

ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO  
MICROBIOLÓGICO (AQRM):  
UM ESTUDO APLICADO AOS USOS DAS  
ÁGUAS DA LAGOA DO PERI -  
FLORIANÓPOLIS/SC.

Luiza Jofily Miranda Cruz

Florianópolis, 2018



Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Jofily, Luiza

Análise Quantitativa de Risco Microbiológico : Um estudo aplicado aos usos das águas da Lagoa do Peri - Florianópolis/SC. / Luiza Jofily ; orientador, Maria Elisa Magri, 2018.

56 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Análise de risco. 3. Análise Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM). 4. Adenovírus. 5. Rotavírus. I. Magri, Maria Elisa. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Luiza Jofily Miranda Cruz

**ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO  
(AQRM):  
UM ESTUDO APLICADO AOS USOS DAS ÁGUAS DA LAGOA  
DO PERI - FLORIANÓPOLIS/SC.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Departamento de  
Engenharia Sanitária e Ambiental da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito para a obtenção do Grau  
de Engenheira Sanitarista e Ambiental.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Elisa  
Magri

Florianópolis  
2018

Luiza Jofily Miranda Cruz

**ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO  
MICROBIOLÓGICO: UM ESTUDO APLICADO  
AOS USOS DAS ÁGUAS DA LAGOA DO PERI –  
FLORIANÓPOLIS/SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheira Sanitarista e Ambiental e aprovada em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

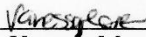
Florianópolis, 20 de novembro de 2018.



---

Prof.<sup>a</sup> Maria Elisa Magri, Dr.<sup>a</sup>  
Orientadora

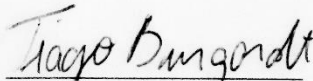
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Vanessa Moresco, Dr.<sup>a</sup>  
(Membro da banca)

Universidade Federal de Santa Catarina



---

Eng.<sup>o</sup> Tiago Burgardt, Msc.  
(Membro da banca)

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, meus irmãos, à minha tia e aos meus avós, que sempre me deram todo suporte e apoio para chegar até aqui.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a toda a minha família, que sempre me deu tudo que eu precisava para chegar até aqui. Minha mãe, sempre buscando me acalmar nos finais de semestre, me cuidando de todas as formas possíveis, sempre acreditando muito no meu potencial e me fazendo acreditar nele também. Meu pai, sempre com suas conversas filosóficas que me fazem enxergar a situação por outro lado e com seus conselhos claros e objetivos que me incentivam a enfrentar o que vier pela frente. Meus irmãos, sempre me apoiando de todas as formas, seja por meio de conversas de desabafo, momentos de descontração ou correções de trabalhos acadêmicos em inglês. Muito obrigada por serem muito mais que irmãos para mim, por serem meus grandes amigos. Tia Suzy, sempre muito presente me dando todo o suporte necessário, me oferecendo aulas de yoga para relaxar, massagens, chocolates e tudo mais. Meu avô, minha grande inspiração e minha maior saudade, que mesmo antes de eu sair do colégio já dizia que eu seria engenheira. Minha avó, também minha grande inspiração, que me faltam palavras para descrever todo amor e carinho que eu sinto. Lourdes, minha segunda mãe, responsável por grande parte do que sou. Mari, não tenho palavras para agradecer toda a paciência, amor, companheirismo e cuidado. Muito muito obrigada.

Agradeço aos meus amigos, a todos aqueles que tiveram ao meu lado durante essa trajetória. Pri, juntas desde o primeiro dia de aula, sempre me cuidando muito bem, me apoiando, me acalmando. Agnes, Ferfica, Louis, obrigada pela amizade, pelo carinho, pela presença. Isa, Julie e Sá, que são mais minhas irmãs do que amigas, e que mesmo distantes sinto vocês perto o tempo todo, muito obrigada. Maranhão, pessoa que me mostrou uma outra forma de ver a vida, muito obrigada.

Aos demais colegas da faculdade, que de alguma forma contribuíram positivamente para o meu desenvolvimento, muito obrigada. Mafê, Fran, Amábile, foi muito bom ter vocês pertinho.

À professora Maria Elisa Magri, que aceitou me orientar mesmo muito ocupada e prestes a ter a Olga. Muito obrigada pelos ensinamentos, pela oportunidade e pela confiança.

Aos membros da banca, Vanessa Moresco e Tiago Burgardt, por terem aceitado o convite.

“Quando o homem compreende sua realidade, pode levantar hipóteses sobre o desafio dessa realidade e procurar soluções. Assim, pode transformá-la e com seu trabalho pode criar um mundo próprio: seu eu e suas circunstâncias”. (FREIRE, 1979).





## RESUMO

Este trabalho avaliou o risco de um indivíduo adquirir uma infecção microbiológica através do contato primário e secundário com um manancial de água superficial contaminado, sendo o rotavírus e o adenovírus os patógenos de referência. Para tal, a metodologia da Análise Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) foi utilizada e aplicada ao *software @risk*, o qual, através da Simulação de Monte Carlo, apresentou as curvas de probabilidade de infecção para diferentes cenários de exposição. Os resultados indicaram que o risco de infecção por rotavírus e adenovírus é alto em todos os cenários de exposição, apresentando-se maior para a atividade de nado, com um intervalo de probabilidade de infecção variando entre 65,9% e 88,9% para rotavírus, e 100% para adenovírus. As altas concentrações de adenovírus e rotavírus indicam que houve contaminação fecal no local de análise.

**Palavras-chave:** Análise de risco. AQRM. Adenovírus. Rotavírus.

## ABSTRACT

This research evaluated the risk of an individual acquiring a microbiological infection through primary and a secondary contact with an infected surface water body, with rotavirus and adenovirus as the reference pathogens. For that, the Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) methodology was used and applied to the software *@risk*, which, through the Monte Carlo Simulation, provided the probability curves of infection in different exposure scenarios. The results indicated that the risk of infection by rotavirus and adenovirus is high in all exposure scenarios, presenting a higher probability to the swimming activity, with an interval between 65.9% and 88.9% for rotavirus, and 100% for adenovirus. The high concentrations of adenovirus and rotavirus indicated that there was fecal contamination in the scene of analysis.

**Key-Words:** Risk Assessment. QMRA. Adenovirus. Rotavirus.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Local de estudo .....	18
Figura 2: Fluxograma cenário 1 .....	19
Figura 3: Fluxograma cenário 2 .....	19
Figura 4: Curva de probabilidade de infecção para situação de nado durante 1 hora.....	22
Figura 5: Curva de probabilidade de infecção para a situação de consumo de água tratada.....	22
Figura 6 - Curva de probabilidade de doença para situação de nado ....	23
Figura 7 - Curva de probabilidade de doença para a situação de consumo de água tratada.....	23
Figura 8: Curva de probabilidade de infecção para a situação de contato secundário. ....	24
Figura 9 - Curva de probabilidade de doença para a situação de contato secundário. ....	24
Figura 10: Curva de probabilidade para adenovírus utilizando modelo exponencial .....	27
Figura 11 - Curva de probabilidade de doença através do modelo exponencial para adenovírus. ....	27
Figura 12: Curva de probabilidade de infecção para adenovírus utilizando o modelo <i>Beta-Poisson</i> .....	28
Figura 13 - Curva de probabilidade de doença para adenovírus utilizando o modelo <i>Beta-Poisson</i> .....	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos micro-organismos patogênicos.....	6
Tabela 2: Valor médio de água ingerida nos diferentes usos da água ...	16
Tabela 3: Distribuição dos volumes ingeridos durante atividades recreacionais.....	17
Tabela 4: Concentrações médias, máximas e mínimas dos micro-organismos em cópias genômicas por litro. ....	17
Tabela 5: Doses de micro-organismos ingeridas durante as atividades	21
Tabela 6: Intervalo de probabilidade de infecção e de doença por rotavírus.....	25
Tabela 7: Concentração de rotavírus em esgoto e em água recreacional por litro.....	26
Tabela 8: Doses de micro-organismos ingeridas durante as atividades	26
Tabela 9: Concentração de adenovírus em esgoto e em água recreacional por litro.....	29
Tabela 10 - Concentrações de rotavírus e adenovírus encontradas por FONGARO (2012).....	39
Tabela 11: Concentrações de rotavírus na Lagoa do Peri encontradas por FONGARO (2012).....	40
Tabela 12 - Concentrações de adenovírus na Lagoa do Peri encontradas por FONGARO (2012).....	41

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AQRM – Análise Quantitativa de Risco Microbiológico

DALY – *Disability adjusted life years*

ETA – Estação de Tratamento de Água

OMS – Organização Mundial da Saúde

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS .....	3
1.1.1	Objetivo geral .....	3
1.1.2	Objetivos específicos .....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
2.1	ANÁLISE DE RISCO.....	4
2.2	ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO (AQRM) .....	9
2.2.1	Identificação do perigo .....	10
2.2.2	Avaliação da exposição .....	10
2.2.3	Modelo dose-resposta.....	11
2.2.4	Caracterização do risco .....	13
2.3	SANEAMENTO E SEGURANÇA MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA .....	4
2.4	VÍRUS ENTÉRICOS DE INTERESSE SANITÁRIO .....	5
2.4.1	Adenovírus.....	8
2.4.2	Rotavírus.....	8
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>14</b>
3.1	LOCAL DE ESTUDO .....	14
3.2	ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO.....	14
3.2.1	Identificação do perigo .....	14
3.2.2	Avaliação da exposição .....	15
3.2.3	Modelo dose-resposta.....	19
3.2.4	Caracterização do risco .....	20
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>21</b>

4.1	ROTAVÍRUS.....	21
1)	<b>Contato primário.....</b>	<b>22</b>
2)	<b>Contato secundário .....</b>	<b>24</b>
4.2	ADENOVÍRUS.....	26
4.3	GERENCIAMENTO DO RISCO.....	31
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>39</b>
	<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>40</b>
	<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>41</b>



## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, diversos locais no mundo sofrem com problemas relacionados à qualidade da água, seja em países desenvolvidos ou aqueles em desenvolvimento. A deterioração da qualidade da água ocorre tanto pela presença de agentes químicos quanto de agentes microbiológicos, os quais têm se mostrado cada vez mais presentes nos corpos d'água devido ao crescimento populacional e à urbanização, que, somados à falta de planejamento, infraestrutura e investimento levam as cidades a se desenvolverem sob condições extremamente prejudiciais ao meio ambiente.

Os riscos associados ao consumo de água contaminada variam conforme o tipo de contaminação. Estudos mostram que o consumo de água contaminada quimicamente, na maioria dos casos, só causa efeitos à saúde humana após longos períodos de exposição (OMS, 2004). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), os componentes químicos capazes de causar efeitos à saúde humana através de um único contato são normalmente intragáveis, com odor forte e aparência modificada. Por outro lado, o consumo de água contaminada microbiologicamente é capaz de prejudicar a saúde humana através de uma única exposição a uma baixa concentração de patógenos. Sendo assim, de acordo com a OMS, a contaminação microbiológica da água é, ainda hoje, uma das maiores preocupações da sociedade.

A contaminação da água por agentes microbiológicos pode acontecer de diversas formas. Fatores que influenciam na propagação desses micro-organismos incluem a falta de saneamento, o uso de sistemas de esgotamento sanitário ineficientes e sem manutenção adequada, atividades agrícolas, entre outros, que acabam por contaminar o meio ambiente e colocar em risco a saúde de indivíduos que entram em contato com o meio contaminado.

A fim de garantir a saúde do meio ambiente e de evitar que a população entre em contato com a água contaminada, foi estabelecido um padrão de qualidade microbiológica da água, que utiliza algumas bactérias, normalmente *Escherichia Coli* e enterococos, como organismos indicadores de contaminação. Testes laboratoriais são realizados com o objetivo de analisar a presença ou ausência dessas bactérias em amostras de água coletadas, de forma que a ausência destas é um indicativo de que a água não está contaminada microbiologicamente. No entanto, as bactérias representam apenas um

dos grupos de patógenos existentes, e cada grupo se comporta de forma diferente no ambiente natural. Estudos mostram que a persistência de alguns vírus no meio ambiente é muito maior do que de uma bactéria, assim como sua infecciosidade, como por exemplo os rotavírus e os adenovírus (OMS, 2004). Dessa forma, a ausência de uma bactéria indicadora de contaminação microbiológica não garante, necessariamente, a qualidade da água (RAZZOLINI & NARDOCCI, 2006).

Com base nisso, a busca por metodologias eficientes que abranjam os mais diversos grupos de patógenos e que visem garantir a qualidade microbiológica da água é hoje um dos principais desafios (OMS, 2004). Ao mesmo tempo em que o desenvolvimento urbano é responsável pela degradação dos recursos naturais, é também responsável pelo desenvolvimento científico e tecnológico. Nesse aspecto, o desenvolvimento propiciou a criação de ferramentas matemáticas que possibilitam analisar os riscos existentes nos mais diversos cenários de exposição (RAZZOLINI & NARDOCCI, 2006). Sendo assim, no que diz respeito aos riscos microbiológicos, a OMS recomenda a utilização da metodologia da AQRM – Análise Quantitativa de Risco Microbiológico - para estimar os possíveis riscos.

A AQRM é uma ferramenta que possibilita caracterizar e quantificar os riscos à saúde humana associados ao contato com um micro-organismo patogênico em um determinado cenário. Essa ferramenta possibilita o gerenciamento preventivo da qualidade microbiológica da água (ASHBOLT et al., 2010).

Neste trabalho, o objetivo principal foi utilizar a AQRM para analisar a probabilidade de um adulto adquirir uma infecção e uma doença como consequência do contato com uma água contaminada microbiologicamente. Os cenários de exposição analisados englobam as principais atividades recreacionais realizadas na Lagoa do Peri - um manancial de água doce localizado em Florianópolis, Santa Catarina.

A fim de alcançar esse objetivo, o *software @risk* foi utilizado para executar a análise de risco através da Simulação de Monte Carlo. A análise foi feita para a situação de contato primário e secundário com a água contaminada por rotavírus ou adenovírus, ambos transmitidos através da rota fecal-oral. Os resultados são expressos através da probabilidade do indivíduo ser infectado e adquirir uma doença.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o risco à saúde humana proveniente do contato com água contaminada por micro-organismos patogênicos em um manancial superficial de água - Lagoa do Peri, Florianópolis/SC.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- i) Delimitar cenários de exposição de adultos à água contaminada, incluindo as doses ingeridas e modelos de dose-respostas representativos, para aplicação da metodologia de avaliação quantitativa de risco microbiológico;
- ii) Determinar a probabilidade de um adulto adquirir uma infecção e consequentemente uma doença através do contato primário e secundário com água contaminada por rotavírus ou adenovírus;
- iii) Caracterizar o risco à saúde humana proveniente do contato com água contaminada por rotavírus ou adenovírus.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SANEAMENTO E SEGURANÇA MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA

O acesso ao saneamento básico é um direito universal e essencial para manter a saúde humana, do meio ambiente e o bem-estar social. No Brasil, a Lei nº 11.445 de 2007 estabelece as diretrizes para o saneamento básico e apresenta como um dos princípios fundamentais a universalização do acesso, assim como a segurança, a qualidade e a regularidade do mesmo.

A falta de saneamento básico é um dos maiores fatores contribuintes para as doenças diarreicas, consideradas hoje umas das maiores preocupações no âmbito da saúde pública por ser umas das principais causas de morte de crianças de até cinco anos de idade nos países em desenvolvimento (OMS, 2018).

Através do saneamento básico é possível diminuir a transmissão de diversas doenças causadas por micro-organismos, que são geralmente causadas por um dos quatro principais grupos de micro-organismos patogênicos: bactérias, vírus, protozoários e helmintos (OMS, 2018). Cada um desses patógenos se comporta de forma distinta no meio ambiente e no organismo do hospedeiro, de forma que a transmissão dos mesmos em ambientes sem saneamento se dá em função de diversos fatores, muitas vezes difíceis de mensurar.

De acordo com Ashbolt et al. (2010), há, ainda hoje, um grande dilema a respeito de como estabelecer padrões microbiológicos para a água de forma a garantir que um indivíduo em contato com ela não tenha sua saúde prejudicada. Diversos estudos e avanços científicos já foram realizados nessa área, porém, atualmente, os padrões de qualidade microbiológica da água geralmente são feitos utilizando como micro-organismos indicadores de contaminação os coliformes fecais, a *Escherichia Coli* e os enterococos, de forma que a ausência desses micro-organismos em uma análise microbiológica laboratorial é interpretada como ausência de risco de contaminação microbiológica (BICHAÍ e SMEETS, 2013).

No Brasil, o critério de balneabilidade da água é definido pela Resolução CONAMA nº 274 de 29 de novembro de 2000, e o padrão de potabilidade da água é disposto pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde. Ambos utilizam como

micro-organismos indicadores de contaminação os coliformes fecais, a *Escherichia Coli* e, na resolução CONAMA, também os enterococos.

No entanto, para Razzolini E Nardocci (2006) e Ashbolt et al. (2010), há três principais aspectos que fazem com que essa análise seja questionável e incerta. Primeiro, por não levar em conta a presença de outros micro-organismos patogênicos. Como já mencionado, os micro-organismos se comportam de formas diferentes em ambientes idênticos, e a ausência de um micro-organismo indicador, como os coliformes fecais, não significa necessariamente a ausência de outros micro-organismos patogênicos, significa apenas que não houve contaminação fecal recente (ASHBOLT et al., 2010). De acordo com a Organização Mundial de Saúde (2018), o ideal seria realizar uma análise específica para cada grupo de micro-organismo patogênico (bactéria, vírus, protozoários e helmintos), porém ainda assim considerando as probabilidades existentes no comportamento de cada patógeno.

Além disso, Razzolini E Nardocci (2006) e Ashbolt et al. (2010) apontam o fato de que uma análise laboratorial, ainda que feita em local com infraestrutura adequada – o que não se encontra em inúmeros locais de pesquisa –, requer um determinado tempo para apresentar resultado, e em alguns casos esse tempo é suficiente para que a condição microbiológica do local seja alterada. Por último, essa análise não leva em conta as características locais e todas as variabilidades ali presentes. Hrudehy & Hrudehy (2004) apontam o fato de que, nas últimas décadas, alguns surtos de contaminação microbiológica aconteceram em locais que tiveram suas análises laboratoriais realizadas e não constataram a presença de nenhum micro-organismo indicador. Isto é, apesar do resultado das análises, o risco ainda persiste.

Com base nisso, a AQRM tem sido uma ferramenta cada vez mais utilizada devido à sua capacidade de abranger diversos micro-organismos nos mais variados cenários, levando em conta as variabilidades e incertezas ali presentes, e assim apresentar resultados mais seguros em relação ao risco.

## 2.2 VÍRUS ENTÉRICOS DE INTERESSE SANITÁRIO

São denominados “vírus entéricos” todos os grupos de vírus capazes de se multiplicar no trato gastrointestinal humano ou animal. De acordo com Bank (2017), existem mais de 140 sorotipos de vírus entéricos responsáveis por causar infecções em indivíduos após transmissão fecal-oral, e são excretados cerca de 1 trilhão de vírus por grama de fezes de

indivíduos infectados (BOSCH, 1998; TAVARES, CARDOSO E BRITO, 2005)

Os vírus entéricos não são capazes de se reproduzir no meio ambiente; no entanto, são capazes de sobreviver por um longo período de tempo e de resistir a condições ambientais adversas e letais para outros micro-organismos sem perder sua capacidade infecciosa (TAVARES, CARDOSO E BRITO, 2005; BANK, 2017). A Tabela 1 apresenta o comportamento de alguns micro-organismos.

Tabela 1: Características dos micro-organismos patogênicos

<b>Micro-organismo</b>	<b>Importância sanitária</b>	<b>Persistência na água</b>	<b>Resistência ao cloro</b>	<b>Infectividade</b>
<b>Vírus</b>				
Adenovírus	alta	alta	média	alta
Enterovírus	alta	alta	média	alta
Hepatite A	alta	alta	média	alta
Hepatite E	alta	alta	média	alta
Rotavírus	alta	alta	média	alta
<b>Bactérias</b>				
<i>Escherichia coli</i>	alta	média	baixa	baixa
<i>Salmonella typhi</i>	alta	média	baixa	baixa
<i>Vibrio cholerae</i>	alta	baixa	baixa	média

Fonte: OMS - Guidelines for Drinking Water, 2017 (Adaptado)

Através da análise dos dados é possível perceber que as bactérias - usualmente utilizadas como indicadores de contaminação microbiológica da água - são menos resistentes ao cloro, possuem uma menor persistência na água e uma baixa infecciosidade quando comparadas aos vírus. Sendo assim, ainda que a análise microbiológica apresente ausência de bactérias indicadoras ou patogênicas, esta não indica necessariamente a ausência de vírus na água.

A forma como os vírus são introduzidos no meio ambiente possui relação direta com a falta de saneamento local e com as ações antropogênicas, que através da ausência de sistemas de tratamento de esgoto ou através do uso de sistemas não eficientes e sem manutenção adequada acabam por contaminar o meio ambiente. Como, por exemplo, pode-se citar o uso de tanques sépticos e sumidouros sem manutenção

adequada; o uso de sistemas unitários para coleta de pluvial e de esgoto com lançamento em corpos d'água; atividades agrícolas responsáveis pelo despejo de detritos não tratados no meio ambiente, e até mesmo efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto que não apresentam um processo de desinfecção eficiente em relação aos vírus (FONGARO, 2012; BANK, 2017).

Uma vez presentes no meio ambiente, esses micro-organismos são capazes de causar infecção em qualquer indivíduo que entre em contato com o meio contaminado. De acordo com Bank (2017), a quantidade de vírus necessária para causar uma infecção é relativamente baixa, sendo possível que uma infecção ocorra com a presença de um único vírus.

A resposta humana à infecção por vírus entéricos varia bastante e é função das características do patógeno e do indivíduo. Em geral, as infecções são assintomáticas ou são associadas a doenças gastrointestinais, em sua grande maioria manifestadas através de casos de diarreia. No entanto, os vírus entéricos podem estar associados a alguns casos de doenças respiratórias, conjuntivites, encefalites, meningite, anomalias cardíacas, paralisias, entre outros (TAVARES, CARDOSO E BRITO, 2005; FONGARO, 2012).

Segundo Bosch et al. (2008), grande parte das doenças de veiculação hídrica são causadas por vírus entéricos, os quais são responsáveis, em média, por 60% das gastroenterites no mundo. O estudo realizado por Liu et al. (2012) mostra que a diarreia mata aproximadamente 2.195 crianças por ano, mais do que AIDS, malária e sarampo juntos. Outros estudos, realizados por Black, Morris e Bryce (2003) e pela UNICEF (2006), mostraram que aproximadamente 88% desses casos de diarreia estão associados à falta de saneamento, consumo de água contaminada e falta de higiene.

Dentre os vírus responsáveis pela ocorrência de doenças gastrointestinais relacionadas ao contato com água contaminada, os rotavírus se destacam por serem os principais causadores de diarreias em uma escala global, sendo responsáveis por cerca de 40% das hospitalizações de crianças com diarreia; e os adenovírus se destacam por serem vírus responsáveis pela ocorrência de diversas doenças, como conjuntivite, diarreia, pneumonia, entre outras, podendo afetar pessoas de todas as idades.

### **2.2.1 Rotavírus**

Os rotavírus são membros da família *Reoviridae*, e até o presente momento são conhecidos sete grupos de Rotavírus (A-G), sendo os grupos A-C responsáveis pelas infecções humanas e o grupo A conhecido como o principal patógeno humano (OMS, 2004; BANK, 2017).

Os rotavírus humanos são responsáveis por cerca de 60% das hospitalizações infantis decorrentes de diarreia, além de serem uma das principais causas de morte infantil no mundo. Ainda que as infecções sejam mais comuns em crianças, os vírus podem infectar indivíduos de todas as idades, principalmente os imunocomprometidos.

Os rotavírus apresentam diversas características que fazem com que eles sejam reconhecidos como importantes agentes responsáveis por causar doenças em humanos, principalmente quando comparados a outros agentes virais. Estudos mostram que os rotavírus possuem uma infeciosidade maior do que outros vírus entéricos, e devido ao fato de esses vírus serem bastante estáveis no meio ambiente, são decorrentes as infecções ocasionadas devido ao contato com a água contaminada (GERBA et al., 1996).

Os rotavírus são excretados em grandes concentrações nas fezes humanas, sendo a principal forma de contaminação através da rota fecal-oral. A resposta humana à infecção por rotavírus varia bastante, desde assintomática até uma doença fatal quando não tratada adequadamente (OMS, 2004). Em geral, as infecções são caracterizadas por diarreia, vômito, febre e dor abdominal, sendo comum também casos de desidratação e falta de apetite (FONGARO, 2012).

### **2.2.2 Adenovírus**

Os Adenovírus são membros da família *Adenoviridae*, e até o presente momento são conhecidas sete espécies de adenovírus humano (A a G) e inúmeros sorotipos (SETO et al., 2016). De acordo com a OMS (2004) e Bank (2017), os sorotipos 40 e 41 são os principais responsáveis por doenças entéricas relacionadas aos adenovírus.

Estudos realizados mostram que os adenovírus possuem estabilidade na água e resistência às condições ambientais adversas (pH, temperatura, radiação solar) maiores do que outros vírus entéricos (TAVARES, CARDOSO E BRITO, 2005; FONGARO, 2012). Esses vírus são reconhecidos por serem agentes causadores de inúmeras doenças além das gastroenterites, como doenças respiratórias agudas,



conjuntivites, faringites, doenças no trato urinário, meningoencefalites, entre outras (OMS, 2004; FONGARO, 2012).

Os adenovírus são excretados em grandes quantidades nas fezes humanas e contaminam os indivíduos através da rota fecal-oral. De acordo com Lambertini et al. (2008) e Xagorarakí et al. (2007), diversos surtos de gastroenterites e outras doenças relacionadas aos adenovírus têm sido relatados mundialmente, e grande parte desses relatos possuem em comum a contaminação viral por meio de veiculação hídrica.

## 2.3 ANÁLISE DE RISCO

A análise de risco é uma ferramenta de apoio à tomada de decisões, utilizada hoje nos mais diversos setores e nas mais diversas áreas, como economia, engenharia, gerenciamento de projetos, saúde humana e do meio ambiente, entre outros. A análise de risco funciona como uma abordagem sistemática e preventiva ao risco, através da qual é possível minimizar, controlar e até evitar os riscos (HAAS et al., 2014).

O processo de análise de risco inclui avaliação, gerenciamento e comunicação do risco. A avaliação pode ser qualitativa ou quantitativa e tem como objetivo a caracterização e a estimativa de riscos envolvidos durante determinado processo. A análise quantitativa associa valores numéricos aos perigos e apresenta os riscos inerentes àquele cenário através de cálculos probabilísticos, possibilitando uma visão geral dos mesmos (OMS, 2016).

Por apresentar resultados com embasamento científico, essa análise funciona como um auxílio à tomada de decisões que buscam orientar as medidas de controle, de intervenção e de avaliação dos impactos decorrentes das ações realizadas (RAZZOLINI & NARDOCCI, 2006).

## 2.4 ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO (AQRM)

A AQRM consiste na aplicação dos princípios da Análise de Risco em termos microbiológicos com o objetivo de estimar os efeitos à saúde humana decorrentes da exposição a micro-organismos infecciosos em diferentes cenários (HAAS et al., 2014).

A metodologia da AQRM é apoiada pela OMS e descrita em “*Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management*”, publicado em 2016. De acordo com a definição apresentada no documento, a AQRM é uma abordagem que combina

diversos conhecimentos científicos com conhecimentos estatísticos, permitindo assim uma análise consistente a respeito dos riscos existentes em um determinado cenário de exposição (OMS, 2016).

A metodologia da AQRM é dividida em quatro etapas que serão apresentadas a seguir, sendo elas: identificação do perigo, avaliação da exposição, modelo dose-resposta e caracterização do risco.

#### **2.4.1 Identificação do perigo**

A identificação do perigo é a primeira etapa da metodologia da AQRM e tem como principal objetivo identificar o agente microbiológico que será analisado, as doenças associadas a este micro-organismo e a relevância deste em termos de saúde pública.

Para realizar essa etapa, é necessário buscar na literatura estudos microbiológicos que contenham as informações necessárias para a caracterização do micro-organismo em questão – patogenicidade, virulência, infecciosidade -, e também estudos epidemiológicos que apresentem a resposta humana ao contato com esses micro-organismos, as doenças associadas a cada um deles e a severidade dessas doenças (HAAS et al., 2014).

#### **2.4.2 Avaliação da exposição**

A etapa de avaliação da exposição tem como objetivo determinar a população exposta ao risco – adultos, crianças ou imunocomprometidos -, as rotas de exposição – ar, solo, água; ingestão, inalação, contato -, o cenário de exposição e a distribuição de concentração dos micro-organismos (OMS, 2016; HAAS et al., 2014).

A determinação do cenário de exposição possibilita definir o grau de contato entre o indivíduo e os micro-organismos patogênicos. Inúmeros cenários de exposição podem ser avaliados, e cada um deles possui um grau de contato e uma frequência de exposição diferentes entre o indivíduo e o micro-organismo (HAAS et al., 2014). Em um manancial de águas superficiais utilizado para recreação, os graus de contato com a água podem ser reduzidos a dois: contato primário e contato secundário. O contato primário se refere às atividades em que o corpo inteiro se encontra imerso em água, como nado e mergulho, e o contato secundário se refere às atividades em que o corpo não necessariamente se encontra imerso em água, como pesca, barco, remo e *stand-up*, por exemplo (OMS, 2003).

Definido o cenário de exposição, busca-se na literatura o volume médio de água ingerido durante cada atividade. Os volumes são estimados com base em estudos experimentais realizados com voluntários. Feito isso, a fim de estimar a dose ingerida pelo indivíduo, é necessário obter os dados de concentração dos micro-organismos no local de análise. O recomendado é que os dados de concentração sejam determinados utilizando análises laboratoriais; no entanto, para alguns patógenos, o processo de quantificação é difícil e caro. Nesses casos, recomenda-se que se utilize dados de concentração encontrados em literatura que apresente o cenário mais similar possível ao cenário em análise (OMS, 2016).

Com os dados de concentração e de volume determinados, é possível estimar a dose ingerida por um indivíduo em determinado cenário através da Equação 1.

(1)

Onde:

d = dose ingerida pelo indivíduo;

v = volume de água ingerida durante a exposição;

c = concentração de micro-organismos no local de análise.

### **2.4.3 Modelo dose-resposta**

Segundo Weir et al. (2017), a etapa de determinação do modelo dose-resposta é uma das principais para a AQRM. A escolha do modelo adequado é essencial para uma análise bem-sucedida.

O modelo dose-resposta descreve a relação entre a dose de patógeno ingerida e os efeitos adversos que essa ingestão pode causar à saúde humana (HAAS et al., 2014). Os modelos são expressos através de funções matemáticas que descrevem a relação dose-resposta dos micro-organismos, de forma que cada modelo é função de parâmetros que variam conforme as características específicas de cada micro-organismo.

Os modelos partem dos seguintes pressupostos: a presença de um único micro-organismo patogênico é suficiente para iniciar um processo de infecção, e a sobrevivência de um determinado micro-organismo dentro do hospedeiro é independente da sobrevivência de outro micro-organismo que vive nas mesmas condições (OMS, 2016).

Atualmente, diversos modelos dose-resposta já foram desenvolvidos. Abaixo são descritos os dois principais modelos: modelo exponencial e modelo *Beta-Poisson*.

### 1) Modelo exponencial

O modelo exponencial é caracterizado por assumir que cada micro-organismo possui probabilidade constante e independente de sobreviver dentro do hospedeiro, e conseqüentemente de causar uma infecção (HAAS et al., 2014). A Equação 2 representa esse modelo.

(2)

Onde:

$P(i)$  = probabilidade de infecção;

$d$  = dose ingerida;

$r$  = parâmetro específico de cada micro-organismo, relacionado à probabilidade do mesmo de sobreviver dentro do hospedeiro e de, conseqüentemente, causar uma infecção.

### 2) Modelo *Beta-Poisson*

Diferentemente do modelo exponencial, o modelo *Beta-Poisson* assume que pode haver variação na probabilidade de sobrevivência do micro-organismo e, conseqüentemente, na probabilidade de causar infecção no hospedeiro. De acordo com Haas et al. (2014), as variabilidades estão relacionadas às características do indivíduo - gênero, idade, condições imunológicas -, e às características do patógeno - virulência, infectiosidade, persistência no meio ambiente, entre outros.

Em termos matemáticos, o parâmetro “ $r$ ” da Equação 2, mostrada acima, deixa de ser constante e passa a variar de acordo com uma distribuição de probabilidade representada pelos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ . Dessa forma, a probabilidade de infecção passa a ser calculada através da Equação 3.

(3)

Onde:

$P(i)$  = probabilidade de infecção;

$d$  = dose ingerida;

$\alpha$  e  $\beta$  = parâmetros que expressam probabilidade de sobrevivência e de infecciosidade dos micro-organismos.

De acordo com um estudo realizado por Hora (2017), a probabilidade de um indivíduo adquirir uma doença como consequência da infecção pré-adquirida é equivalente a 70% da probabilidade do indivíduo adquirir a infecção. A Equação 4 apresenta essa relação.

(4)

Onde:

P(d) = probabilidade de um indivíduo adquirir uma doença.

#### **2.4.4 Caracterização do risco**

A etapa de caracterização de risco consiste na integração dos dados obtidos nas etapas anteriores com o objetivo de estimar a probabilidade do risco acontecer, assim como sua magnitude em relação à saúde humana. De acordo com Haas et al. (2014), durante a caracterização do risco todas as incertezas e variabilidades são levadas em consideração. As incertezas normalmente estão relacionadas ao modelo escolhido, aos parâmetros do modelo, ao volume de água ingerido e à concentração dos micro-organismos. As variabilidades, por sua vez, estão relacionadas às características do indivíduo e do micro-organismo patogênico.

Para realizar essa análise, a Simulação de Monte Carlo é utilizada – uma ferramenta matemática que simula diversos cenários e distribuições de probabilidade e que, como resposta, apresenta a curva de probabilidade de infecção para cada cenário.

Os resultados podem ser apresentados através de probabilidade de infecção, de doença ou de morte, ou ainda através do DALY – *disability adjusted life years* -, medida que expressa a quantidade de anos de vida perdidos em decorrência de problemas de saúde, incapacidade ou morte precoce, associados à contaminação microbiológica (HAAS et al., 2014; OMS, 2016).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 LOCAL DE ESTUDO

O objeto de estudo deste trabalho foi o manancial superficial do Parque Municipal da Lagoa do Peri, localizado em Florianópolis, Santa Catarina. A Lagoa do Peri está localizada no Sudeste da Ilha de Santa Catarina e abriga o maior manancial de água doce da ilha. Apresenta latitude 27°35' 47.477 e longitude 48°33' 0.629.

O Parque Municipal da Lagoa do Peri foi criado em 1981 pela Lei Municipal nº 1828, através da qual passou a ser classificado como Área de Preservação Permanente e teve seu Plano Diretor de ocupação e uso do solo instituído. Entre os objetivos da criação do Parque, tem-se a proteção do manancial hídrico da Bacia da Lagoa do Peri, de modo a garantir o abastecimento de água da população do Sul da Ilha de Santa Catarina; a preservação do patrimônio a fim de que seja utilizado como área de interesse ecológico e de pesquisa científica; e o aproveitamento da paisagem natural para a realização de atividades educacionais, de lazer e recreação (BRASIL, 1981).

Assim sendo, atualmente a Lagoa do Peri possui uma Estação de Tratamento de Água e faz parte do Sistema de Abastecimento de Água da Costa Leste de Florianópolis, abastecendo aproximadamente 100 mil habitantes. Além disso, o parque é amplamente utilizado para diversas atividades recreacionais e de lazer, como nado, pesca, pedalinho, *picnics*, *stand-up* e outros esportes aquáticos não motorizados.

#### 3.2 ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO

A fim de alcançar os objetivos propostos, o presente trabalho foi conduzido em quatro etapas distintas. A primeira etapa refere-se à identificação do perigo, a segunda à avaliação da exposição, a terceira à escolha do modelo dose-resposta e, por fim, a quarta etapa se refere ao processo de caracterização do risco.

##### 3.2.1 Identificação do perigo

Nessa etapa, inicialmente foi realizada uma análise da Lagoa do Peri e das principais atividades recreacionais praticadas no local, para então definir qual o grupo populacional está exposto ao risco (adultos,

crianças ou imunodeficientes), e qual seria a principal rota de transmissão dos patógenos.

Tendo em vista que a maioria das atividades recreacionais na Lagoa do Peri é realizada por adultos que entram em contato direto ou indireto com a água contaminada, foi decidido que a análise de risco em questão abordaria essas circunstâncias.

Além disso, nessa etapa também foi determinado quais micro-organismos patogênicos teriam o seu risco de infecciosidade analisado. Para isso, buscou-se na literatura quais os principais patógenos encontrados em casos de contaminação da água, quais os mais relevantes, frequentes e comuns nas águas recreacionais, qual a resposta humana ao contato com esses patógenos e qual a severidade das doenças relacionadas a eles.

Estudos realizados por Gerba et al. (1996), OMS (2004), Tavares, Cardoso E Brito (2005) e Bank (2017) mostraram a relevância dos adenovírus e dos rotavírus em termos de contaminação microbiológica da água e saúde humana. A persistência desses micro-organismos no meio ambiente e a alta infecciosidade dos mesmos são fatores que fazem com que grande parte das infecções microbiológicas esteja relacionada a esses dois patógenos.

### **3.2.2 Avaliação da exposição**

Para a determinação do cenário de exposição foram levados em conta quais são os usos de água mais comuns no local de estudo. Dessa forma, foram definidos seis diferentes cenários de exposição, sendo eles: consumo de água potável, nado, remo, pesca, barco e *stand-up*. Foi considerado que o indivíduo exposto é um adulto, e a análise de risco foi feita considerando a situação de exposição única, com duração de 1 hora ou de 1 dia, no caso do consumo de água potável.

Para o cenário de consumo de água, considerou-se que a água, depois de tratada por uma estação de tratamento do tipo filtração direta descendente, possui uma eficiência média de tratamento de 75% em um ano, de forma que para calcular a probabilidade de infecção e de doença nesse cenário foi utilizada uma concentração de micro-organismos equivalente a 25% da concentração encontrada por Fongaro (2012).

A Equação 5 apresenta o cálculo realizado.

(5)

Onde:

C' = concentração de micro-organismos após tratamento;

C = concentração de micro-organismos encontrada por Fongaro (2012).

Feito isso, buscou-se na literatura os valores médios de água ingerida durante essas atividades. Os valores encontrados estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2: Valor médio de água ingerida nos diferentes usos da água

Atividade	Volume de água ingerida	Referência
Consumo de água potável	1,4 L/dia	HAAS ET AL. (2014)
Nado	50 mL/h	HAAS ET AL. (2014); OMS (2003).
Remo	3,9 mL/h	DOREVITCH, 2011
Pesca	3,6 mL/h	DOREVITCH, 2011
Barco	3,7 mL/h	DOREVITCH, 2011
<i>Stand-up</i>	3,9 mL/h	DOREVITCH, 2011

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Para fins de cálculo, utilizou-se uma média dos valores de volume ingerido determinados por Dorevitch (2011) para as atividades de contato secundário, utilizando-se como média o valor de 3,8 mL/h de água ingerida durante as atividades de remo, pesca, barco e *stand-up*.

Para uma análise mais consistente, é necessário encontrar os volumes distribuídos durante as diferentes atividades, assim como o modelo de distribuição mais utilizado para essas situações. A Tabela 3 apresenta os valores encontrados e o modelo de distribuição utilizado em alguns estudos.



Tabela 3: Distribuição dos volumes ingeridos durante atividades recreacionais

Atividade	Volume ingerido (mL/h)			Distribuição	Referência
	mínim o	médi o	máxim o		
Nado	10	16	100	triangular	DONOVON et al., 2008
Contato secund.	3,8	5,8	10	triangular	DOREVITCH, 2011
Consumo de água potável	58,3	104,2	150	triangular	HORA, 2017

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Em relação às concentrações dos micro-organismos patogênicos no local de estudo, foram utilizados neste trabalho valores de concentrações previamente determinados por Fongaro (2012) em um estudo realizado na Lagoa do Peri, intitulado *Estudo da Incidência de Vírus Humanos de Veiculação Hídrica em Águas de Mananciais*. Fongaro (2012) selecionou quatro pontos para realizar coleta de água durante 12 meses consecutivos com o objetivo de analisar a presença de vírus em cada um deles, denominando-os Micro-Ambiente 1 (parte central da lagoa); Micro-Ambiente 2 (ambiente preservado); Micro-Ambiente 3 (ambiente não preservado) e Micro-Ambiente 4 (ambiente onde ocorre coleta de água e atividades recreacionais).

Para a análise de risco em questão, escolheu-se trabalhar com os dados de concentração obtidos no Micro-ambiente 4, visto que este aborda os diferentes cenários de exposição de estudo. O Apêndice A apresenta todos os dados coletados por Fongaro (2012), e a Tabela 4 apresenta as concentrações médias, máximas e mínimas em cópias genômicas.

Tabela 4: Concentrações médias, máximas e mínimas dos micro-organismos em cópias genômicas por litro.

Microorganismo	Concentração (CG/L)		
	mínima	média	máxima
Adenovírus	5,67E+06	1,77E+07	3,92E+07
Rotavírus	2,18E+05	2,03E+06	6,57E+06

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

No momento da coleta de água, o Micro-Ambiente 4 apresentava os seguintes parâmetros físico-químicos: pH aproximadamente 7; temperatura aproximadamente 23°C e oxigênio dissolvido (OD) aproximadamente 8 mg/L. Os dados encontrados por Fongaro (2012) estão em cópias genômicas (CG), e para este trabalho estes valores foram convertidos para vírus viáveis através da diminuição de 2 logs.

A Figura 1 ilustra a Lagoa do Peri e os pontos de análise realizados por Fongaro (2012), com destaque para a região que foi utilizada no presente trabalho.

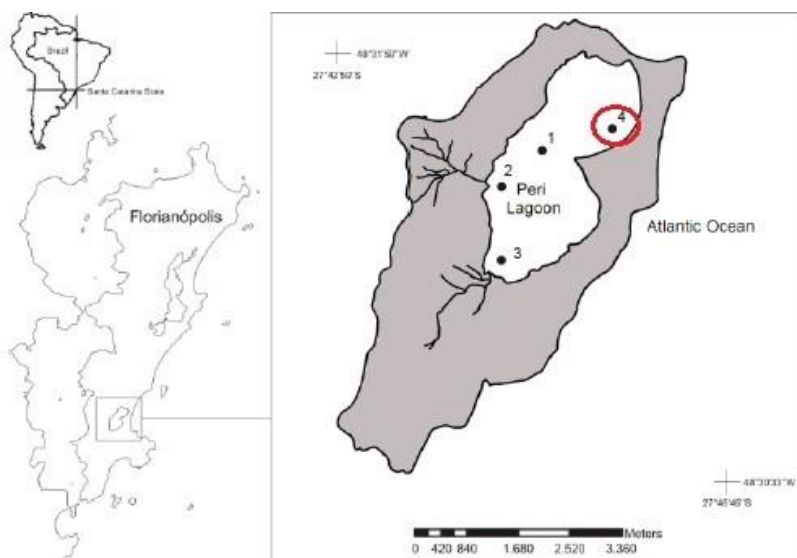


Figura 1: Local de estudo

Fonte: Adaptado de Fongaro (2012)

As Figuras 2 e 3 apresentam fluxogramas dos cenários de exposição, o grau de contato entre o indivíduo e a água e os volumes de água ingeridos nos diferentes cenários.

### 1) Cenário 1

Contato primário	Consumo de água potável	Vol. ingerido ± 58,3 mL/h
	Nado	Vol. ingerido ± 50 mL/h

Figura 2: Fluxograma cenário 1

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

### 2) Cenário 2

Contato secundário	Remo	Vol. ingerido ± 3,9 mL/h
	Pesca	Vol. ingerido ± 3,6 mL/h
	Barco	Vol. ingerido ± 3,7 mL/h
	Stand-up	Vol. ingerido ± 3,8 mL/h

Figura 3: Fluxograma cenário 2

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

### 3.2.3 Modelo dose-resposta

A determinação do modelo dose-resposta que melhor descreve o comportamento dos micro-organismos em questão e seus parâmetros específicos foi feita através de buscas na literatura que abordassem os mesmos micro-organismos em situações semelhantes às abordadas neste trabalho.

## 1) Rotavírus

De acordo com Haas et al. (2014), o modelo que melhor representa o rotavírus é o modelo *Beta-Poisson*, descrito previamente no tópico 2.1.1.3.

Os parâmetros do modelo dose-resposta ( $\alpha, \beta$ ) utilizados neste trabalho foram determinados por Regli et al. (1991) e recomendados por Haas et al. (1993), sendo eles:  $\alpha = 0,26$  e  $\beta = 0,42$ .

## 2) Adenovírus

De acordo com os estudos publicados por Crabtree et al. (1997) e Van Heerden et al. (2005), o modelo dose-resposta que melhor representa o adenovírus é o modelo dose-resposta exponencial, descrito previamente no tópico 2.1.1.3.

O parâmetro do modelo dose-resposta ( $r$ ) determinado por Rose et al. (1996) e recomendado por Crabtree et al. (1997), Van Heerden et al. (2005) e Soller et al. (2016) foi utilizado nesse estudo, com valor  $r = 0,4172$ .

No entanto, um outro estudo, realizado por Ahmed (2018), definiu o modelo *Beta-Poisson* como o modelo ideal para estimar a probabilidade de um indivíduo adquirir uma gastroenterite como consequência do contato com a água contaminada por adenovírus, utilizando para tal os parâmetros  $\alpha = 5,11$  e  $\beta = 2,8$ .

Neste trabalho foi realizada uma análise utilizando os dois modelos para fins de comparação.

### 3.2.4 Caracterização do risco

Para a etapa de caracterização do risco foi utilizado o *software @risk*, o qual executa a análise de risco através da Simulação de Monte Carlo.

O primeiro passo desta análise foi calcular uma estimativa pontual de risco nos diferentes cenários de exposição para cada um dos micro-organismos. Para tal, utilizou-se a Equação 1 para estimar a dose ingerida com base nos valores médios de volume – apresentados na Tabela 2 - e de concentração – apresentados na Tabela 4 -, e aplicou-se o resultado na Equação 2 para estimativa de risco para adenovírus e na Equação 3 para estimativa de risco para rotavírus.

Feito isso, a dose foi calculada novamente, utilizando os valores distribuídos de volume e de concentração, com o objetivo de obter a curva de probabilidade de infecção e de doença para cada micro-organismo. Para isso, os dados de distribuição foram inseridos no *software @risk*, o qual apresentou vários modelos de distribuição para o volume e para a concentração a partir dos dados inseridos, e apresentou os respectivos valores que representam essas distribuições. A seleção do modelo foi realizada com base no critério AIC (Akaike Information Criterion), que de acordo com os critérios de seleção de modelos presentes na literatura, o modelo mais prudente é aquele que apresenta o maior valor de AIC (MIRANDA, 2006).

Esses valores foram aplicados na Equação 1 e posteriormente nas Equações 2 e 3 para rotavírus e adenovírus, respectivamente, a fim de se obter a probabilidade de infecção e de doença para cada micro-organismo. Obtidas essas probabilidades, aplicou-se esses valores ao *software @risk*, o qual realizou 1000 interações e apresentou como resultado a curva de probabilidade de infecção e de doença para os micro-organismo nos diferentes cenários de exposição.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados os dados obtidos durante a análise de risco, uma discussão a respeito desses resultados e, por fim, a etapa de gerenciamento do risco.

### 4.1 ROTAVÍRUS

A Tabela 5 apresenta as doses ingeridas pelo indivíduo durante as atividades avaliadas nos cenários de exposição.

Tabela 5: Doses de micro-organismos ingeridas durante as atividades

Dose ingerida (nº organismos)	
Nado	6,51E+02
Consumo	4,04E+02
Contato secundário	1,01E+02

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Abaixo são apresentadas as curvas de probabilidade de infecção e de doença para o contato primário e secundário com a água contaminada por rotavírus.

### 1) Contato primário

As Figuras 4 e 5 apresentam a curva de probabilidade de infecção gerada pelo *software @risk* para a atividade de nado e para o consumo de água tratada, respectivamente.

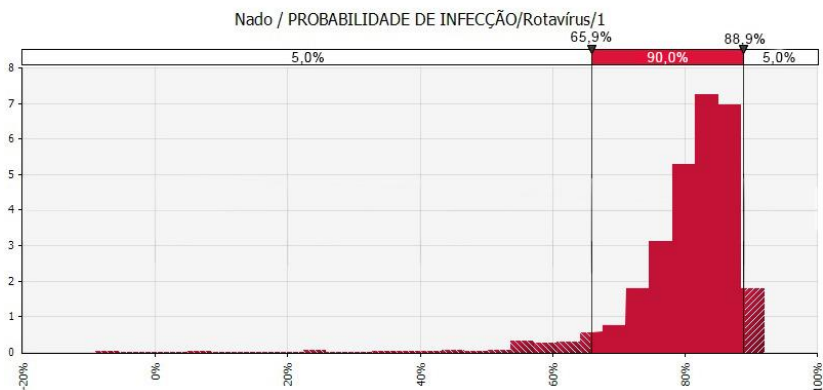


Figura 4: Curva de probabilidade de infecção para situação de nado durante 1 hora

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

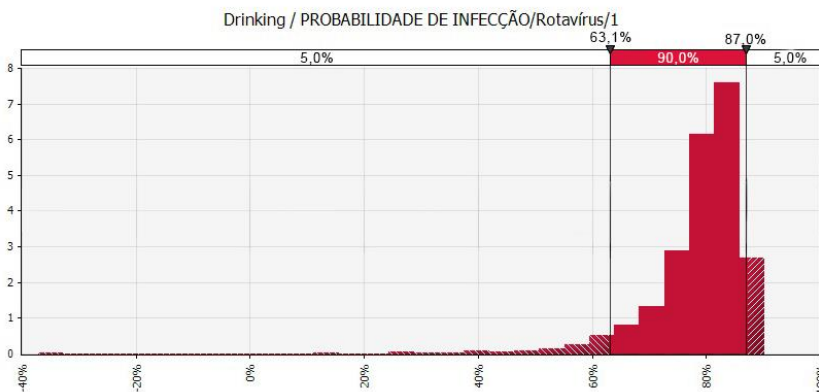


Figura 5: Curva de probabilidade de infecção para a situação de consumo de água tratada

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

As Figuras 6 e 7 apresentam a curva de probabilidade de doença para as atividades de nado e consumo de água tratada.

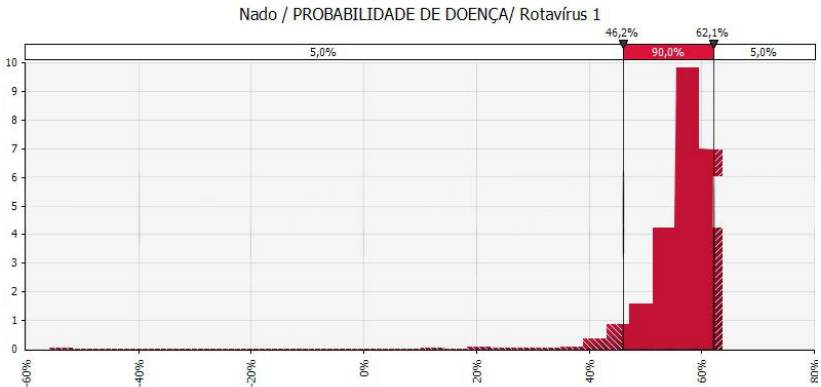


Figura 6 - Curva de probabilidade de doença para situação de nado

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

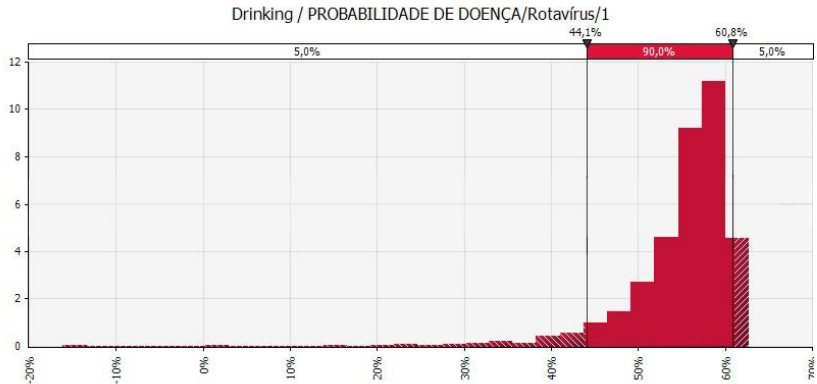


Figura 7 - Curva de probabilidade de doença para a situação de consumo de água tratada.

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

## 2) Contato secundário

A Figura 8 apresenta a curva de probabilidade de infecção para as atividades secundárias, sendo elas: pesca, remo, barco e *stand-up*.

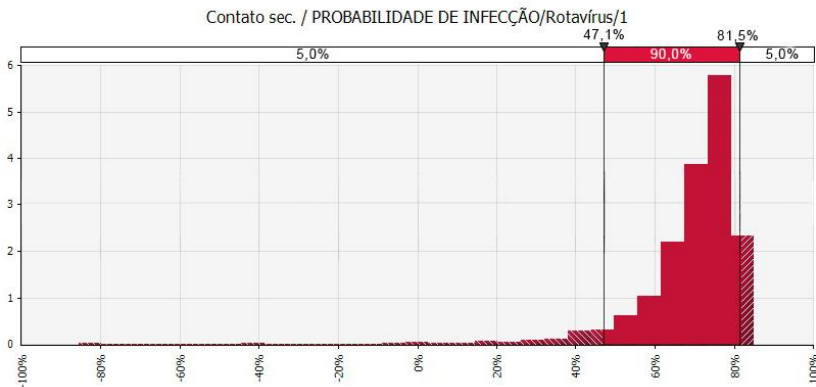


Figura 8: Curva de probabilidade de infecção para a situação de contato secundário.

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

A Figura 9 apresenta a curva de probabilidade de doença para as atividades secundárias.

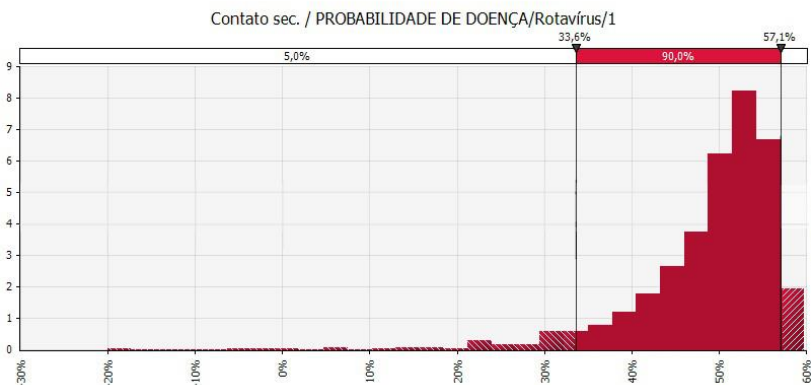


Figura 9 - Curva de probabilidade de doença para a situação de contato secundário.

Fonte: Elaborada pela autora (2018)



A Tabela 6 apresenta os resultados encontrados em um intervalo de confiança de 90%.

Tabela 6: Intervalo de probabilidade de infecção e de doença por rotavírus

<b>Contato</b>	<b>Atividade</b>	<b>Intervalo de probabilidade de infecção (%)</b>	<b>Intervalo de probabilidade de doença (%)</b>
Primário	Nado	65,9 - 88,9	46,2 - 62,1
	Consumo	63,1 - 87,0	44,1 - 60,8
Secundário	Remo		
	Pesca	47,1 - 81,5	33,6 - 57,1
	Barco		
	<i>Stand-up</i>		

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Os resultados expostos acima indicam que, de todas as atividades analisadas, aquelas em que o indivíduo esteve em contato primário com a água e ingeriu maior dose de micro-organismos apresentaram o maior risco de infecção, variando de 65,9% a 88,9% para a atividade de nado e 63,1% e 87% para o consumo de água tratada. Em relação ao risco de doença, as probabilidades variaram entre 46,2% e 62,1% para a atividade de nado e 44,1% e 60,8% para o consumo de água tratada. As atividades secundárias também apresentaram um risco consideravelmente alto, entre 47,1% e 81,5% para infecção e 33,6% e 57,1% para doença. Esse risco está diretamente relacionado com a dose de micro-organismos ingerida, apresentada na Tabela 5. Os resultados foram apresentados com um intervalo de confiança de 90%.

Ainda que o volume médio de água ingerida seja maior do que o volume durante a atividade de nado, a água antes de ser consumida passa pela ETA, a qual teve sua eficiência estimada em 75%, de forma que a concentração de micro-organismos na água tratada é menor do que na água recreacional. Por esse motivo, ainda que o indivíduo ingira um menor volume de água durante a atividade de nado comparado ao consumo de água potável, a atividade de nado foi a que apresentou maior risco, considerando-se que o indivíduo se exponha uma única vez àquele cenário e nade por uma hora na água contaminada.

O risco encontrado tem relação direta com as concentrações de rotavírus no local de estudo. Quando comparadas às concentrações de

rotavírus em esgoto e em águas recreacionais, é possível perceber que as concentrações encontradas por Fongaro (2012) estão muito mais próximas das concentrações de rotavírus em esgoto, encontradas por Da Silva et al. (2016) do que das concentrações de rotavírus em águas recreacionais, encontradas por Vieira et al. (2012). Ou seja, a análise indica que houve contaminação fecal no local de estudo. A Tabela 7 apresenta esses valores.

Tabela 7: Concentração de rotavírus em esgoto e em água recreacional por litro

Local	Concentração (CG/L)		Referência
	mínima	Máxima	
Esgoto	2,20E+02	2,90E+08	DA SILVA et al., 2016
Água recreacional	3,00E+01	5,60E+04	VIEIRA et al., 2012
Lagoa do Peri	2,18E+05	6,57E+06	FONGARO, 2012

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

## 4.2 ADENOVÍRUS

A Tabela 8 apresenta as doses ingeridas pelo indivíduo durante as atividades analisadas.

Tabela 8: Doses de micro-organismos ingeridas durante as atividades

Dose ingerida (nº organismos)	
Nado	7,01E+03
Consumo	4,34E+03
Contato secundário	1,09E+03

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

A Tabela 8 mostra que a dose de adenovírus ingerida em todos os cenários analisados nesse trabalho foi bastante elevada, o que é consequência da alta concentração de adenovírus no local de análise. Em função desses valores elevados, os cálculos realizados pelo *software @risk* indicaram uma probabilidade de 100% de infecção em todos os cenários. Dessa forma, a curva de probabilidade de infecção não apresenta nenhuma variação, conforme mostra a Figura 10.

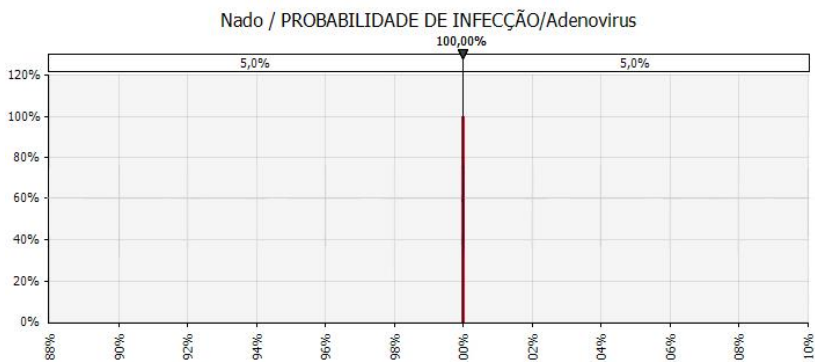


Figura 10: Curva de probabilidade para adenovírus utilizando modelo exponencial  
 Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Embora a Figura 10 seja relativa à atividade de nado, ela também representa a probabilidade de infecção para os demais usos da água, uma vez que os riscos encontrados para todos os cenários foram os mesmos.

O mesmo acontece para a probabilidade de doença. Os valores de probabilidade encontrados de 70% para todas as situações, sem nenhuma variação. A Figura 11 abaixo apresenta a curva de probabilidade encontrada.

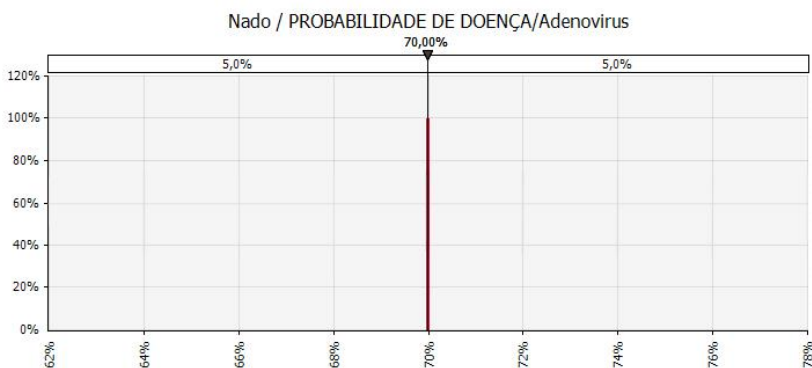


Figura 11 - Curva de probabilidade de doença através do modelo exponencial para adenovírus.  
 Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Tendo em vista as deficiências existentes no modelo dose - resposta utilizado para o adenovírus neste trabalho – modelo recomendado por Crabtree et al. (1997), Heerden et al. (2005) e diversos outros autores para a situação de ingestão de água contaminada, mas que foi inicialmente determinado para a situação de inalação do micro-organismo, e que, além disso, não leva em consideração as variabilidades existentes no patógeno e no hospedeiro -, aplicou-se, neste trabalho, o modelo *Beta-Poisson*, com base no estudo realizado por Ahmed (2018). O resultado está apresentado nas Figuras 12 e 13 abaixo.

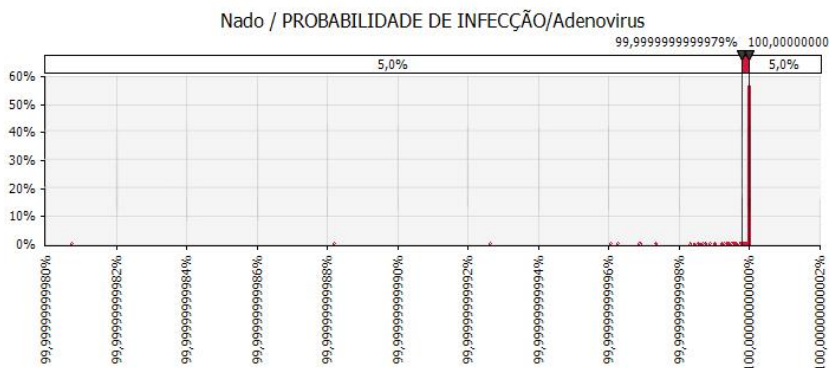


Figura 12: Curva de probabilidade de infecção para adenovírus utilizando o modelo *Beta-Poisson*  
 Fonte: Elaborada pela autora (2018)

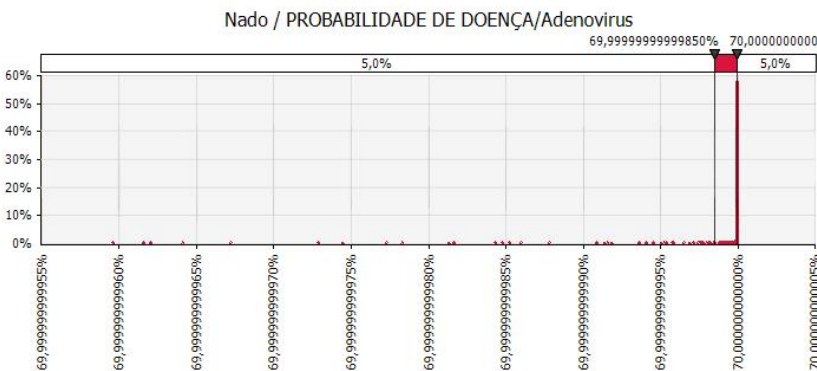


Figura 13 - Curva de probabilidade de doença para adenovírus utilizando o modelo *Beta-Poisson*.  
 Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Através das Figuras 12 e 13 é possível notar que praticamente não há variação na curva de probabilidade com a mudança para o modelo que leva em conta as variabilidades existentes, o que indica que a concentração de adenovírus no local de análise é realmente muito alta. Da mesma forma que o rotavírus, quando a concentração de adenovírus é comparada com valores encontrados em estudos que tratam sobre adenovírus em esgoto e em águas recreacionais, os valores encontrados por Fongaro (2012) estão muito mais próximos aos valores de concentração em esgoto. A Tabela 9 apresenta os valores de concentração de adenovírus em esgoto, em águas recreacionais e na Lagoa do Peri.

Tabela 9: Concentração de adenovírus em esgoto e em água recreacional por litro.

Local	Concentração (microorg./L)		Referência
	mínima	máxima	
Esgoto	1,70E+02	3,30E+09	ALLARD & VANTARAKIS, 2017
Água recreacional	1,20E+01	1,20E+03	VIEIRA et al., 2012
Lagoa do Peri	Abaixo do limite de detecção	3,92E+07	FONGARO, 2012

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Com base nos dados expostos, pode-se concluir que houve contaminação fecal na Lagoa do Peri, uma vez que os vírus analisados são vírus entéricos excretados nas fezes de indivíduos infectados. Outros pontos da Lagoa do Peri analisados no trabalho de Fongaro (2012), que não foram utilizados neste trabalho, também apresentam uma alta concentração de rotavírus e adenovírus, o que confirma a contaminação fecal na Lagoa do Peri. Esses valores estão apresentados nos Apêndices B e C.

Diversas podem ser as fontes de contaminação. Na costa leste sul de Florianópolis, onde a Lagoa do Peri está localizada, não há, até o presente momento, um sistema de tratamento de esgoto coletivo. Sendo assim, os estabelecimentos e moradias possuem um sistema individual de tratamento de esgoto, normalmente composto por tanque séptico e uma unidade de pós-tratamento.

Esses sistemas, quando não passam por manutenção adequada, deixam de ser eficientes e passam a prejudicar o meio ambiente ao redor. Em alguns sistemas, o efluente do pós-tratamento é lançado diretamente no solo, por onde infiltra e atinge o lençol freático e os corpos d'água próximos. Outros sistemas possuem uma tubulação que liga o efluente do pós-tratamento ao sistema de drenagem existente, formando o sistema unitário, através do qual o efluente e a água da chuva se misturam e são lançados no corpo d'água receptor mais próximo.

Independente do destino do efluente após o tanque séptico e o pós-tratamento, se não for realizada a manutenção adequada do sistema, o meio ambiente ao seu redor fica prejudicado e a balneabilidade dos corpos d'água próximos fica comprometida. Essa é uma das hipóteses para a situação da Lagoa do Peri. A outra hipótese é baseada em um estudo realizado pela OMS (2016) que constatou que, em diversos surtos epidemiológicos, a fonte de contaminação eram os próprios banhistas presentes no local, grande parte deles crianças.

Uma análise realizada por Prüss (1998) mostra que diversos estudos apresentaram relação entre a saúde humana e a qualidade das águas recreacionais. Os estudos mostraram diversas respostas humanas ao contato com a água contaminada, entre elas, meningoencefalite, febre tifoide e sintomas gastrointestinais. Nos estudos em que foi possível identificar o agente causador da doença, os adenovírus se mostraram bastante presentes; nos estudos onde os agentes não foram identificados, notou-se uma semelhança entre os sintomas, os quais frequentemente apontavam para uma infecção viral.

Ainda em relação à análise realizada por Prüss (1998), dos 22 casos analisados, 19 apresentaram relação entre saúde humana e contaminação fecal nas águas recreacionais, e os sintomas mais reportados nesses estudos foram os sintomas gastrointestinais.

Na Lagoa do Peri, como já mencionado, não existe um sistema coletivo de tratamento de esgoto. Essa condição pode ser uma das hipóteses que justifica a contaminação microbiológica na lagoa, aspecto também já mencionado. Entretanto, no que diz respeito à água consumida após passar pela ETA localizada na Lagoa do Peri, pode-se inferir, com base nos resultados deste trabalho, que a redução dos riscos deve ser realizada por meio do melhoramento da ETA presente no local de estudo.

A ETA apresenta como tratamento o sistema de filtração direta descendente. De acordo com Lee et al. (2002), Saneago (2000) e Payment (1998), a remoção viral durante os processos de filtração geralmente não são eficientes, tendo em vista que os vírus possuem diâmetros pequenos

e por conta disso dificilmente ficam retidos nos filtros. Além disso, durante a etapa de desinfecção na ETA da Lagoa do Peri, utiliza-se cloro, e de acordo com estudos realizados por Lee et al. (2000), Payment (1998) e Appleton (2000), a cloração não é a medida de controle adequada para a remoção de adenovírus e rotavírus.

### 4.3 GERENCIAMENTO DO RISCO

Com base nos altos riscos encontrados e na alta concentração de micro-organismos na Lagoa do Peri, apresentados neste trabalho, vê-se a necessidade de gerenciá-los a fim de preservar a saúde ambiental e a humana. As altas concentrações encontradas por Fongaro (2012) na Lagoa do Peri indicam que houve contaminação fecal no local, e diversos estudos comprovam a relação entre a saúde humana e o contato com águas recreacionais contaminadas microbiologicamente. Uma vez que já ocorreu contaminação microbiológica no local com tal magnitude, existe a possibilidade de ocorrer uma nova contaminação caso nenhuma medida preventiva seja tomada.

Nesse aspecto, a análise de risco se destaca por permitir o gerenciamento preventivo dos riscos, e não apenas manutenção dos mesmos. Sendo assim, de acordo com a OMS (2013) em seu documento intitulado “*Guidelines for safe recreational water*”, recomenda-se que, para casos de análises em que a concentração de micro-organismos se mostre muito alta, sejam feitas novas análises a fim de determinar se a contaminação foi um evento esporádico ou se é recorrente no local.

Além disso, a partir de uma imagem aérea da Lagoa do Peri, pode-se fazer um mapeamento dos possíveis locais de contaminação com o objetivo de, juntamente com inspeções sanitárias, identificar os pontos de contaminação existentes e então implementar estratégias de mitigação de risco que estejam de acordo com as condições locais.

Em relação à ETA, um estudo realizado por Payment (1998) mostrou que o método mais eficiente para inativação da maioria dos micro-organismos patogênicos presentes na água é a desinfecção por ozônio.

Por fim, é importante mencionar que grande parte das infecções virais são assintomáticas; entretanto, isso não implica a ausência de micro-organismos patogênicos nas fezes do indivíduo, que está sujeito a contaminar outros indivíduos da mesma forma que aqueles que apresentam sintomas.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, a metodologia da AQRM foi aplicada a um manancial de água superficial localizado em Florianópolis/SC com o objetivo de estimar o risco de infecção e de doença como consequência do contato com água contaminada microbiologicamente em seis diferentes cenários. Os resultados encontrados indicam que o risco de infecção tanto por rotavírus quanto por adenovírus são altos em todos os cenários analisados, assim como os riscos de adquirir uma doença.

Os altos riscos estimados são consequência da alta concentração de rotavírus e adenovírus na Lagoa do Peri no momento de coleta e da alta dose ingerida durante as atividades. A atividade que apresentou maior risco foi a de nado, considerando que o indivíduo se exponha uma única vez àquele cenário e nade por uma hora na água contaminada. A segunda atividade que mais apresentou risco foi a de consumo de água tratada, seguido das atividades secundárias.

Os resultados apresentados indicam que houve contaminação fecal no local de análise. Ao comparar as concentrações encontradas por Fongaro (2012) na Lagoa do Peri com as concentrações encontradas em outros estudos que tratam da presença de vírus em esgoto e em águas recreacionais, foi possível perceber que as concentrações encontradas na Lagoa do Peri estão muito mais próximas das concentrações desses micro-organismos em esgoto do que em águas recreacionais.

Como forma de gerenciamento preventivo de risco, recomenda-se o mapeamento dos locais de contaminação e ações da inspeção sanitária nos locais a fim de mitigar os riscos existentes. Em relação à ETA da Lagoa do Peri, recomenda-se que seja analisada a possibilidade de utilizar ozônio como forma de desinfecção ao invés do uso do cloro, pois ainda que o ozônio seja uma alternativa mais cara, ele apresenta uma maior eficiência de desinfecção, a qual já foi comprovada em alguns estudos científicos.

Por fim, a AQRM, como forma de gestão da qualidade microbiológica da água, apresenta-se como uma ferramenta muito útil uma vez que associa diversos conhecimentos, análises e estudos microbiológicos, estatísticos e epidemiológicos em uma única análise, capaz de estimar o risco em diversos cenários, considerando as variabilidades e incertezas existentes na análise em questão. Essas características da AQRM permitem que a análise realizada apresente alta confiabilidade, de forma que é possível ter uma percepção mais realista do cenário analisado para então atuar de forma mais eficiente.



Para concluir, é importante mencionar que para uma análise mais completa da qualidade água, a AQRM pode ser utilizada como uma ferramenta do Plano de Segurança da Água (PSA). O PSA apresenta uma abordagem qualitativa da água, enquanto a AQRM apresenta uma abordagem quantitativa, de forma que a associação dessas duas análises apresenta uma caracterização mais detalhada, permitindo, assim, o gerenciamento mais adequado e seguro da água.

## REFERÊNCIAS

AHMED, Warish, et al. **Quantitative microbial risk assessment of microbial source tracking markers in recreational water contaminated with fresh untreated and secondary treated sewage.** Environment international, 2018, 117: 243-249.

ALLARD A, Vantarakis (2017). **Adenoviruses.** In: Rose JB, Jiménez-Cisneros B, editors. Global Water Pathogens Project. Michigan State University, East Lansing, MI, UNESCO.

APPLETON, Hazel. **Control of food-borne viruses.** British medical bulletin, 2000, 56.1: 172-183.

ASHBOLT, Nicholas J., et al. **Predicting pathogen risks to aid beach management: the real value of quantitative microbial risk assessment (QMRA).** Water research, 2010, 44.16: 4692-4703.

BANK, Job. **Enteric Viruses in Drinking Water.** 2017.

BICHAÏ, Françoise; SMEETS, Patrick WMH. **Using QMRA-based regulation as a water quality management tool in the water security challenge: experience from the Netherlands and Australia.** Water research, 2013, 47.20: 7315-7326.

BLACK, Robert E.; MORRIS, Saul S.; BRYCE, Jennifer. **Where and why are 10 million children dying every year?** The lancet, 2003, 361.9376: 2226-2234.

BOSCH, Albert, et al. **New tools for the study and direct surveillance of viral pathogens in water.** Current Opinion in Biotechnology, 2008, 19.3: 295-301.

BOSCH, Albert. **Human enteric viruses in the water environment: a minireview.** Int Microbiol, 1998, 1.3: 191-6.

BRASIL. Decreto-lei no 91 de 3 de dezembro de 1981. **Cria o Parque Municipal da Lagoa do Peri e institui seu Plano Diretor de ocupação**

**e uso do solo.** Lex: coletânea de legislação: edição municipal, Florianópolis, 1981.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico.** Lex: coletânea de legislação: edição nacional, Brasil, 2007.

BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.** Lex: coletânea de legislação: edição nacional, Brasil, 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. **Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.** Lex: coletânea de legislação: edição nacional, Brasil, 2000.

CDC - CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. **Update on vaccine-derived polioviruses - worldwide,** January 2008-June 2009. MMWR - Morbidity and mortality weekly report, v.58, p. 1002- 1006, 2009.

DA SILVA M, Miagostovich M, Victoria M (2016). **Rotavirus and astrovirus.** In: Rose JB, Jiménez-Cisneros B, editors. Global Water Pathogens Project. Michigan State University, East Lansing, MI, UNESCO.

DONOVAN, Ellen, et al. **Risk of gastrointestinal disease associated with exposure to pathogens in the water of the Lower Passaic River.** Applied and Environmental Microbiology, 2008, 74.4: 994-1003.

DOREVITCH, Samuel, et al. **Water ingestion during water recreation.** Water research, 2011, 45.5: 2020-2028.

FONGARO, Gislaine, et al. **Estudo da incidência de vírus humanos de veiculação hídrica em águas de mananciais.** 2012.

GERBA, Charles P., et al. **Waterborne rotavirus: a risk assessment.** Water Research, 1996, 30.12: 2929-2940.

HAAS, Charles N., et al. **Risk assessment of virus in drinking water.** Risk analysis, 1993, 13.5: 545-552.

HAAS, Charles N.; ROSE, Joan B.; GERBA, Charles P. **Quantitative Microbial Risk Assessment**. John Wiley & Sons, 2014.

HORA, Jálvaro da, et al. **Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) of Campylobacter for Roof-Harvested Rainwater Domestic Use**. In: Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings. 2017. p. 185.

HRUDEY, Steve E.; HRUDEY, Elizabeth J. **Safe drinking water**. IWA publishing, 2004.

LAMBERTINI, Elisabetta, et al. **Concentration of enteroviruses, adenoviruses, and noroviruses from drinking water by use of glass wool filters**. Applied and Environmental Microbiology, 2008, 74.10: 2990-2996.

LEE, Sherline H., et al. **Surveillance for waterborne-disease outbreaks--United States, 1999-2000**. Morbidity and mortality weekly report. Surveillance summaries (*Washington, DC: 2002*), 2002, 51.8: 1-47.

LIU, Li, et al. **Global, regional, and national causes of child mortality: an updated systematic analysis for 2010 with time trends since 2000**. The Lancet, 2012, 379.9832: 2151-2161.

MIRANDA, C. G. (2006). **O método LASSO para modelos de COX e sua comparação com propostas tradicionais de seleção de variáveis** (Doctoral dissertation, Dissertação de Mestrado, Departamento de Estatística, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Minas Gerais).

PARASHAR, Umesh D., et al. **Rotavirus and severe childhood diarrhea**. Emerging infectious diseases, 2006, 12.2: 304.

PAYMENT, P. **Waterborne viruses and parasites: resistance to treatment and disinfection**. In: *OECD Workshop Molecular Methods for Safe Drinking Water*. Interlaken. 1998. p. 1-11.

PRÜSS, Annette. **Review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water**. International journal of epidemiology, 1998, 27.1: 1-9.

RAZZOLINI, Maria Tereza Pepe; NARDOCCI, Adelaide Cássia. **Avaliação de Risco Microbiológico: Etapas e sua aplicação na análise da qualidade da água.** INTERFACEHS, 2006, 1.2.

REGLI, et al. **Modeling Risk for Pathogens in Drinking Water.** Journal of the American Water Works Association 1991.

SANEAMENTO DE GOIÁS S/A (SANEAGO). **Qualidade da água. Tratamento da água. Sistemas de tratamento da água.** SANEAGO, 2002.

SETO, E. Y., Konnan, J., Olivieri, A. W., Danielson, R. E., & Gray, D. M. (2016). **A quantitative microbial risk assessment of wastewater treatment plant blending: case study in San Francisco Bay.** Environmental Science: Water Research & Technology, 2(1), 134-145.

SOLLER, Jeffrey A., et al. **Estimating the primary etiologic agents in recreational freshwaters impacted by human sources of faecal contamination.** Water Research, 2010, 44.16: 4736-4747.

SOLLER, Jeffrey A., et al. **Use of quantitative microbial risk assessment to improve interpretation of a recreational water epidemiological study.** Microbial Risk Analysis, 2016, 1: 2-11.

TAVARES, Talissa de Moraes; CARDOSO, Divina das Dores de Paula; BRITO, Wilia Marta Elsner Diederichsen de. **Vírus entéricos veiculados por água: aspectos microbiológicos e de controle de qualidade da água.** 2005.

UNICEF. **Progress for children: a report card on water and sanitation.** UNICEF, 2006.

VAN HEERDEN, J.; EHLERS, M. M.; GRABOW, W. O. K. **Detection and risk assessment of adenoviruses in swimming pool water.** Journal of Applied Microbiology, 2005, 99.5: 1256-1264.

VIEIRA, Carmen Baur, et al. **Detection of enteric viruses in recreational waters of an urban lagoon in the city of Rio de Janeiro, Brazil.** Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 2012, 107.6: 778-784.

WEIR, Mark H., et al. **Development of a microbial dose response visualization and modelling application for QMRA modelers and educators.** Environmental Modelling & Software, 2017, 88: 74-83.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, et al. **Guidelines on sanitation and health.** 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, et al. **Quantitative microbial risk assessment: application for water safety management.** 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality: recommendations.** World Health Organization, 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for safe recreational water environments: Coastal and fresh waters.** World Health Organization, 2003.

XAGORARAKI, Irene, et al. **Occurrence of human adenoviruses at two recreational beaches of the great lakes.** Applied and Environmental Microbiology, 2007, 73.24: 7874-7881.

## APÊNDICE A

Tabela 10 - Concentrações de rotavírus e adenovírus encontradas por Fongaro (2012)

Mês	Concentração rotavírus (CG/L)	Concentração adenovírus (CG/L)
jun/10	5,84E+05	1,75E+07
jul/10	1,28E+06	2,43E+07
ago/10	1,91E+06	2,47E+07
set/10	2,18E+05	1,70E+07
out/10	0,00E+00	1,40E+07
nov/10	6,14E+05	1,36E+07
dez/10	3,21E+06	5,67E+06
jan/11	6,28E+05	2,68E+07
fev/11	1,02E+06	6,91E+06
mar/11	0,00E+00	6,14E+06
abr/11	6,57E+06	1,63E+07
mai/11	4,25E+06	3,92E+07

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

## APÊNDICE B

Tabela 11: Concentrações de rotavírus na Lagoa do Peri encontradas por Fongaro (2012).

<b>Mês</b>	<b>Centro da Lagoa</b>	<b>Ambiente Preservado</b>	<b>Ambiente Degradado</b>	<b>Captação</b>
jun/10	1,70E+05	2,76E+05	5,23E+05	5,84E+05
jul/10	9,14E+05	6,88E+05	2,71E+05	1,28E+06
ago/10	5,37E+05	3,23E+05	2,50E+07	1,91E+06
set/10	0,00E+00	0,00E+00	4,47E+05	2,18E+05
out/10	0,00E+00	0,00E+00	3,01E+05	0,00E+00
nov/10	0,00E+00	8,91E+05	0,00E+00	6,14E+05
dez/10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,21E+06
jan/11	2,86E+05	1,30E+05	9,67E+05	6,28E+05
fev/11	4,30E+06	1,04E+06	0,00E+00	1,02E+06
mar/11	0,00E+00	0,00E+00	9,96E+05	0,00E+00
abr/11	2,03E+05	0,00E+00	3,43E+05	6,57E+06
mai/11	0,00E+00	0,00E+00	1,20E+05	4,25E+06

Fonte: Elaborada pela autora (2018).



## APÊNDICE C

Tabela 12 - Concentrações de adenovírus na Lagoa do Peri encontradas por Fongaro (2012).

<b>Data coleta</b>	<b>Centro da Lagoa</b>	<b>Ambiente Preservado</b>	<b>Ambiente Degradado</b>	<b>Captação</b>
jun/10	1,02E+07	6,45E+06	2,04E+06	1,75E+07
jul/10	4,02E+07	0,00E+00	3,45E+07	2,43E+07
ago/10	1,96E+07	1,55E+07	1,46E+07	2,47E+07
set/10	1,07E+07	1,44E+07	1,35E+07	1,70E+07
out/10	1,07E+07	1,10E+07	1,94E+07	1,40E+07
nov/10	1,19E+07	0,00E+00	1,51E+07	1,36E+07
dez/10	1,06E+07	8,59E+06	1,05E+07	5,67E+06
jan/11	2,35E+07	1,39E+07	1,05E+07	2,68E+07
fev/11	1,88E+07	3,16E+07	7,82E+06	6,91E+06
mar/11	3,77E+06	1,70E+06	6,58E+06	6,14E+06
abr/11	7,96E+06	7,63E+06	9,77E+06	1,63E+07
mai/11	1,33E+07	3,01E+06	3,04E+06	3,92E+07

Fonte: Elaborada pela autora (2018).