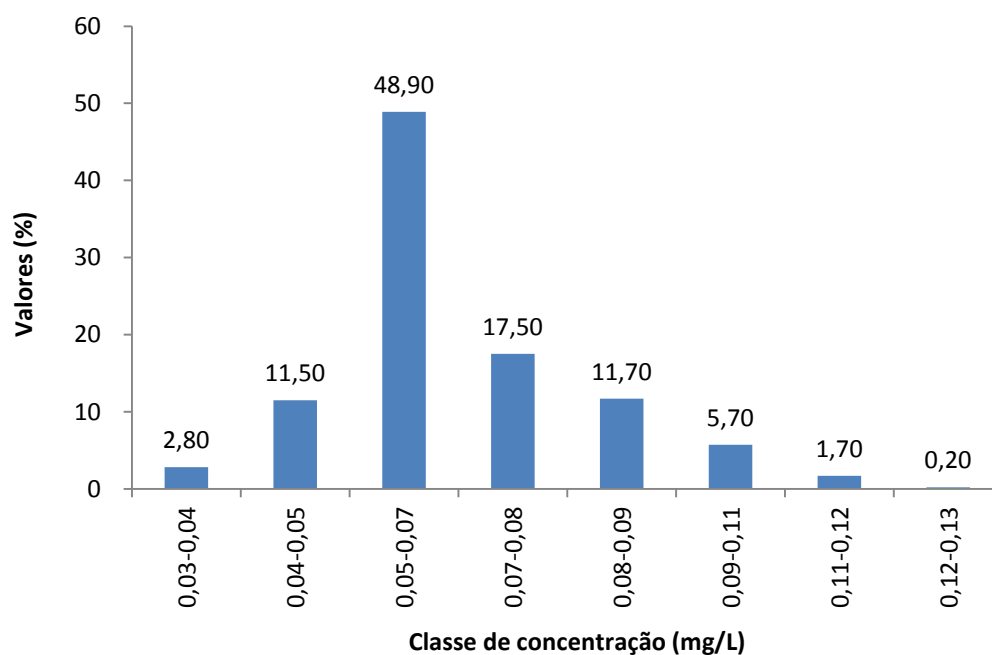


Figura 5.7 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrito (mg/L) considerando-se o emprego da distribuição Normal para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água.

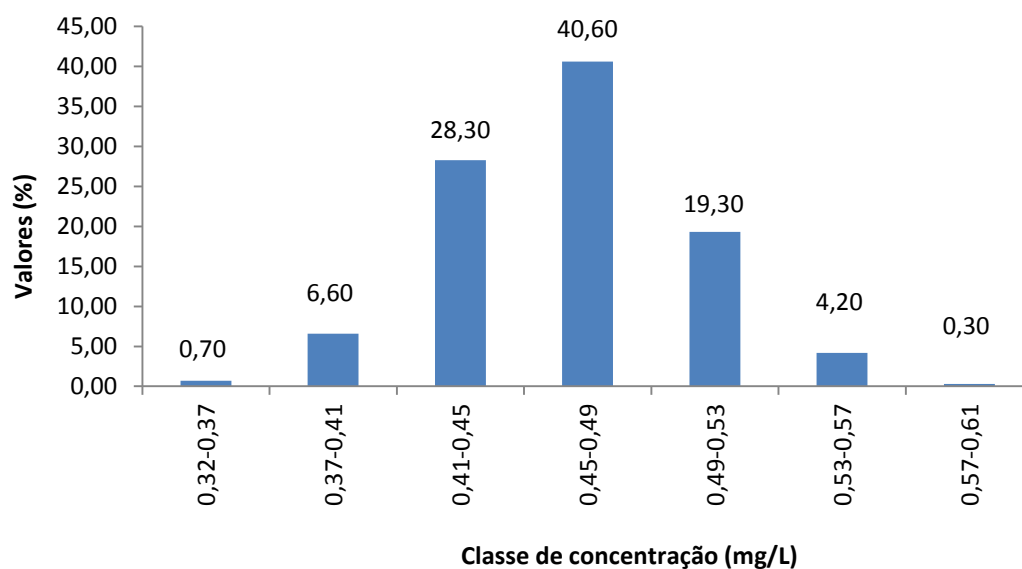


Figura 5.8 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrato (mg/L) considerando-se o emprego da distribuição Normal para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água.

A partir da simples inspeção das figuras 5.1 e 5.8, apresentam-se como relevantes as seguintes considerações:

- Considerando-se o emprego das constantes cinéticas que regulam o decaimento de nitrogênio orgânico para amônia ( $K_{oa}$ ) e de amônia para nitrito ( $K_{an}$ ) propostas na tabela 4.5 ( $K_{oa}=K_{an}= 0,20 \text{ dia}^{-1}$ ), as concentrações máximas de nitrogênio amoniacal ocorreram invariavelmente, da seção de mistura rio-efluente (seção localizada 3 Km à jusante da cabeceira do trecho simulado). No entanto, sempre que a geração aleatória das referidas constantes cinéticas conduziu a valores de  $K_{oa}$  superiores a  $K_{an}$ , (situação em que o nitrogênio orgânico decai mais rapidamente para amônia do que a amônia decai para nitrito), as concentrações máximas de nitrogênio amoniacal foram estimadas para seções localizadas à jusante do ponto de mistura, conforme ilustrado nas simulações 4 e 8 da figura 5.2.
- Como o valor médio do coeficiente de decaimento de nitrito para nitrato ( $K_{nn}=0,75 \text{ dia}^{-1}$ , conforme tabela 4.5) é substancialmente maior que o valor médio do coeficiente que regula a conversão de amônia em nitrito ( $K_{an}=0,20 \text{ dia}^{-1}$ ), as concentrações de nitrito apresentam-se substancialmente menores que as concentrações dos demais compostos de nitrogênio em todas as simulações computacionais conduzidas. Nas simulações em que os referidos coeficientes foram gerados aleatoriamente, ainda que tenham sido admitidas variações no entorno dos valores médios dos coeficientes, os valores de  $K_{nn}$  permaneceram invariavelmente maiores que  $K_{an}$ . Conforme pode ser observado a partir da Figura 5.3, os valores máximos e seções de ocorrência destes máximos serão variáveis ao longo do trecho simulado, dependendo, exclusivamente, dos valores relativos entre  $K_{an}$  e  $K_{nn}$ .
- Como o processo de desnitrificação não foi incorporado às simulações, as concentrações de nitrato invariavelmente cresceram ao longo do trecho do rio objeto das simulações de qualidade de água. No entanto, naquelas simulações em que as constantes cinéticas geradas aleatoriamente favoreceram o acúmulo de formas intermediárias de composto de nitrogênio, o processo de nitrificação não foi levado a termo no trecho simulado.

- O histograma de frequência apresentado pela Figura 5.5 permite observar que as concentrações máximas de nitrogênio orgânico para o curso d'água analisado variaram entre 0,16 mg/L e 0,27 mg/L, considerado o conjunto de 1000 (mil) simulações e a geração aleatória de variáveis de entrada conforme condições de contorno estabelecidas na seção 4.5. Adicionalmente, é relevante registrar que aproximadamente 42% dos valores máximos de nitrogênio orgânico se situaram no intervalo de 0,20 mg/L a 0,22 mg/L e que a probabilidade de que as concentrações máximas de nitrogênio orgânico sejam menores que 0,19 mg/L ou maiores que 0,25 mg/L não supera 13%.
- As concentrações máximas de nitrogênio amoniacal, conforme Figura 5.6, apresentaram probabilidade de 78% de se situarem entre 0,26 mg/L e 0,32 mg/L, com aproximadamente 30% das concentrações máximas na faixa de 0,25 mg/L a 0,30 mg/L. A frequência com que as concentrações máximas de nitrogênio amoniacal ficaram abaixo de 0,26 mg/L foi em torno de 8%. Em apenas 138 simulações (13,8%) as concentrações máximas de amônia excederam a concentração de 0,32 mg/L.
- Em aproximadamente metade das simulações realizadas (48,9%), as concentrações máximas de nitrito apresentaram-se na faixa de 0,05 mg/L e 0,07 mg/L. A frequência com que as concentrações máximas apresentaram-se acima de 0,11 mg/L ou abaixo de 0,04 mg/L não superou 5%.
- Em mais de 400 quatrocentas simulações (406 simulações) as concentrações máximas de nitrato ficaram concentradas no intervalo de 0,45 mg/L a 0,49 mg/L. No intervalo de 0,41 mg/L a 0,45 mg/L, a frequência de ocorrência de concentrações máximas foi de 28,3%. Já na faixa de 0,49 mg/L a 0,53 mg/L foram observadas aproximadamente 20% (19,3%) das concentrações máximas de nitrato. Concentrações máximas inferiores a 0,37 mg/L ocorrem em apenas 07 simulações (0,7%). Concentrações superiores a 0,57 mg/L só foram observadas em aproximadamente 3% das simulações realizadas.

As figuras de 5.9 a 5.12 apresentam os perfis dos diferentes compostos de nitrogênio para as 10 (dez) primeiras simulações do conjunto de 1000 simulações em que as variáveis hidrodinâmicas, condições iniciais de qualidade de água e constantes cinéticas foram aleatoriamente geradas com auxílio da distribuição Uniforme. Estas figuras também apresentam os perfis associados às condições determinísticas de simulação (simulação 1). O Apêndice B, apresenta o conjunto ampliado de simulações, reunindo os 100 (cem) primeiros perfis de concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato.

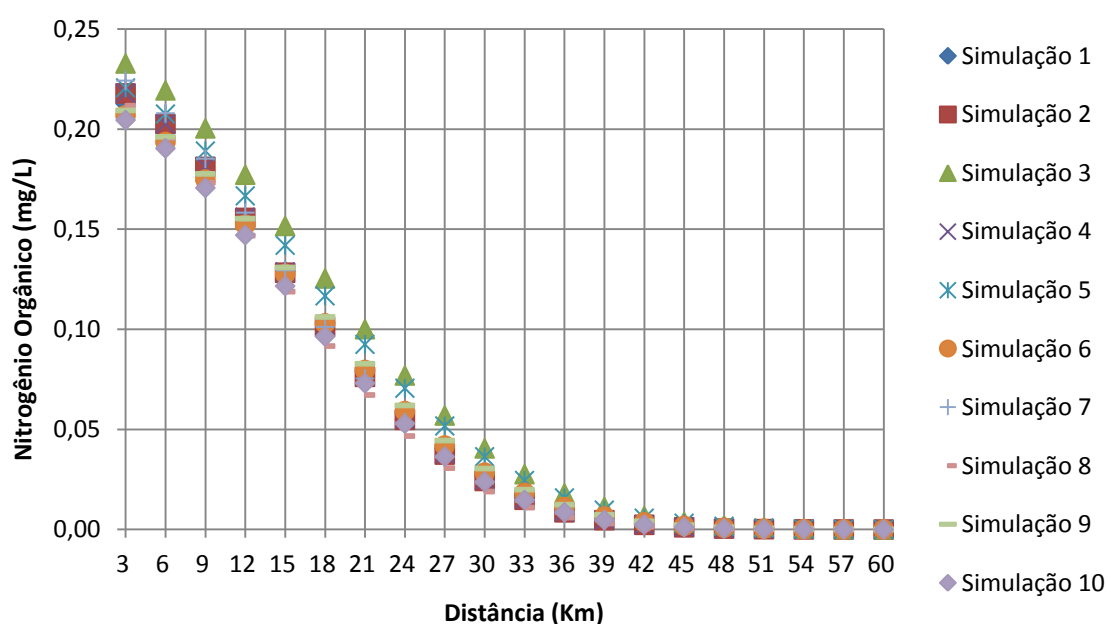


Figura 5.9 – Perfis da concentração de nitrogênio orgânico para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Uniforme.

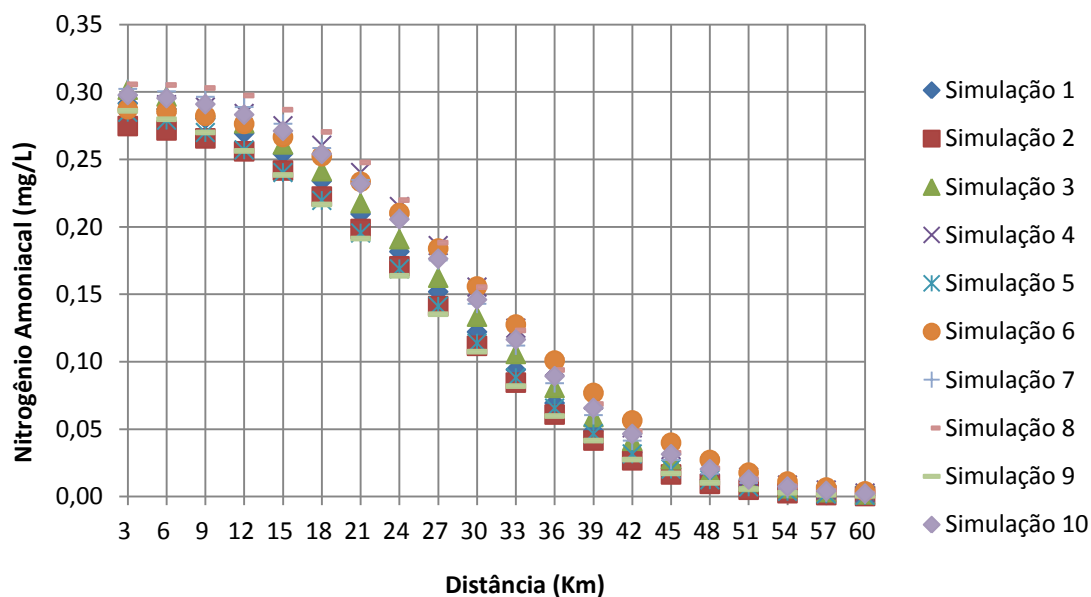


Figura 5.10 – Perfis da concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Uniforme.

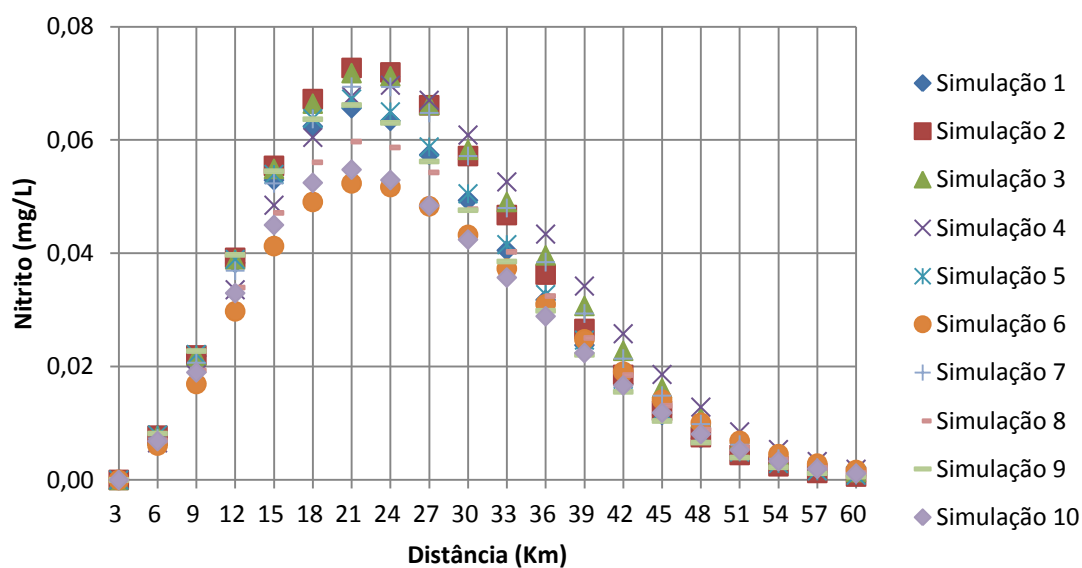


Figura 5.11– Perfis da concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição Uniforme.



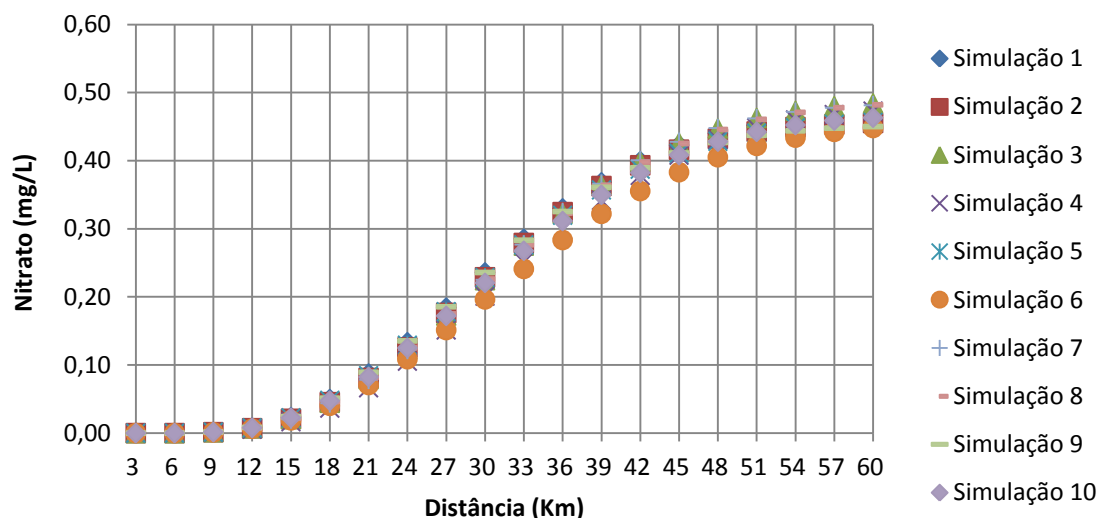


Figura 5.12 – Perfis da concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade – Resultados referentes ao emprego da distribuição uniforme.

As figuras 5.13 a 5.16, por sua vez, apresentam o conjunto de 1000 (mil) simulações realizadas por meio da distribuição de frequência uniforme com as concentrações máximas dos compostos de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato, considerando-se os percentuais de variação de 20% para a geração aleatória das constantes cinéticas e de 5% para variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água.

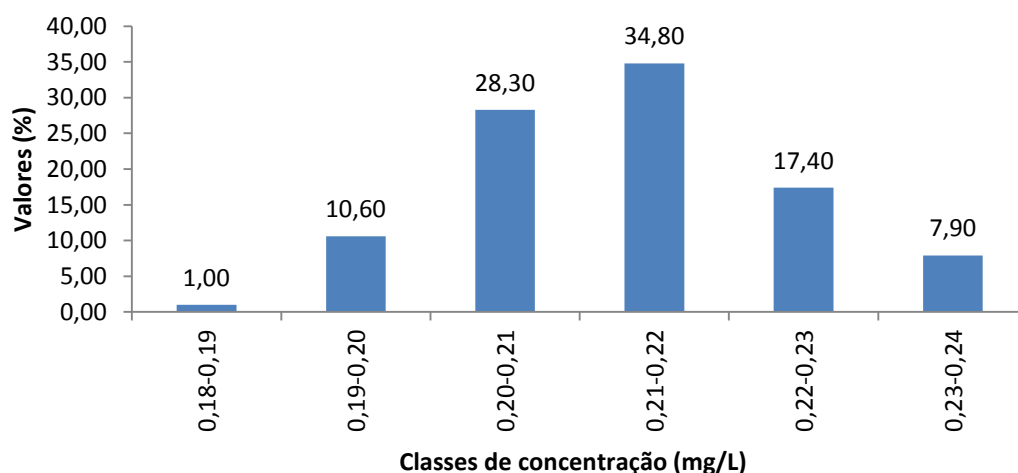


Figura 5.13 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrogênio Orgânico considerando-se o emprego da distribuição Uniforme para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água.

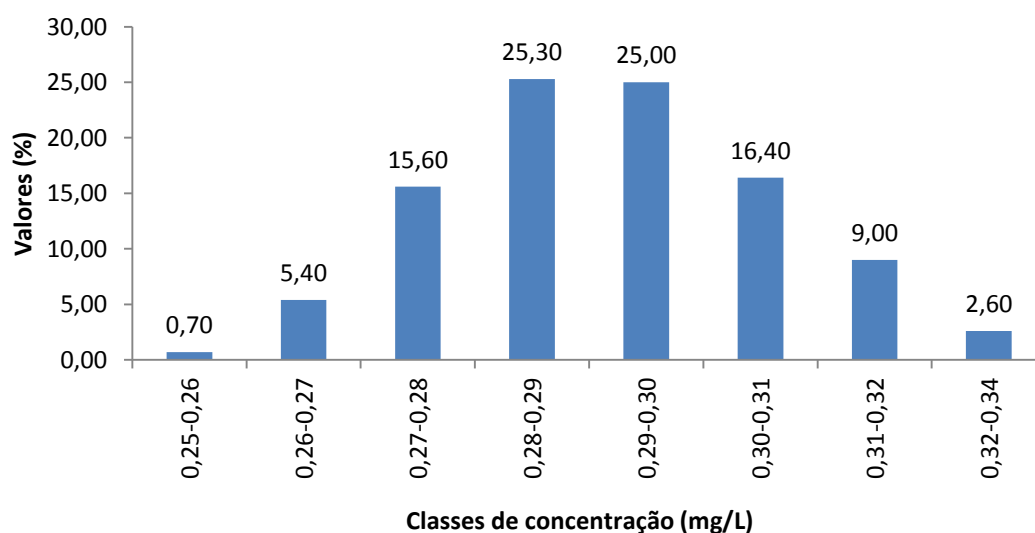


Figura 5.14 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrogênio Amoniacal considerando-se o emprego da distribuição Uniforme para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água.

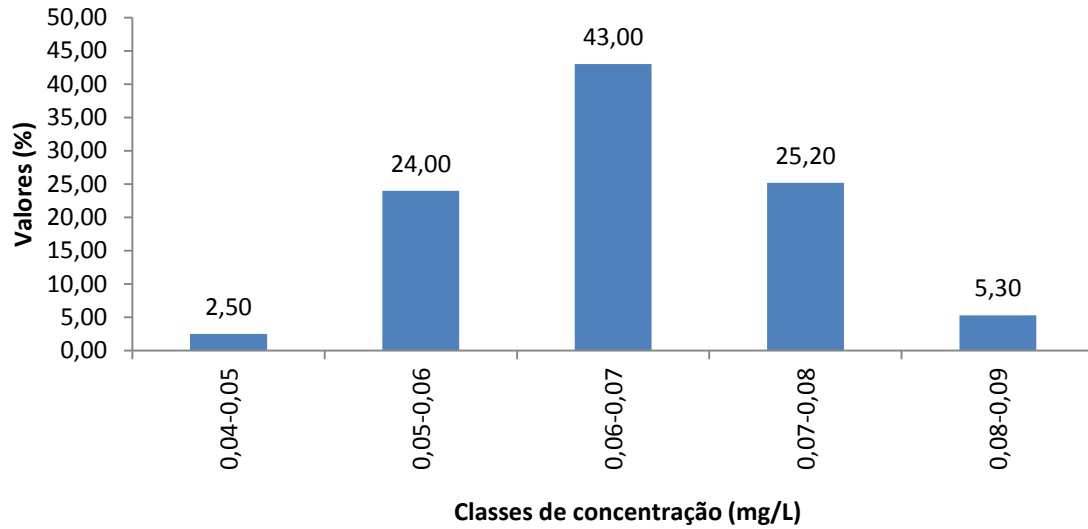


Figura 5.15 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrito considerando-se o emprego da distribuição Uniforme para a geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água.

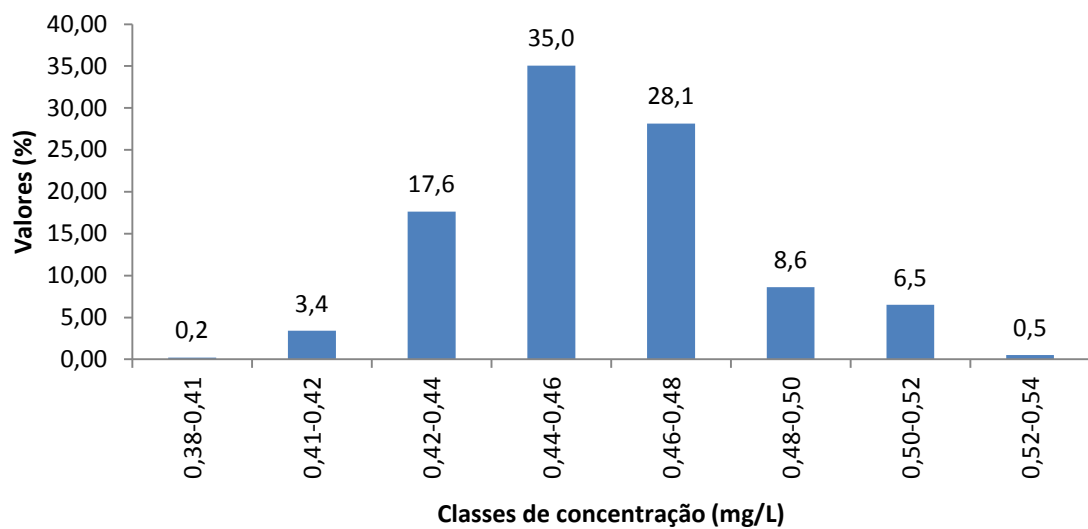


Figura 5.16 – Distribuição de frequência para a concentração máxima de Nitrato considerando-se um percentual de variação de 20% para a geração aleatória das constantes cinéticas.

A partir da avaliação das figuras 5.9 a 5.16 apresentam-se como relevantes as seguintes considerações:

- Os perfis de concentração dos diferentes compostos de nitrogênio permaneceram inalterados em sua forma, quando do emprego da distribuição uniforme para a geração aleatória dos dados de entrada das simulações computacionais, uma vez que as equações diferenciais empregadas para simular o ciclo do nitrogênio não foram modificadas.
- O emprego da distribuição Uniforme, considerados os valores de percentual de variação associados às constantes cinéticas (20%) e variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade (5%), produziram histogramas de frequência para as concentrações máximas dos diferentes compostos de nitrogênio similares àqueles que foram produzidos com auxílio da distribuição normal. As maiores frequências de ocorrência das máximas concentrações dos compostos nitrogenados foram observadas em faixas de concentração semelhantes.
- No histograma de frequência associado ao nitrogênio orgânico (Figura 5.13), as concentrações máximas de nitrogênio orgânico para o curso d'água variaram entre 0,20 mg/L a 0,23 mg/L, considerando o conjunto de 1000 (mil) simulações e a geração aleatória de variáveis de entrada. É relevante registrar que aproximadamente 35% dos valores máximos de nitrogênio orgânico se situaram no intervalo 0,21 mg/L a 0,22 mg/L e que a probabilidade de que as concentrações máximas de nitrogênio orgânico fossem menores que 0,20 mg/L ou maiores que 0,24 mg/L não alcançou 10%.
- As concentrações máximas de nitrogênio amoniacal, conforme representado na Figura 5.14, apresentaram probabilidade de aproximadamente 67% de se situarem entre 0,28 mg/L e 0,31 mg/L, com 25,3% das concentrações máximas na faixa de 0,28 mg/L a 0,29 mg/L. A frequência com que as concentrações máximas de nitrogênio amoniacal ficaram abaixo de 0,28 mg/L foi de aproximadamente 22%. Apenas 116 simulações (11,6%) apresentaram resultados nos quais as concentrações máximas de amônia excederam 0,31 mg/L.

- Em 69,5% das simulações realizadas as concentrações máximas de nitrito apresentaram-se na faixa de 0,04 mg/L e 0,07mg/L. A frequência com que as concentrações máximas apresentaram-se acima de 0,08 mg/L ou abaixo de 0,05 mg/L não superou 8%.
- As concentrações máximas de nitrato estiveram no intervalo de 0,44 mg/L e 0,48mg/L (631 simulações). No intervalo de 0,44 mg/L a 0,46 mg/L, a frequência de ocorrência de concentrações máximas foi de 35%; na faixa de 0,46 mg/L a 0,48 mg/L, observou-se aproximadamente 28% (28,1%) das concentrações máximas de nitrato. Concentrações máximas inferiores a 0,42 mg/L, ocorreram em apenas 36 simulações. Concentrações superiores a 0,50 mg/L foram observadas em 7% das simulações realizadas.

## **5.2. AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO ALEATÓRIA DAS CONSTANTES CINÉTICAS**

### **5.2.1. Constantes Cinéticas que Regulam o Decaimento do nitrogênio orgânico**

As figuras 5.17, 5.18 e 5.19 apresentam as distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrogênio orgânico e de nitrogênio amoniacal. A Figura 5.17 reúne histogramas produzidos quando do emprego das distribuições Normal e Uniforme para a geração aleatória do coeficiente de remoção de nitrogênio por sedimentação ( $K_{so}$ ), considerados coeficientes ou percentuais de variação de 10%, 50% e 90%. As Figuras 5.18 e 5.19, por sua vez, reúnem os gráficos com distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrogênio orgânico (Figura 5.18) e nitrogênio amoniacal (Figura 5.19), produzidas com geração aleatória do coeficiente  $K_{an}$  a partir das distribuições Normal e Uniforme, assumidos coeficientes ou percentuais de variação de 10%, 50% e 90%. É relevante registrar que nas simulações, quando da variação dos coeficientes e percentuais de variação associados aos

coeficientes  $K_{so}$  e  $K_{an}$ ; os coeficientes e percentuais de variação referentes à geração das variáveis hidrodinâmicas e de qualidade de água conservaram valores indicados na seção 4.5.

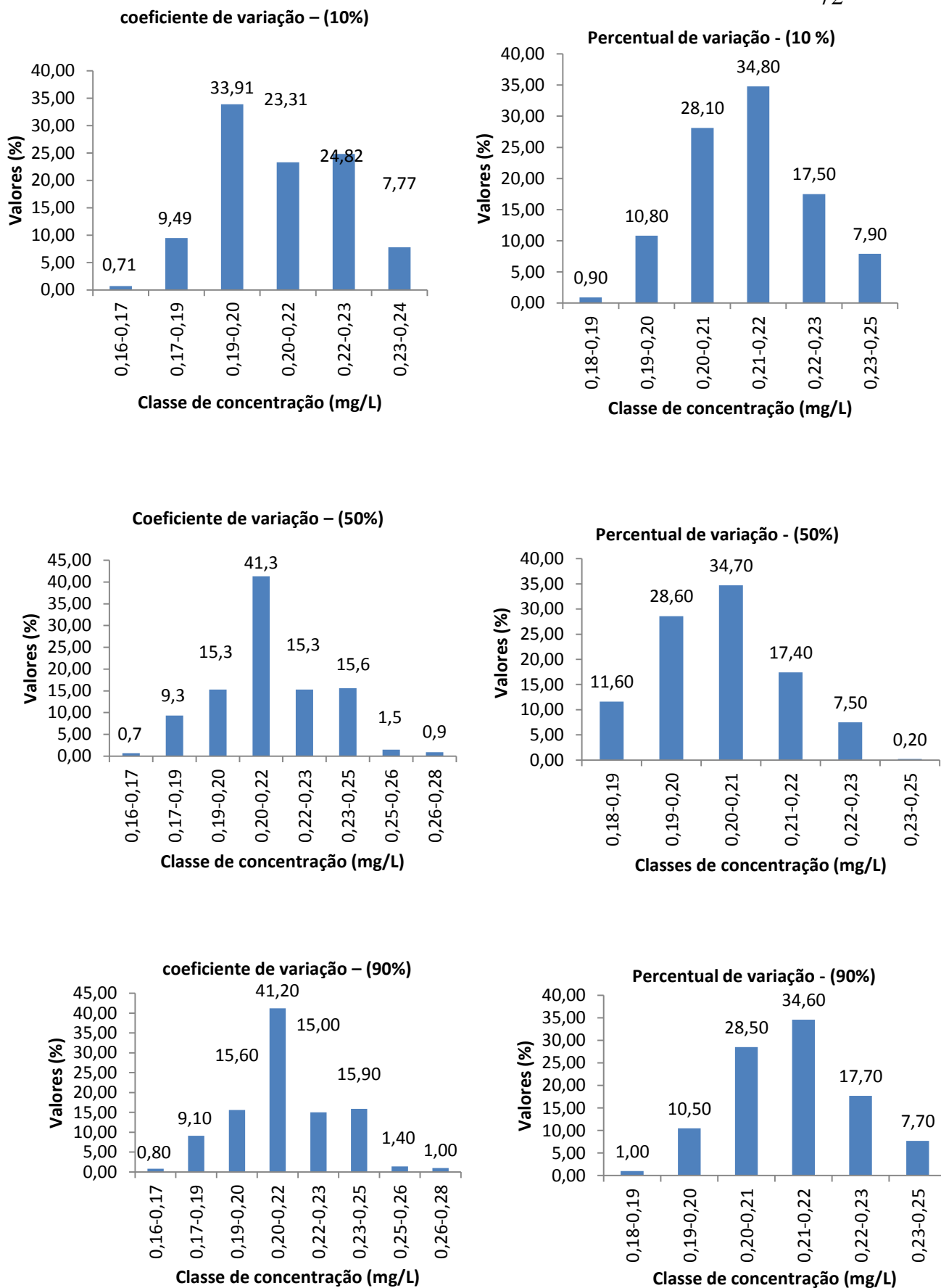


Figura 5.17 - Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrogênio orgânico considerando os percentuais e coeficientes de variação de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da  $K_{so}$ .

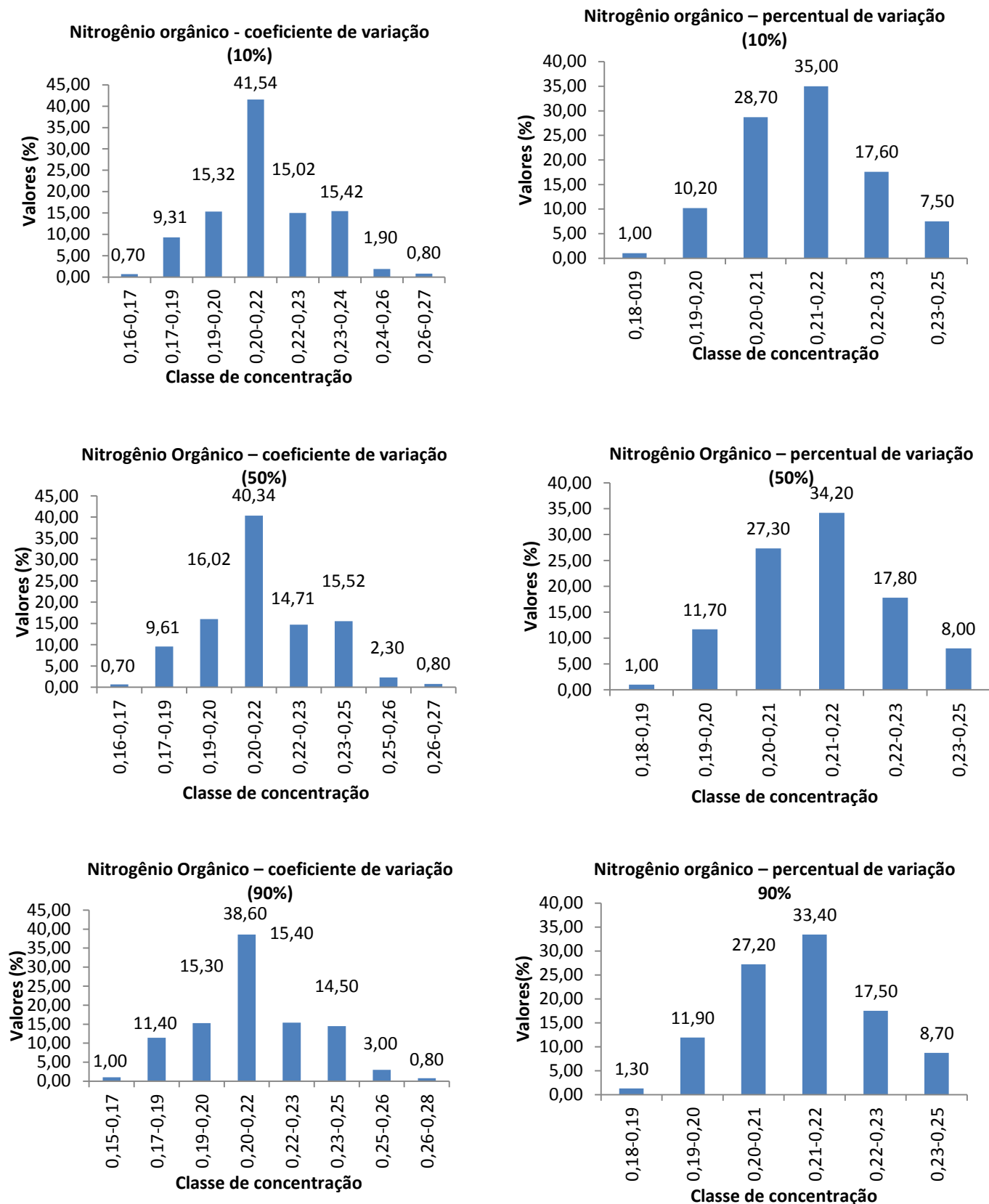


Figura 5.18 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrogênio orgânico considerando os percentuais e coeficientes de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da  $K_{oa}$ .



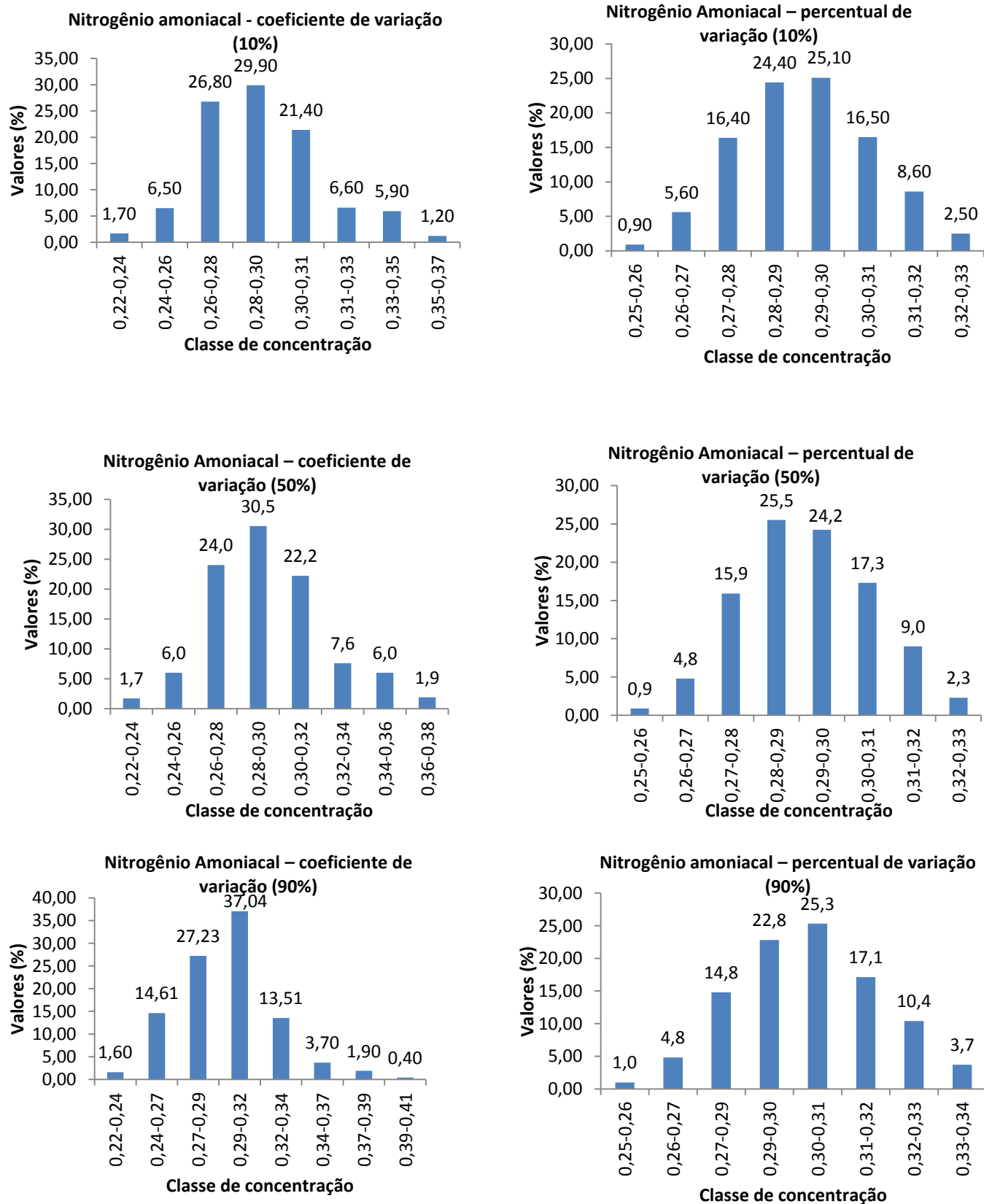


Figura 5.19 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrogênio amoniacal considerando os percentuais e coeficientes de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da  $K_{oa}$ .

Os valores extremos das concentrações máximas dos diferentes compostos de nitrogênio, quando da geração aleatória dos coeficientes  $K_{so}$  e  $K_{oa}$  a partir de diferentes percentuais e coeficientes de variação, estão resumidos nas Tabelas 5.1 e 5.2. É relevante registrar que estas tabelas (assim como suas simulares apresentadas em seções subsequentes) também apresentam os valores extremos das concentrações máximas de nitrogênio orgânico e amônia total estimados com percentual e coeficiente de variação de 20%, valor empregado para as simulações sumarizadas na seção 5.1.

Tabela 5.1 – Valores extremos das concentrações máximas dos compostos de nitrogênio (mg/L) considerada a geração aleatória da  $K_{so}$ , a partir de diferentes coeficientes e percentuais de variação.

Parâmetro	Valor Extremo	Coeficiente de variação (%)				Percentual de variação (%)			
		10	20	50	90	10	20	50	90
Nitrogênio Orgânico	Mínimo	0,16	0,16	0,16	0,16	0,18	0,18	0,18	0,19
	Máximo	0,27	0,27	0,27	0,27	0,24	0,24	0,24	0,24
Nitrogênio amoniacal	Mínimo	0,22	0,22	0,22	0,22	0,25	0,25	0,25	0,26
	Máximo	0,37	0,37	0,37	0,37	0,33	0,33	0,33	0,33

Tabela 5.2 – Valores extremos das concentrações máximas dos compostos de nitrogênio (mg/L) considerada a geração aleatória da  $K_{oa}$ , a partir de diferentes coeficientes e percentuais de variação.

Parâmetro	Valor Extremo	Coeficiente de variação (%)				Percentual de variação (%)			
		10	20	50	90	10	20	50	90
Nitrogênio Orgânico	Mínimo	0,16	0,16	0,16	0,15	0,18	0,18	0,18	0,18
	Máximo	0,27	0,27	0,27	0,28	0,24	0,24	0,24	0,24
Nitrogênio amoniacal	Mínimo	0,22	0,22	0,22	0,22	0,26	0,25	0,25	0,25
	Máximo	0,37	0,37	0,38	0,41	0,33	0,33	0,33	0,34

O coeficiente  $K_{so}$  é substancialmente menor (uma ordem de grandeza) que os demais coeficientes que regulam as transformações associadas ao ciclo do nitrogênio. Este aspecto conforma o fato de que, as variações decorrentes da remoção do nitrogênio orgânico por sedimentação foram consideravelmente menores que as variações associadas a conversão de nitrogênio orgânico para nitrogênio amoniacal.

Os resultados reunidos na Figura 5.17 e na Tabela 5.1 permitem observar que as alterações do coeficiente de variação ou do percentual de variação, função da pequena influência do  $K_{so}$  sobre as concentrações de nitrogênio orgânico, não modifica de maneira significativa os valores extremos das concentrações dos compostos de nitrogênio, a forma do diagrama de frequência das concentrações máximas ou a probabilidade de ocorrência de concentrações máximas nas diferentes classes de concentração.

Independentemente da distribuição de probabilidade usada para a geração aleatória da  $K_{so}$  ou da flutuação admissível dos valores de  $K_{so}$  entorno do seu valor médio, as concentrações máximas de nitrogênio orgânico ocorreram predominantemente entre 0,20 mg/L e 0,22 mg/L. Os valores extremos de nitrogênio amoniacal flutuaram entre 0,16 mg/L e 0,27 mg/L (quando do emprego da distribuição Normal) e entre 0,18 mg/L e 0,24 mg/L (distribuição Uniforme).

Os resultados das simulações associadas à geração aleatória dos valores do coeficiente que representa as transformações de nitrogênio orgânico para amônia ( $K_{oa}$ ) estão representados pelos diagramas de frequência das figura 5.18 (nitrogênio orgânico) e 5.19 (nitrogênio amoniacal) e sumarizadas na Tabela 5.2. A partir da simples inspeção das referidas figuras e tabela, apresentam-se como relevantes as seguintes informações:

- Variações nos coeficientes ou percentuais de variação entre 10% e 50% não alteram os valores extremos das concentrações máximas de nitrogênio orgânico ou de nitrogênio amoniacal;
- As concentrações máximas de nitrogênio orgânico oscilaram ente 0,16 mg/L e 0,27 mg/L para coeficientes de variação entre 10% e 50% e entre 0,18 mg/L e 0,24 mg/L para percentuais de variação entre 10% e 50%.

Já as concentrações máximas de nitrogênio amoniacal variaram entre 0,22 mg/L e 0,38 mg/L para mesma faixa de valores do coeficiente de variação e entre 0,25 e 0,33 mg/L para as referidas flutuações no percentual de variação.

- Quando da adoção de 90% para a os coeficientes e percentuais de variação, associados à geração aleatória da  $K_{oa}$ , foram produzidas diferentes perfis e diagramas de frequência das concentrações máximas de nitrogênio amoniacal. As concentrações máximas, quando no emprego da distribuição Normal ocorreram entre 0,29 mg/L a 0,32 mg/L , concentrando aproximadamente 37% do total de simulações realizadas. A partir do emprego da distribuição Uniforme, aproximadamente 25% das concentrações máximas de nitrogênio amoniacal se situarem na faixa de 0,30 mg/L a 0,31 mg/L.

### **5.2.2. Constantes cinéticas que regulam o decaimento do nitrogênio amoniacal**

As figuras 5.20 e 5.21 apresentam os histogramas com as distribuições de frequência para as concentrações máximas de nitrogênio amoniacal e nitrito considerando a adoção dos coeficientes e percentuais de variação de 10%, 50% e 90%. Para a geração aleatória do coeficiente de transformação de amônia em nitrito ( $K_{an}$ ). A figura 5.20 apresenta a distribuição de frequência das concentrações máximas de nitrogênio amoniacal. A Figura 5.21, por sua vez, reúne os histogramas de frequência referentes as concentrações máximas de nitrito.

Os valores extremos das concentrações máximas de nitrogênio amoniacal e nitrito, quando das alterações impostas aos coeficientes e percentuais de variação, estão reunidos na Tabela 5.3.

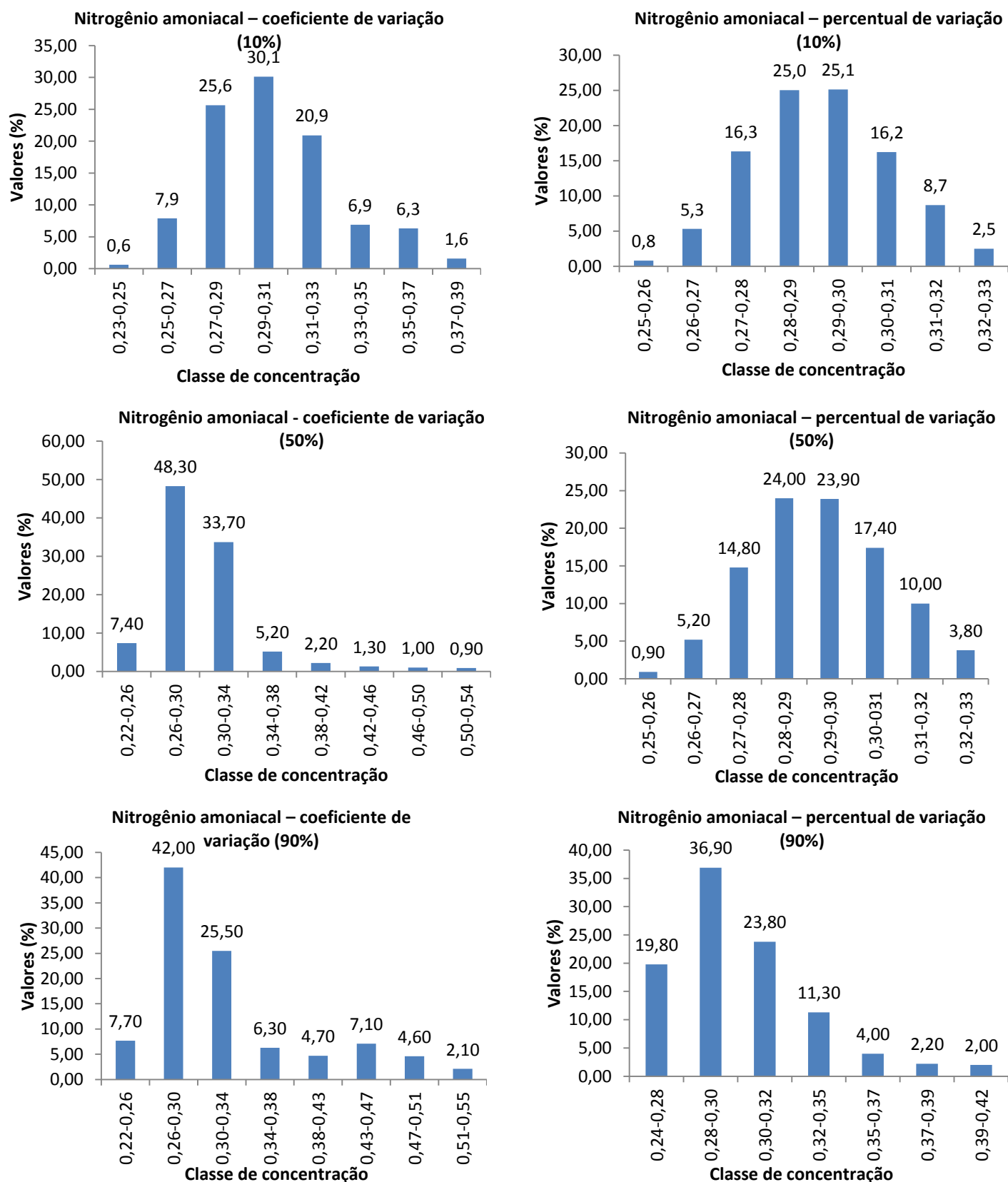


Figura 5.20 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrogênio amoniacoal considerando os percentuais e coeficientes de variação de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da  $K_{an}$ .

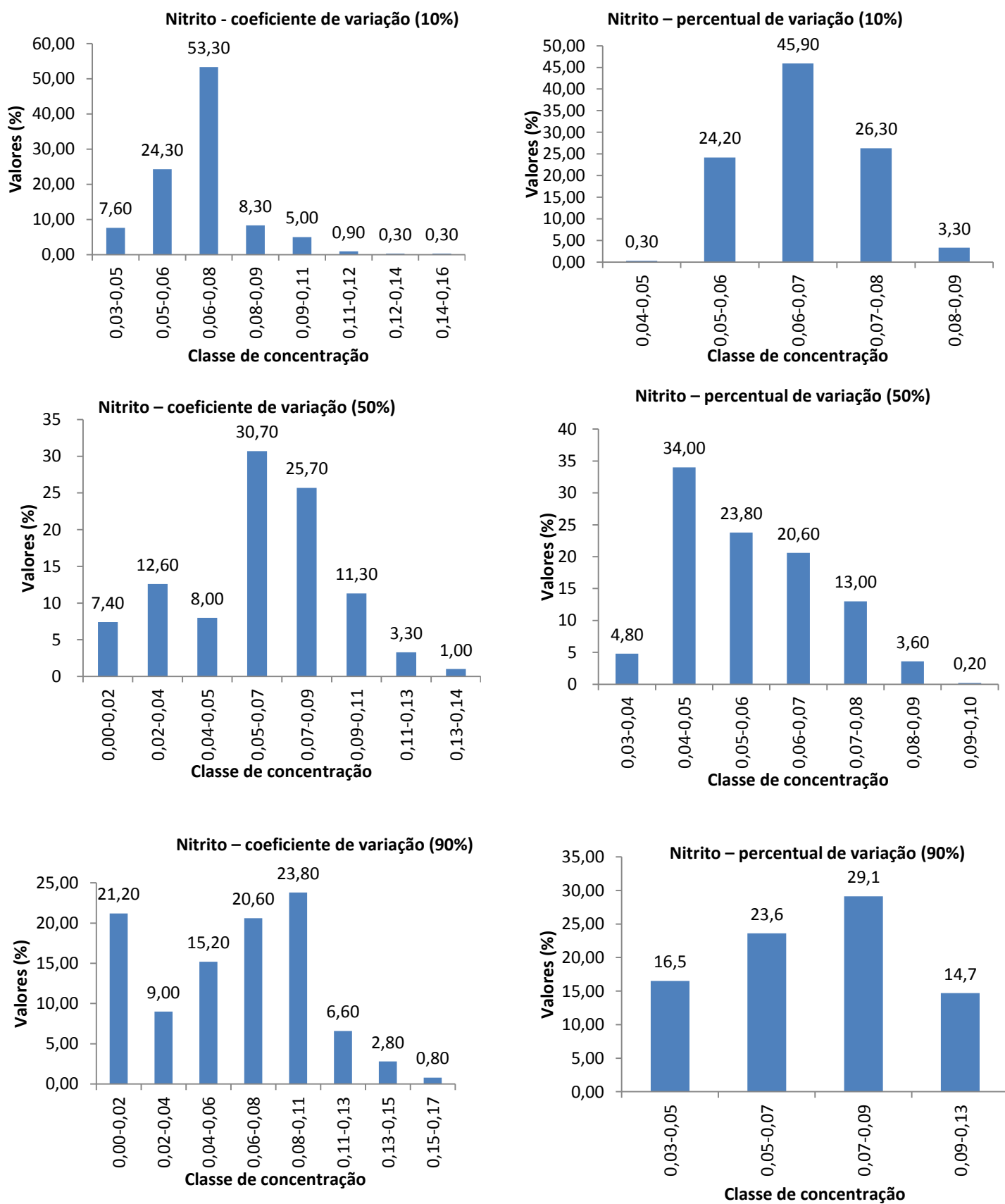


Figura 5.21 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrito considerando os percentuais e coeficientes de variação de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da  $K_{an}$ .

Tabela 5.3 – Valores extremos das concentrações máximas dos compostos de nitrogênio (mg/L), considerados a geração aleatória da  $K_{an}$  a partir de diferentes coeficientes e percentuais de variação.

Parâmetro	Valores Extremos	Coeficiente de variação (%)				Percentual de variação (%)			
		10	20	50	90	10	20	50	90
Nitrogênio amoniacal	Mínimo	0,23	0,22	0,22	0,22	0,25	0,25	0,26	0,25
	Máximo	0,39	0,37	0,54	0,55	0,33	0,33	0,36	0,42
Nitrito	Mínimo	0,03	0,03	0,00	0,00	0,05	0,04	0,03	0,01
	Máximo	0,15	0,13	0,14	0,17	0,09	0,09	0,10	0,12

Considerando os resultados produzidos pelos gráficos apresentados nas Figuras 5.20 e 5.21, e as informações apresentadas na tabela 5.3, apresentam-se como relevantes as seguintes considerações:

- Os histogramas de frequência apresentados por meio da Figura 5.20 permitem observar que as concentrações máximas de nitrogênio amoniacal geradas com auxílio da distribuição Normal variaram entre 0,23 mg/L a 0,39 mg/L quando da adoção de coeficiente de variação de 10%. A partir do emprego da distribuição Uniforme, as concentrações máximas de nitrogênio amoniacal variaram entre 0,25 mg/L a 0,33 mg/L para percentual de variação de 10%. As concentrações máximas oscilaram entre 0,22 mg/L e 0,55 mg/L considerando-se um coeficiente de variação de 90%, e entre 0,25 mg/L e 0,42 mg/L para um percentual de variação de 90%.
- Em mais de 400 quatrocentas simulações (483 simulações), quando da geração aleatória de  $K_{an}$  a partir de um coeficiente de variação de 50%, as concentrações máximas de nitrogênio amoniacal se estabeleceram no intervalo de 0,26 mg/L a 0,30 mg/L. Na distribuição Uniforme, para o percentual de variação de 50%, as concentrações máximas ocorreram majoritariamente no intervalo de 0,28 mg/L a 0,30 mg/L (faixa que acumulou 479 simulações do grupo de 1000 simulações realizadas).
- Quando da adoção de 90% para os coeficientes e percentuais de variação, associados à geração aleatória da  $K_{an}$ , foram produzidas diferentes perfis e diagramas de frequência das concentrações máximas

de nitrogênio amoniacal. As concentrações máximas, quando o emprego da distribuição Normal, ocorreram entre 0,26 mg/L a 0,30 mg/L , faixa que concentrou 42% do total de simulações realizadas. A partir do emprego da distribuição uniforme, aproximadamente 37% das concentrações máximas de nitrogênio amoniacal se situarem na faixa de 0,28 mg/L a 0,30 mg/L.

### **5.2.3. Constante Cinética que Regula o Decaimento de Nitrito e Acumulação de Nitrato**

As figuras 5.22 e 5.23 apresentam histogramas de frequência referentes as concentrações máximas de nitrito (Figura 5.22) e nitrato ( Figura 5.23), estabelecidos a partir da geração aleatória do coeficiente de conversão de nitrito em nitrato, considerados coeficientes e percentuais de variação de 10%, 50% e 90%. Os valores extremos das concentrações máximas de nitrito e nitrato, por sua vez, estão reunidos na Tabela 5.4.



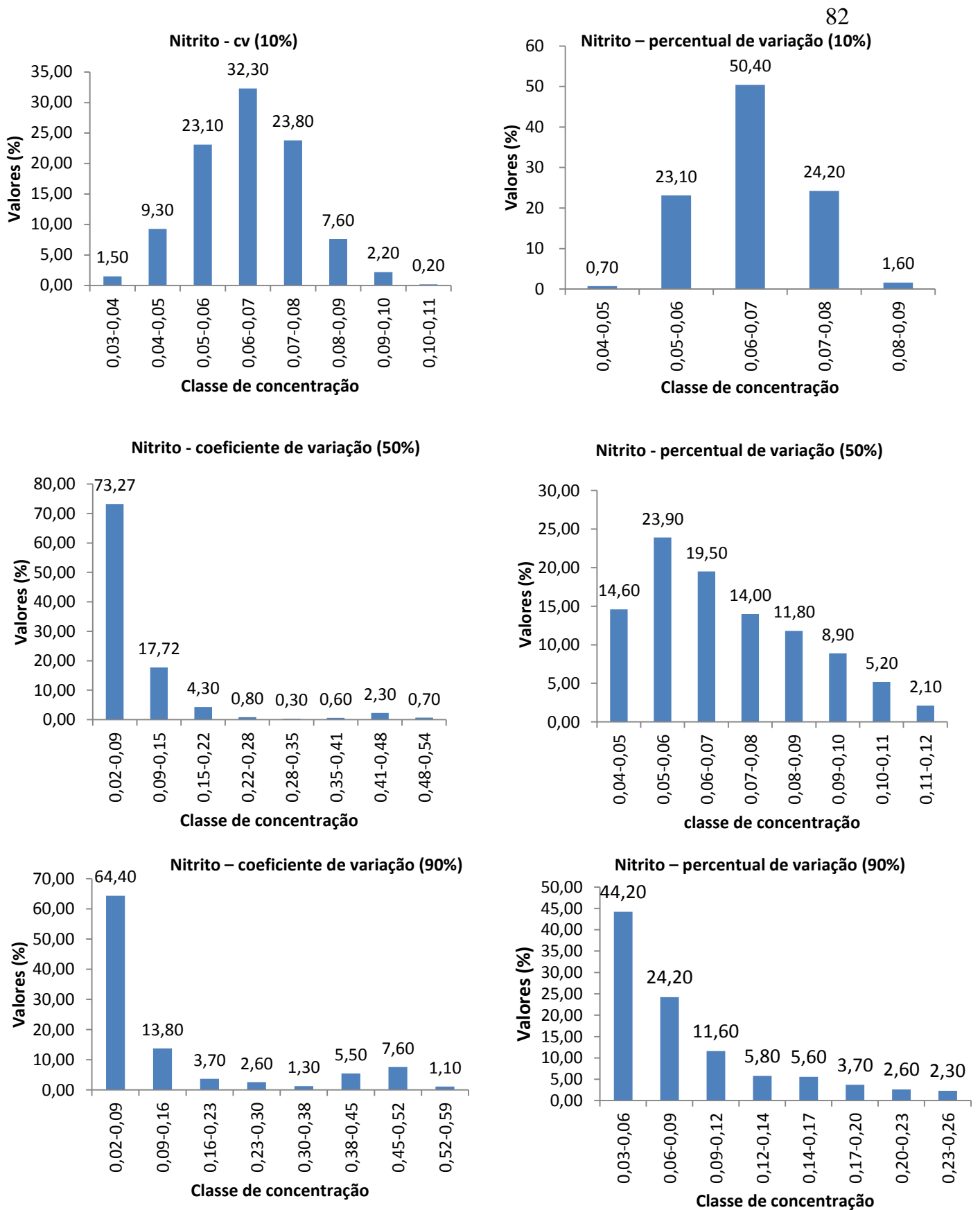


Figura 5.22 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrito considerando os percentuais e coeficientes de variação de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da  $K_{nn}$ .

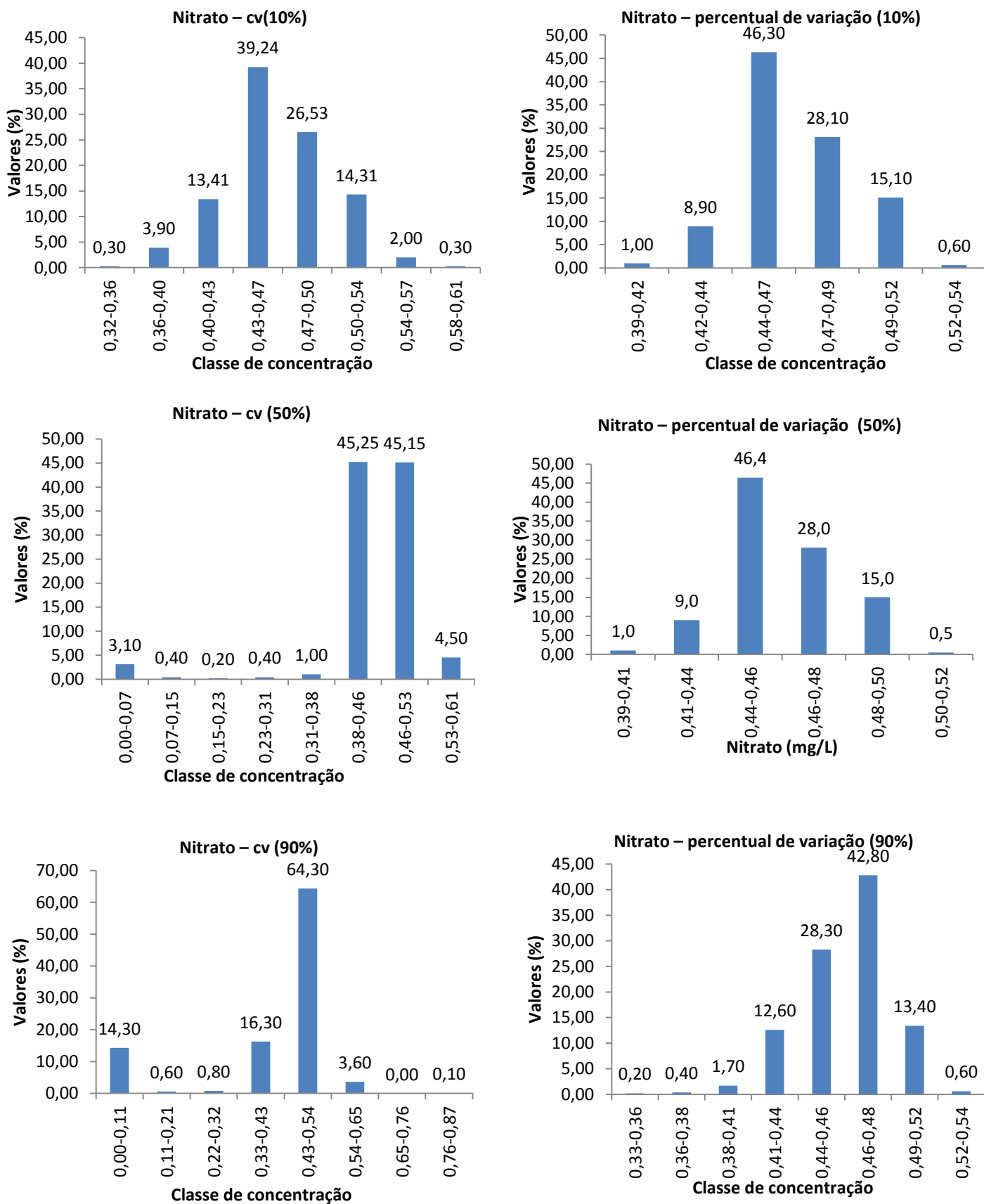


Figura 5.23 – Distribuições de frequência das concentrações máximas de nitrato considerando os percentuais e coeficientes de variação de 10%, 50% e 90% para a geração aleatória da  $K_{nn}$ .

Tabela 5.4 – Valores extremos das concentrações máximas dos compostos de nitrogênio (mg/L), considerados a geração aleatória da  $K_{nn}$  a partir de diferentes coeficientes e percentuais de variação.

Parâmetro	Valor Extremo	Coeficiente de variação (%)				Percentual de variação (%)			
		10	20	50	90	10	20	50	90
Nitrito	Mínimo	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05	0,04	0,04	0,03
	Máximo	0,10	0,13	0,54	0,59	0,08	0,09	0,12	0,26
Nitrato	Mínimo	0,32	0,31	0,00	0,00	0,39	0,39	0,39	0,33
	Máximo	0,61	0,61	0,61	0,87	0,54	0,54	0,54	0,54

A partir da simples inspeção dos resultados ilustrados nos gráficos das figuras 5.22 e 5.23 e na Tabela 5.4, apresentam-se como relevantes as seguintes considerações:

- A adoção de coeficiente de variação de 10% produziu concentrações máximas de nitrito que oscilaram entre 0,03 mg/L e 0,10 mg/L, com aproximadamente 80% (79,2%) das concentrações máximas concentradas no intervalo de 0,05 mg/L e 0,08 mg/L. A adoção de coeficientes de variação de 50% ou 90% deformaram os histogramas de frequência por produzirem concentrações máximas de nitrito substancialmente maiores. O emprego de um coeficiente de variação de 50% produziu concentração máxima de nitrito de 0,54 mg/L. Já adoção de 90%, produziu concentração máxima de 0,59 mg/L.
- O emprego da distribuição Normal para a geração aleatória do coeficiente  $K_{nn}$  produziu, sobre as concentrações de nitrato, efeito inverso àquele produzido sobre as concentrações de nitrito. A adoção de um coeficiente de variação de 10% produziu concentrações máximas de nitrato no intervalo de 0,32 mg/L a 0,61 mg/L, com aproximadamente 67% das concentrações máximas no intervalo de 0,43 mg/L a 0,50 mg/L. No entanto, a adoção de coeficiente de variação de 50% ou 90% estabeleceu a possibilidade de acumulação de nitrito sem eventual geração de nitrato. Para coeficiente de variação de 50%, em 31 das 1000 simulações conduzidas, as concentrações máximas de nitrato se situaram no intervalo entre zero e 0,07 mg/L. O coeficiente de variação

de 90% produziu, em 143 das 1000 simulações, concentrações máximas entre zero e 0,11mg/L.

- A adoção de percentual de variação de 10% produziu concentrações máximas de nitrito que oscilaram entre 0,04 mg/L e 0,09 mg/L, com as concentrações máximas se concentrando no intervalo de 0,06 mg/L e 0,07 mg/L (aproximadamente 51%). Ao se empregar o percentual de variação de 90% os histogramas de frequência foram deformados, apresentando concentrações máximas de nitrito num intervalo substancialmente mais elástico (de 0,03 a 0,26 mg/L). O emprego de um percentual de variação de 50% produziu concentrações máximas de nitrito que não excederam 0,12 mg/L.
- As concentrações máximas de nitrato geradas com auxílio da distribuição Uniforme também apresentaram comportamento inverso daquele associado às concentrações de nitrito. A adoção de um percentual de variação de 10% produziu concentrações máximas de nitrato que variaram de 0,31 mg/L a 0,54 mg/L, com 46,3% das concentrações máximas no intervalo de 0,44 mg/L a 0,47 mg/L. Na adoção de percentuais de variação de 50% ou 90% as concentrações máximas de nitrato mantiveram-se dentro da mesma faixa de variação. Para o percentual de variação de 50%, em 464 das 1000 simulações conduzidas, as concentrações máximas de nitrato se situaram no intervalo de 0,44 mg/L a 0,46 mg/L. O percentual de variação de 90% produziu, em aproximadamente 430 das 1000 simulações, concentrações máximas de nitrato entre 0,46 mg/L a 0,48 mg/L.

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou, a partir do emprego combinado de um modelo de qualidade de água e do método de Monte Carlo, o comportamento dos compostos de nitrogênio no trecho final do Rio Piracicaba-MG. Neste contexto, as principais conclusões decorrentes do trabalho podem ser assim sumarizadas:

- O emprego da análise de incerteza com auxílio do método de Monte Carlo apresentou-se como uma ferramenta versátil que permitiu descrever, em combinação com o emprego de um modelo de qualidade de água e para o sistema hídrico estudado, o padrão de variação espacial dos compostos de nitrogênio;
- O ambiente computacional, desenvolvido na planilha Microsoft Excel, permitiu a condução das simulações de qualidade de água, com incorporação da análise de incerteza pelo método de Monte Carlo, de forma ágil e simples;
- A simulação da variação espacial dos compostos de nitrogênio, incorporando-se análise de incerteza com auxílio das distribuições Normal ou Uniforme, permitiu a indicação das faixas de concentração que, com maior probabilidade, deveriam ocorrer as concentrações máximas de nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. Em função das naturais diferenças entre as distribuições Normal e Uniforme, os percentuais de ocorrência entre as diferentes faixas de valores de concentrações máximas variaram mais acentuadamente quando do emprego da distribuição Normal.
- Para a porção final do rio Piracicaba, o emprego da distribuição Normal, com coeficiente de variação de 20% para geração aleatória das constantes cinéticas, produziu concentrações máximas de nitrogênio orgânico que se situaram mais frequentemente entre 0,20 mg/L e 0,22 mg/L (42%), de nitrogênio amoniacal entre 0,28 mg/L e 0,30 mg/L (30%), de nitrito entre 0,05 mg/L e 0,07 mg/L (49%) e de nitrato entre 0,46 mg/L e 0,50 mg/L (37%).

- Com o emprego da distribuição Uniforme assumindo-se percentual de variação de 20%, a variação dos percentuais entre as faixas de concentrações máximas tornou-se menos acentuada na área de estudo, ainda que as maiores frequências de concentrações máximas tenham ocorrido em faixas semelhantes àquelas associadas à distribuição Normal. As concentrações máximas de nitrogênio orgânico na porção final do rio Piracicaba se situaram, predominantemente, entre 0,21 mg/L e 0,22 mg/L (36%), de nitrogênio amoniacal entre 0,28 mg/L e 0,30 mg/L (50,6%).
- Para a porção final do rio Piracicaba a adoção de diferentes percentuais ou coeficientes de variação para a geração aleatória das constantes cinéticas que regulam o decaimento do nitrogênio orgânico não influenciou, de maneira significativa, os valores extremos das concentrações máximas de nitrogênio orgânico ou nitrogênio amoniacal.
- Coeficientes ou percentuais de variação de 50% ou de 90%, quando empregados para a geração aleatória das constantes cinéticas que regulam o decaimento de nitrogênio amoniacal e nitrito, modificaram os valores e a forma dos histogramas de frequência das concentrações máximas de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, ocorrendo, em determinadas simulações, a inibição da produção das formas mais oxidadas de nitrogênio.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. F. 2007. **Modelagem Matemática da Qualidade das Águas**. Disponível em < <http://portal.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/monitoramento-quantitativo-e-qualitativo-dos-recursos-hidricos/boletins-qualitativos/relatorios-e-resenhas/leitura-de-minuto/sec4doc5608.pdf>> Acesso em 08 de Julho de 2013 às 13:45h.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BÁRBARA, V. F. **Uso do modelo QUAL2E no Estudo da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do Rio Araguari – AP (Amazônia)**. 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

BOTTINO, F. **Estudo Experimental e Temático de Qualidade de Água com Base na Ecohidrologia Fluvial de Pequenas Bacias: Estudo de Caso do Rio Canha, Baixo Ribeiro de Iguape, SP**. 208 f. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós Graduação em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2008.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305 p.

BROWN, L. C.; BARNWELL Jr, T. O. **The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual**. Georgia: USEPA, 1987, 189p.

CAMPOS FILHO, F. F. **Algoritmos Numéricos**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2001.

CASTAGNINO, W.A. **Polucion de Water: Modelo y Control**. Lima: CEPIS, 1977.

COSTA, D. J. L.; TEIXEIRA, D. **Aplicação de Modelo de autodepuração para avaliação da qualidade da água do Ribeirão do Ouro, Araraquara, SP, Brasil**. Revista Uniara, v.13, n.1, 2010.

COSTA, D. J. L.; TEIXEIRA, D. **Análise de incerteza em um modelo matemático de qualidade da água aplicado ao Ribeirão do Ouro, Araraquara,SP, Brasil**. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 232-245, 2011.

CHAPRA, S. C. **Surface water-quality modeling**. New York: McGraw-Hill. 1997.

CLEMEN, R. T.; REILLY, T. (2001). **Makin hard Decisions With Decision – Tools**, Duxbury. CA.

ENRICH-PRAST, A. **Caminhos do nitrogênio em ecossistemas aquáticos continentais**. In: ROLAND, F.; CESAR, D. e MARINHO, M. Lições de Limnologia. Rima: São Carlos (SP). 2005. p. 209-227.

EMERSON, K.R.E; LUND, R.V.; THURSTON, R.C.; Russo. 1975. **Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature**. J. Fish. Res. Board Can. 32: 2379-2383.

ESTEVEES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1988.

ESTY D.C.; LEVY, M.; SREBOTNJAK, T., SHERBININ, A. **Environmental Sustainability Index: benchmarking national environmental stewardship**. New Haven: Yale Center for Environmental Law e Policy; 2005.

FERREIRA, E. S. **Cinética Química e Fundamentos dos Processos de Nitrificação e Desnitrificação Biológica**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). I-121. 2000.

FERNICOLA, N. G. G.; AZEVEDO, F. A. **Metemoglobinemia e Nitrato nas Águas**. *Revista Saúde Pública*, Apr. 1981, vol.15, nº.2, p.242-248. ISSN 0034-8910

FERRETI, E. C. **Estudo da Influência da Relação S0/X0 na Determinação da Atividade Específica de Bactérias Nitrificantes**. 2005. 111f. Dissertação (Mestrado) do programa de pós-graduação em engenharia química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2005.

GONÇALVES, J.C.I.; SARDINHA, D. S.; BOESSO, F. F. **Modelo Numérico para a Simulação da Qualidade da Água no Trecho Urbano do Rio Jaú, Município de Jaú (SP)**. *Revista de estudos ambientais*, v.13, n.2, p. 44-56. 2011.

GUEDES, H. A. L. **Estudo Matemático-Experimental da Qualidade da Água e da Capacidade de Autodepuração do Rio Pomba**. 155 f. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-graduação em engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

HADJIKAKOU, M.; WHITEHEAD, P.G.; JIN, L. et al., **Modelling Nitrogen in the Yeşilirmak River Catchment in Northern Turkey: Impacts of Future Climate and Environmental Change and Implications for Nutrient Management**. ScienceDirect. Science of the total environment. In press, 2011.

IWA Task Group on River Water Quality Modeling. **Scientific and technical report nº 12: River water quality model nº 1**. Londres: IWA Publishing, 2001.

JESUS, J. A. O. **Utilização de Modelagem Matemática 3D na Gestão da Qualidade da Água em Mananciais – Aplicação no Reservatório Billings**.



157 f. Tese (Doutorado) do Programa de Pós-graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

JUNG, H.S.; DENG, Z.Q. **Modeling of Nitrogen Retention in Amite River**. Springer Science. Louisiana State University. Baton Rouge, USA, 2011.

JUWANA, I.; MUTTIL N.; PERERA B.J.C. **Indicator Based Water Sustainability Assessment — A review**. *Science of the total environment*. In press, 2012.

KANAPIK, H. G. **Reflexões Sobre Monitoramento, Modelagem e Calibração na Gestão de Recursos Hídricos: Estudo de Caso da Qualidade da Água da Bacia do Alto Iguaçu**. 204 f. Dissertação (Mestrado) do Programa de pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

KONDAGESKI, J. H. **Calibração de Modelo de Qualidade da Água para Rio Utilizando Algoritmo Genético**. 162 f. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2008.

KUCZERA, G.; PARENT E. (1998) **Monte Carlo assessment of parameter uncertainty in conceptual catchment models:the Metropolis algorithm**. *Journal of Hydrology*, 211 p 69-85.

LARENTIS, D. G. **Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: Sistema Taquari-Antas – RS**. 177 f. Dissertação (Mestrado) do Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

LEITE, A. E. **Simulação do Lançamento de Esgotos Domésticos em Rios Usando um Modelo de Qualidade D'água, SisBAHIA®**. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-graduação em Saúde Pública da Escola Nacional de Saúde Pública, Fiocruz, Rio de Janeiro, Área de concentração: Saneamento Ambiental, 2004.

LIMA, C. A. A. GIORGETTI, M. F. **Aplicação do Modelo QUAL2E na Simulação de Descargas Acidentais Contaminantes**. 19º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), Anais. VL-057, p.1-14, Foz do Iguaçu, Paraná.

LIMA, E. B. N. R. **Modelagem Integrada para Gestão da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cuiabá**. Tese (Doutorado) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001.

LIMA, F. N. **Avaliação das Probabilidades de Falhas em Barragens, Associadas a Eventos de Naturezas Hidráulicas e Hidrológicas: Estudo de Caso da PCH Cajuru**. 146 f Dissertação (Mestrado) do Programa de pós-

graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

LINDENSCHMIDT, K.E. **The Effect of Complexity on Parameter Sensivity and Model Uncertainty in River Water Quality Modelling**. Ecological modelling. Vol. 190, p. 72-86, 2006.

MCINTYRE, N. *et. al.* **Sensitivity Analysis of a Catchment-Scale Nitrogen Model**. Journal of hydrology. Vol. 315, p. 71-92, 2005.

MENDES, D. A. R. **Aplicação do Modelo QUAL 2Kw para Avaliação de Cargas Pontuais no Rio Itapanhu**. 204 f. Dissertação (Mestrado) do Programa de pós-graduação em Engenharia da Universidade de São Paulo, São Paulo, Área de concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2010.

MOURÃO JÚNIOR, P.R. **Aplicação do modelo de autodepuração de qualidade das águas QUAL-UFMG: estudo de caso sub-bacia do rio Piracicaba**. 160 f. Dissertação (mestrado) do Programa de pós-graduação em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

NARDO, M.; SAISANA, M.; SALTELLI, A., TARANTOLA, S.; HOFFMAN, A. GIOVANNINI, E. **Handbook On Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide** (Vol. 2005). Ispra, Italy: OECD Statistics Working Paper; 2005.

PASTRES, R.; CIAVATTA, S. **A Comparison Between the Uncertainties in Model Parameters and in Forcing Functions: its Application to a 3D Water-Quality Model**. *Environmental modeling e software*. Vol. 20, p. 981-989, 2005.

PEREIRA, T. V.; MENDONÇA, A. S. F. **Aplicação de Modelagem Computacional na Simulação de Parâmetros de Qualidade da Água Relacionados com Nitrogênio em Curso D'água**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. João Pessoa, PB: ABRH, 2005.

PIEDRAS, S. R. N. *et al.* **Toxicidade Aguda da Amônia Não Ionizada e do Nitrito em Alevinos de Cichlasoma Facetum (Jenyns, 1842)**. Ciência. 66 Agrotecnologia. Artigo Lavras, v. 30, n. 5, p.1008-1012, set/Oct. 2006.

REIS, J. A. T. **Estudo dos Padrões para Compostos Amoniacais em Efluentes e Cursos D' água Interiores**. 120 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1997.

REIS, J. S. A. **Modelagem matemática da qualidade de água para o Alto Rio das Velhas/ MG**, 2009. 182p. Dissertação (Mestrado) Programa de pós-graduação em Sustentabilidade Sócio-econômica e Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Área de concentração: Ambimetria, 2009.

REZENDE, G. R. **Aplicação do Modelo Matemático de Qualidade da Água QUAL2E para o Estudo do Comportamento dos Nutrientes Nitrogênio e Fósforo no Rio Monjolinho, São Carlos – SP.**In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Maceió – AL, 2011.

ROQUES, T. V. P. **Aplicação de Modelos Computacionais na Análise de Outorga para Diluição de Efluentes em Corpos de Água – Fontes Pontuais e Difusas.** Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, 2006.

SAISANA, M.; SALTELLI, A.; TARANTOLA, S. **Uncertainty and Sensitivity Analysis Techniques as Tools for the Quality Assessment of Composite Indicators.** J R Stat Soc A Stat Soc 2005; 168(2):307–23.

SALLA, M. R.; PEREIRA, C. E.; FILHO, J. E. A.; PAULA, L. M.; PINHEIRO, A. M. **Estudo da autodepuração do Rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do Rio Dourados.** Revista engenharia sanitária e ambiental, v.18, n.2, p. 105-114, 2013.

SANTOS, V. R.; **Avaliação da Qualidade da Água do Rio Andrada Através do Modelo Qual2K.** Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.

SILVA, N. G. M. **Modelagem da Qualidade da Água no Trecho de Vazão Reduzida (TVR) do Aproveitamento Hidrelétrico de Capim Branco I, no Rio Araguari-MG. 2007.134f.** Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Área de concentração: Saneamento Ambiental, 2007.

SOUZA, L. L; SILVA, T. C; **Avaliação do Comportamento dos Compostos de Nitrogênio na Porção Final do Rio Piracicaba a Partir de Modelo Matemático de Qualidade de Água.** Monografia apresentada ao curso de tecnologia em Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

STREETER, H.W.; PHELPS, E.B. **A study of the pollution and natural purification of the Ohio River.** PublicHealth Bulletin, 146, Washington, 1925.

TEBBUTT, T. H. Y. **Principles of Water Quality Control.** 4<sup>o</sup> ed. Oxford, Inglaterra: Pergamon, 1992. p.16.

TEIXEIRA, R. M. **Remoção de nitrogênio de efluentes da indústria frigorífica através da aplicação dos processos de nitrificação e desnitrificação em biorreatores utilizados em um sistema de lagoas de tratamento.** 154 f. Tese (Doutorado) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

THOMANN, R. V.; MUELLER, J. A. – **Principles of Surface Water Quality Modeling and Control**. Harper Collins Publishers, 1987.

TUNG, Yeou-koung; YEN, Ben-chie; MELCHING, Charles. **Hydrosystems Engineering Reliability Assessment and Risk Analysis**. New York: Mcgraw-hill, 2006. 514 p.

VON SPERLING, M. **Calibração e Análise de Sensibilidade de Modelos Ambientais com Base em Simulação Monte Carlo**. In: I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONE SUL; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Gramado-RS, 7-12 Novembro 1993, Vol. I, pp. 556-565, 1993.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol 1 Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. ed. Minas Gerais: DESA / UFMG, 2006. 452 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007.

XAVIER, L. N. R. **Análise da Incerteza Causada pela Representação da Precipitação no Modelo TOPMODEL**. Tese (Doutorado) do Programa de Pós-graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

## APÊNDICES

## **APÊNDICE A**

Resultados do conjunto dos 100 (cem) primeiros perfis de concentração de nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato com distribuição de probabilidade Normal









Tabela 5.6 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água.

Simulação	Distância (km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
1.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
2.	0,00	0,27	0,26	0,26	0,25	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
3.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,28	0,27	0,25	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
4.	0,00	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
5.	0,00	0,28	0,28	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
6.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01
7.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,30	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
8.	0,00	0,31	0,31	0,32	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23	0,20	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
9.	0,00	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
10.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
11.	0,00	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,33	0,32	0,30	0,28	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05
12.	0,00	0,32	0,32	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
13.	0,00	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
14.	0,00	0,33	0,33	0,32	0,30	0,29	0,26	0,23	0,20	0,17	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
15.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
16.	0,00	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
17.	0,00	0,27	0,26	0,26	0,25	0,23	0,22	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
18.	0,00	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,11	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,29	0,28	0,26	0,23	0,20	0,17	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
20.	0,00	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
21.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,28	0,27	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
22.	0,00	0,27	0,27	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
23.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,24	0,23	0,20	0,18	0,15	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
24.	0,00	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,22	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
25.	0,00	0,24	0,24	0,22	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23	0,20	0,17	0,14	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
27.	0,00	0,27	0,27	0,26	0,24	0,23	0,20	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
28.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
29.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,30	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
30.	0,00	0,25	0,24	0,23	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
31.	0,00	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
32.	0,00	0,34	0,33	0,32	0,30	0,28	0,26	0,23	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
33.	0,00	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,18	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01

Tabela 5.6 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
34.	0,00	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,18	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
35.	0,00	0,31	0,30	0,29	0,28	0,26	0,23	0,20	0,17	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
36.	0,00	0,32	0,32	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,23	0,20	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
37.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,24	0,23	0,21	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
38.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
39.	0,00	0,31	0,31	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
40.	0,00	0,28	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
41.	0,00	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,26	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
42.	0,00	0,33	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
43.	0,00	0,33	0,32	0,30	0,28	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
44.	0,00	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23	0,20	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
47.	0,00	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
48.	0,00	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
49.	0,00	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21	0,18	0,15	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
50.	0,00	0,35	0,35	0,35	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,21	0,18	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
51.	0,00	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27	0,25	0,22	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
52.	0,00	0,26	0,25	0,23	0,20	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53.	0,00	0,28	0,28	0,27	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
54.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
55.	0,00	0,24	0,24	0,24	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
56.	0,00	0,26	0,26	0,25	0,24	0,22	0,21	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
57.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
58.	0,00	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
59.	0,00	0,27	0,26	0,26	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01
60.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
61.	0,00	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
62.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23	0,20	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
63.	0,00	0,31	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
64.	0,00	0,35	0,34	0,33	0,31	0,29	0,26	0,23	0,19	0,15	0,12	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
65.	0,00	0,25	0,24	0,23	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
66.	0,00	0,27	0,27	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 5.6 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
67.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,25	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
68.	0,00	0,33	0,33	0,32	0,31	0,30	0,27	0,25	0,22	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
69.	0,00	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22	0,20	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
70.	0,00	0,26	0,26	0,25	0,23	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
71.	0,00	0,32	0,30	0,27	0,24	0,20	0,17	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
72.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17	0,14	0,10	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
73.	0,00	0,32	0,31	0,29	0,27	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
74.	0,00	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23	0,19	0,15	0,12	0,08	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75.	0,00	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
76.	0,00	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
77.	0,00	0,27	0,26	0,26	0,25	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
78.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
79.	0,00	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,31	0,30	0,27	0,25	0,22	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
80.	0,00	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
81.	0,00	0,32	0,30	0,28	0,25	0,22	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
82.	0,00	0,28	0,28	0,27	0,27	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
83.	0,00	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,29	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
84.	0,00	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
85.	0,00	0,27	0,26	0,25	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
86.	0,00	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,30	0,28	0,25	0,21	0,18	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
87.	0,00	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
88.	0,00	0,30	0,30	0,28	0,27	0,25	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
89.	0,00	0,32	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
90.	0,00	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
91.	0,00	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
92.	0,00	0,31	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01
93.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
94.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
95.	0,00	0,30	0,29	0,29	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,14	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
96.	0,00	0,33	0,32	0,31	0,29	0,27	0,24	0,21	0,18	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
97.	0,00	0,32	0,32	0,32	0,31	0,30	0,29	0,26	0,24	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
98.	0,00	0,25	0,25	0,24	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
99.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,23	0,21	0,17	0,14	0,11	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
100.	0,00	0,35	0,35	0,34	0,32	0,30	0,27	0,25	0,21	0,18	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00

Tabela 5.7 – Perfis de concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água.

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
1.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
4.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
5.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
6.	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
7.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
8.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
9.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
11.	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
12.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
13.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
14.	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
16.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
17.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
18.	0,00	0,01	0,03	0,06	0,08	0,10	0,11	0,11	0,10	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21.	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
24.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
25.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,12	0,12	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
27.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
29.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33.	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
34.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 5.7 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
35.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
36.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
37.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
38.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
39.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
40.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
41.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
42.	0,00	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44.	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46.	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
47.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
48.	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
50.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51.	0,00	0,01	0,03	0,06	0,08	0,09	0,09	0,08	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
53.	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
58.	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
59.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
60.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
61.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
62.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
63.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,08	0,09	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64.	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
65.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
66.	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
67.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
68.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00

Tabela 5.7 – Perfis de concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
69.	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
70.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
71.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
72.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
73.	0,00	0,01	0,04	0,07	0,09	0,11	0,11	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
74.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
75.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
76.	0,00	0,01	0,03	0,06	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
77.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,09	0,09	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
78.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
79.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
80.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
81.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
82.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
83.	0,00	0,01	0,04	0,07	0,09	0,10	0,10	0,10	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
84.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
85.	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
86.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
87.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
88.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
89.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
90.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
91.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
92.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
93.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
94.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
95.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
96.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
97.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
98.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
99.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
100.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 5.8 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água.

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
1.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,24	0,29	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47
2.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,22	0,27	0,32	0,36	0,39	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,45	0,46
3.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,22	0,28	0,32	0,37	0,40	0,43	0,46	0,47	0,49	0,49	0,50	0,50
4.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,21	0,26	0,31	0,35	0,39	0,42	0,45	0,47	0,49	0,50	0,50
5.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,17	0,22	0,27	0,31	0,35	0,38	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,45
6.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,06	0,09	0,13	0,16	0,21	0,24	0,28	0,32	0,35	0,37	0,39	0,41	0,42	0,43	0,44
7.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,12	0,17	0,22	0,27	0,32	0,36	0,40	0,43	0,45	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49
8.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,20	0,25	0,29	0,33	0,37	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48
9.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,23	0,28	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44
10.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,17	0,21	0,26	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46
11.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09	0,12	0,16	0,20	0,24	0,27	0,31	0,35	0,38	0,40	0,43	0,45	0,46
12.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,24	0,29	0,34	0,38	0,42	0,45	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51
13.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,10	0,15	0,19	0,24	0,29	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,46	0,47	0,47	0,48
14.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07	0,11	0,17	0,23	0,29	0,34	0,39	0,43	0,46	0,49	0,51	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53
15.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,21	0,27	0,31	0,36	0,39	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48
16.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,37	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48
17.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,20	0,25	0,29	0,33	0,36	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,43
18.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,10	0,15	0,22	0,28	0,34	0,39	0,43	0,46	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51
19.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,19	0,25	0,31	0,35	0,40	0,43	0,46	0,47	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50
20.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,13	0,18	0,22	0,26	0,30	0,33	0,36	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42
21.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07	0,11	0,16	0,22	0,28	0,33	0,38	0,41	0,44	0,47	0,48	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50
22.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,13	0,18	0,23	0,27	0,31	0,35	0,37	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,43
23.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,12	0,16	0,21	0,26	0,31	0,35	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
24.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,10	0,14	0,18	0,22	0,25	0,29	0,32	0,34	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41
25.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,19	0,24	0,28	0,31	0,34	0,36	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40
26.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,14	0,19	0,25	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,43	0,44	0,44	0,44	0,45
27.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,15	0,21	0,26	0,30	0,34	0,37	0,39	0,41	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
28.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46
29.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,38	0,41	0,43	0,45	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49
30.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,39
31.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,38	0,41	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46	0,47
32.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,27	0,33	0,38	0,42	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53



Tabela 5.8 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
33.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,26	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,44	0,46	0,47	0,47
34.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07	0,12	0,17	0,23	0,29	0,34	0,38	0,42	0,44	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49
35.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,09	0,14	0,18	0,23	0,28	0,32	0,36	0,39	0,42	0,44	0,46	0,47	0,48	0,48
36.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,32	0,35	0,37	0,39	0,40	0,41	0,41	0,42
37.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,20	0,25	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46
38.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,24	0,29	0,34	0,38	0,41	0,44	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49
39.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,21	0,26	0,30	0,34	0,37	0,40	0,41	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44
40.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,20	0,25	0,29	0,33	0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,44	0,44	0,44
41.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,19	0,25	0,30	0,35	0,40	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,51	0,52	0,52
42.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,08	0,13	0,18	0,24	0,29	0,33	0,38	0,41	0,44	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50
43.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,17	0,22	0,28	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46
44.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,26	0,31	0,35	0,39	0,41	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46
45.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,26	0,31	0,36	0,39	0,43	0,45	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49
46.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,08	0,11	0,16	0,20	0,25	0,29	0,33	0,36	0,39	0,41	0,43	0,44	0,45	0,45
47.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,14	0,19	0,23	0,28	0,32	0,36	0,39	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,47	0,47
48.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,19	0,23	0,27	0,30	0,33	0,36	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42
49.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,20	0,25	0,31	0,36	0,41	0,45	0,48	0,51	0,53	0,54	0,55	0,55	0,55
50.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,26	0,32	0,36	0,40	0,43	0,45	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49
51.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,26	0,31	0,35	0,37	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44
52.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,13	0,18	0,24	0,29	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,45	0,45	0,46
53.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,25	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
54.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,13	0,18	0,23	0,27	0,31	0,34	0,37	0,38	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41
55.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,17	0,21	0,26	0,30	0,33	0,36	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42
56.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44
57.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,22	0,27	0,33	0,38	0,42	0,45	0,47	0,49	0,50	0,50	0,51	0,51
58.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,06	0,09	0,12	0,16	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,36	0,38	0,39	0,41	0,42	0,42
59.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,20	0,25	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
60.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,20	0,25	0,29	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47
61.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,10	0,15	0,19	0,24	0,29	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47
62.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,26	0,31	0,35	0,39	0,41	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48
63.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,17	0,23	0,30	0,36	0,41	0,45	0,49	0,51	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55
64.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,17	0,22	0,27	0,30	0,33	0,36	0,37	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40
65.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,16	0,21	0,27	0,32	0,36	0,39	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
66.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,08	0,12	0,15	0,19	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,37	0,39	0,40	0,41	0,42

Tabela 5.8 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
67.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,19	0,25	0,31	0,36	0,40	0,44	0,47	0,49	0,50	0,51	0,52	0,52	0,53
68.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,17	0,21	0,26	0,29	0,33	0,35	0,37	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41
69.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07	0,11	0,16	0,21	0,25	0,30	0,33	0,36	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43
70.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,17	0,23	0,29	0,34	0,38	0,41	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48
71.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,12	0,17	0,22	0,28	0,33	0,37	0,41	0,43	0,45	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48
72.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07	0,12	0,18	0,24	0,29	0,35	0,39	0,42	0,45	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50
73.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,41	0,44	0,46	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,50
74.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,16	0,22	0,28	0,34	0,39	0,42	0,45	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
75.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,39	0,42	0,45	0,47	0,49	0,50	0,51	0,51	0,52
76.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,19	0,24	0,28	0,31	0,34	0,37	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43
77.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,19	0,25	0,30	0,34	0,38	0,41	0,44	0,45	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48
78.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,10	0,15	0,19	0,24	0,29	0,33	0,37	0,41	0,44	0,46	0,48	0,50	0,51	0,51
79.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,21	0,26	0,31	0,34	0,38	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46
80.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07	0,12	0,18	0,25	0,31	0,36	0,41	0,44	0,47	0,49	0,50	0,51	0,51	0,52	0,52	0,52
81.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,13	0,18	0,22	0,27	0,31	0,35	0,38	0,40	0,42	0,43	0,44	0,44	0,45
82.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,12	0,16	0,21	0,25	0,29	0,33	0,36	0,39	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47
83.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,16	0,22	0,28	0,33	0,37	0,40	0,43	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47
84.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,31	0,33	0,36	0,37	0,39	0,39	0,40	0,41	0,41
85.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,21	0,27	0,32	0,36	0,39	0,42	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49
86.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,26	0,31	0,35	0,39	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47
87.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,26	0,31	0,35	0,39	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47
88.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,17	0,23	0,28	0,32	0,36	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48
89.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,24	0,28	0,33	0,37	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48
90.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,16	0,21	0,26	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47
91.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,20	0,24	0,28	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42	0,43	0,45	0,45	0,46
92.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,10	0,14	0,19	0,24	0,28	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45
93.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,08	0,13	0,18	0,24	0,29	0,34	0,37	0,40	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
94.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,16	0,21	0,26	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46
95.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07	0,12	0,17	0,23	0,29	0,34	0,39	0,42	0,45	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51
96.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,29	0,34	0,38	0,42	0,45	0,47	0,49	0,50	0,51	0,52	0,52
97.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,14	0,19	0,24	0,29	0,32	0,35	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
98.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,27	0,33	0,38	0,42	0,45	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50
99.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,16	0,22	0,28	0,34	0,39	0,43	0,47	0,49	0,51	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55
100.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,09	0,12	0,16	0,20	0,23	0,27	0,30	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39

**APÊNDICE B**

Resultados do conjunto dos 100 (cem) primeiros perfis de concentração de nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato com distribuição de probabilidade Uniforme.



Tabela 5.9 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
34.	0,00	0,22	0,21	0,19	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35.	0,00	0,19	0,18	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36.	0,00	0,21	0,20	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
37.	0,00	0,21	0,20	0,17	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
38.	0,00	0,20	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39.	0,00	0,22	0,20	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40.	0,00	0,23	0,22	0,20	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
41.	0,00	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42.	0,00	0,21	0,20	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43.	0,00	0,21	0,20	0,18	0,15	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44.	0,00	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45.	0,00	0,21	0,20	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46.	0,00	0,21	0,20	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47.	0,00	0,20	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48.	0,00	0,22	0,21	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49.	0,00	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50.	0,00	0,22	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51.	0,00	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52.	0,00	0,22	0,20	0,19	0,17	0,14	0,12	0,10	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53.	0,00	0,21	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54.	0,00	0,21	0,20	0,18	0,15	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55.	0,00	0,20	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56.	0,00	0,22	0,21	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57.	0,00	0,21	0,20	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
58.	0,00	0,21	0,19	0,17	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
59.	0,00	0,22	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60.	0,00	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
61.	0,00	0,23	0,22	0,20	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
62.	0,00	0,22	0,21	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
63.	0,00	0,20	0,19	0,17	0,15	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64.	0,00	0,22	0,21	0,19	0,16	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
65.	0,00	0,19	0,18	0,16	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
66.	0,00	0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
67.	0,00	0,22	0,21	0,19	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Tabela 5.10 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água.

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
1.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
2.	0,00	0,27	0,27	0,27	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
3.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
4.	0,00	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
5.	0,00	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
6.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
7.	0,00	0,30	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,23	0,21	0,18	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
8.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,30	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,16	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
9.	0,00	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
10.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
11.	0,00	0,32	0,31	0,31	0,30	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
12.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
13.	0,00	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
14.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
15.	0,00	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
16.	0,00	0,31	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
17.	0,00	0,28	0,27	0,27	0,25	0,24	0,22	0,20	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
18.	0,00	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,22	0,20	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
19.	0,00	0,31	0,30	0,30	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
20.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
21.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
22.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
23.	0,00	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
24.	0,00	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,21	0,19	0,16	0,14	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
25.	0,00	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
26.	0,00	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
27.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
28.	0,00	0,30	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
29.	0,00	0,30	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
30.	0,00	0,27	0,27	0,26	0,24	0,23	0,21	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
31.	0,00	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
32.	0,00	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
33.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,29	0,28	0,26	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
34.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,27	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
35.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,29	0,28	0,26	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00

Tabela 5.10 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
36.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,21	0,19	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
37.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
38.	0,00	0,31	0,30	0,30	0,29	0,27	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
39.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
40.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
41.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
42.	0,00	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
43.	0,00	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
44.	0,00	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
45.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
46.	0,00	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
47.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
48.	0,00	0,27	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
49.	0,00	0,31	0,31	0,31	0,30	0,29	0,27	0,24	0,22	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
50.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
51.	0,00	0,27	0,27	0,25	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
52.	0,00	0,28	0,28	0,27	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
53.	0,00	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
54.	0,00	0,26	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
55.	0,00	0,27	0,27	0,26	0,25	0,23	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
56.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
57.	0,00	0,31	0,30	0,30	0,28	0,27	0,25	0,22	0,19	0,16	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
58.	0,00	0,28	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,22	0,20	0,18	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
59.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
60.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
61.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
62.	0,00	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
63.	0,00	0,33	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
64.	0,00	0,26	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
65.	0,00	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
66.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
67.	0,00	0,32	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
68.	0,00	0,27	0,26	0,26	0,25	0,23	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
69.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
70.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,21	0,19	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00



Tabela 5.10 – Perfis de concentração de nitrogênio amoniacal para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
71.	0,00	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
72.	0,00	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
73.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
74.	0,00	0,31	0,30	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
75.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,28	0,26	0,23	0,20	0,17	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
76.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
77.	0,00	0,31	0,30	0,30	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
78.	0,00	0,27	0,27	0,26	0,26	0,24	0,23	0,21	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
79.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
80.	0,00	0,32	0,32	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
81.	0,00	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
82.	0,00	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
83.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
84.	0,00	0,31	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
85.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,26	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
86.	0,00	0,28	0,28	0,27	0,25	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
87.	0,00	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,24	0,22	0,19	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
88.	0,00	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
89.	0,00	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
90.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,29	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
91.	0,00	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
92.	0,00	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
93.	0,00	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20	0,17	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
94.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
95.	0,00	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
96.	0,00	0,30	0,29	0,29	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
97.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
98.	0,00	0,31	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
99.	0,00	0,26	0,26	0,25	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
100.	0,00	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00



Tabela 5.11 – Perfis de concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
35.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
36.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
37.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
38.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
39.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
40.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
41.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
42.	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
47.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
48.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
50.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,09	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
58.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
59.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
60.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
61.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
62.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
63.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
65.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
66.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
67.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
68.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
69.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 5.11 – Perfis de concentração de nitrito para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
70.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
71.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
72.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
73.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
74.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
76.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
77.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
78.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
79.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
80.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
81.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
82.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
83.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
84.	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
85.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
86.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
87.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
88.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
89.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
90.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
91.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
92.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
93.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
94.	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
95.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
96.	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
97.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
98.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
99.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 5.12 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água.

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
1.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,24	0,29	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47
2.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,28	0,32	0,36	0,39	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
3.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,22	0,28	0,32	0,36	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49
4.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,20	0,25	0,30	0,34	0,38	0,41	0,43	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48
5.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,28	0,32	0,36	0,39	0,41	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
6.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,38	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45
7.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,23	0,28	0,32	0,37	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48
8.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,28	0,32	0,36	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48
9.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,19	0,24	0,28	0,33	0,36	0,39	0,41	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45
10.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,17	0,22	0,27	0,31	0,35	0,38	0,41	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47
11.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,21	0,26	0,31	0,35	0,39	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49	0,49	0,50
12.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,24	0,29	0,34	0,38	0,41	0,44	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50
13.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,21	0,26	0,30	0,34	0,38	0,40	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47
14.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,27	0,32	0,36	0,40	0,44	0,46	0,48	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50
15.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,22	0,27	0,32	0,36	0,39	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,47
16.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,37	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48
17.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,21	0,26	0,30	0,34	0,37	0,40	0,41	0,43	0,44	0,44	0,44	0,45
18.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,10	0,15	0,21	0,27	0,32	0,37	0,41	0,44	0,46	0,48	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50
19.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,19	0,24	0,30	0,35	0,39	0,42	0,44	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49
20.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,14	0,19	0,23	0,28	0,32	0,36	0,39	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,45
21.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,16	0,21	0,27	0,32	0,36	0,40	0,43	0,45	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49
22.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,23	0,28	0,32	0,35	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44
23.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,22	0,27	0,32	0,36	0,39	0,41	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46
24.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,20	0,25	0,29	0,32	0,35	0,38	0,40	0,41	0,43	0,43	0,44	0,44
25.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,09	0,14	0,19	0,24	0,28	0,32	0,35	0,37	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42
26.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,36	0,39	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45
27.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,34	0,37	0,40	0,41	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44
28.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,16	0,21	0,26	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47
29.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,38	0,41	0,43	0,45	0,47	0,48	0,48	0,48	0,49
30.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,22	0,27	0,31	0,34	0,37	0,39	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43
31.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,14	0,20	0,25	0,30	0,34	0,38	0,41	0,43	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47
32.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,26	0,31	0,36	0,40	0,43	0,46	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50
33.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,10	0,15	0,20	0,24	0,29	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47
34.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,16	0,22	0,27	0,32	0,37	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48

Tabela 5.12 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
35.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,21	0,26	0,30	0,34	0,38	0,41	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48
36.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,20	0,25	0,29	0,33	0,36	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,43
37.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,12	0,16	0,21	0,26	0,31	0,35	0,38	0,41	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46
38.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,29	0,33	0,38	0,41	0,43	0,45	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48
39.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,23	0,28	0,32	0,36	0,39	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46
40.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,17	0,22	0,27	0,31	0,35	0,38	0,41	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46
41.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,19	0,24	0,30	0,34	0,38	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50
42.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,16	0,22	0,27	0,32	0,36	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49
43.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,26	0,31	0,35	0,39	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47
44.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,26	0,31	0,36	0,39	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47
45.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,10	0,14	0,20	0,25	0,30	0,35	0,39	0,42	0,44	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,49
46.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,06	0,10	0,14	0,19	0,24	0,28	0,33	0,36	0,39	0,41	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46
47.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,23	0,28	0,32	0,36	0,39	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,47
48.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,16	0,21	0,25	0,29	0,33	0,36	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44
49.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,29	0,33	0,38	0,41	0,44	0,46	0,47	0,49	0,49	0,50	0,50
50.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,14	0,20	0,25	0,30	0,35	0,38	0,41	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,47	0,48
51.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,19	0,25	0,29	0,34	0,37	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45
52.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,22	0,27	0,32	0,36	0,39	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
53.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46
54.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,14	0,19	0,24	0,28	0,32	0,36	0,38	0,40	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43
55.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,17	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,39	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43
56.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,22	0,27	0,31	0,35	0,38	0,41	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
57.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,24	0,29	0,35	0,39	0,42	0,45	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49	0,50
58.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,19	0,24	0,28	0,31	0,35	0,37	0,40	0,41	0,43	0,44	0,44	0,45
59.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,21	0,26	0,31	0,35	0,38	0,41	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46
60.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,22	0,26	0,31	0,35	0,39	0,41	0,43	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48
61.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,21	0,26	0,30	0,34	0,38	0,41	0,43	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47
62.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,38	0,41	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48
63.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,27	0,33	0,38	0,42	0,45	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51	0,52	0,52
64.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,27	0,31	0,35	0,37	0,39	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42
65.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,26	0,31	0,35	0,39	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47
66.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,19	0,24	0,28	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44
67.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,19	0,25	0,30	0,35	0,39	0,43	0,45	0,47	0,49	0,50	0,50	0,51	0,51
68.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,27	0,31	0,35	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44
69.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,43	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45

Tabela 5.12 – Perfis de concentração de nitrato para conjunto de simulações computacionais com geração aleatória das constantes cinéticas, variáveis hidrodinâmicas e condições iniciais de qualidade de água (continuação).

Simulação	Distância (Km)																				
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
70.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,43	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45
71.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,27	0,32	0,36	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48
72.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,18	0,23	0,28	0,33	0,37	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48
73.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,16	0,22	0,27	0,32	0,37	0,41	0,43	0,45	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49
74.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,16	0,22	0,28	0,34	0,38	0,42	0,45	0,46	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49
75.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,26	0,31	0,36	0,39	0,42	0,44	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47
76.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,14	0,20	0,25	0,30	0,34	0,38	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49	0,50	0,50	0,50
77.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,16	0,21	0,25	0,29	0,33	0,36	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44	0,44	0,44
78.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,38	0,41	0,43	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48
79.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,22	0,27	0,32	0,36	0,40	0,43	0,45	0,47	0,48	0,49	0,50	0,50
80.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,28	0,32	0,36	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47
81.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,27	0,32	0,37	0,41	0,44	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50
82.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,20	0,25	0,29	0,33	0,37	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,45
83.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,15	0,20	0,25	0,29	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,46	0,47	0,47	0,48
84.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,27	0,32	0,36	0,40	0,42	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48
85.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,17	0,22	0,27	0,31	0,34	0,37	0,39	0,41	0,42	0,43	0,44	0,44	0,44
86.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12	0,17	0,22	0,27	0,32	0,36	0,40	0,42	0,44	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48
87.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,38	0,41	0,43	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47
88.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,19	0,24	0,29	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,47
89.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,28	0,32	0,36	0,40	0,42	0,44	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48
90.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,24	0,28	0,33	0,37	0,40	0,43	0,44	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48
91.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,17	0,22	0,27	0,31	0,35	0,38	0,41	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47
92.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,17	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46
93.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16	0,20	0,25	0,29	0,33	0,37	0,39	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46
94.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,16	0,22	0,27	0,32	0,36	0,39	0,42	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47
95.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,17	0,22	0,27	0,31	0,35	0,38	0,41	0,43	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47
96.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,11	0,16	0,21	0,27	0,32	0,37	0,40	0,43	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49
97.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,37	0,41	0,43	0,45	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49
98.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,19	0,24	0,29	0,33	0,36	0,39	0,40	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43
99.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,26	0,32	0,36	0,40	0,43	0,45	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49
100.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,27	0,32	0,37	0,41	0,44	0,47	0,48	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51