

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Engenharias
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária



Trabalho de Conclusão de Curso

**Avaliação da eficiência do método SODIS na desinfecção da água para
consumo humano em Pelotas – RS**

Natália Golin

Pelotas, 2018

Natália Golin

**Avaliação da eficiência do método SODIS na desinfecção da água para
consumo humano em Pelotas – RS**

Trabalho de conclusão de curso acadêmico
apresentado ao Centro de Engenharias, da
Universidade Federal de Pelotas, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e
Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Müller Vieira

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

G626a Golin, Natália

Avaliação da eficiência do método SODIS na
desinfecção da água para consumo humano em Pelotas –
RS / Natália Golin ; Bruno Müller Vieira, orientador. —
Pelotas, 2018.

46 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Engenharia Ambiental e Sanitária) — Centro de
Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. SODIS. 2. Desinfecção solar. 3. Tratamento de água.
4. Água potável. I. Vieira, Bruno Müller, orient. II. Título.

CDD : 628

Natália Golin

Avaliação da eficiência do método SODIS na desinfecção da água para consumo humano em Pelotas – RS

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 20/07/2018

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr. Bruno Müller Vieira (Orientador), Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas.

.....
Prof^a. M^a. Samanta Tolentino Cecconello, Mestre em Desenvolvimento Territorial e Sistemas Agroindustriais pela Universidade Federal de Pelotas.

.....
Prof^a. Dr^a. Rubia Flores Romani, Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Alice e Rodrigo, por todo apoio oferecido em todos estes anos para que eu pudesse me dedicar inteiramente à graduação. Pelo interesse, motivação constante e por todo amor dedicado a mim.

Ao meu orientador Professor Dr. Bruno Müller Vieira, por todas as sugestões, esclarecimentos e contribuições neste trabalho. Por sempre dedicar-se a Universidade com muita ética e sensatez.

À Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim - UFPel, em especial as técnicas de laboratório Francine e Marília pela oportunidade de realizar este trabalho.

A todos aqueles que estiveram do meu lado contribuindo para a minha formação profissional e para o meu crescimento pessoal, em especial Amanda, Iohana, Mahinã, Anita e Camila.

Obrigada.

Resumo

GOLIN, Natália. **Avaliação da eficiência do método SODIS na desinfecção da água para consumo humano em Pelotas – RS**. 2018. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A água contaminada por microrganismos patogênicos é a causadora de diversas doenças de veiculação hídrica, portanto a sua desinfecção se faz necessária. O SODIS é um método barato e simples de desinfecção da água por meio da radiação solar, podendo ser aplicado em comunidades menos favorecidas em infraestrutura e recursos financeiros. O presente trabalho buscou aplicar no município de Pelotas o método SODIS com diferentes tempos de exposição para dias nublados e ensolarados, afim de determinar o tempo ótimo de exposição para as respectivas condições climáticas. As amostras de água bruta com turbidez menor que 30 NTU, foram expostas à radiação solar em garrafas PET transparentes por um período 6, 7 e 8 horas em dias ensolarados, e por 8, 29 e 32 horas em dias nublados. Após os respectivos tempos de exposição, as amostras de água tiveram suas cargas microbiológicas analisadas pelos parâmetros de Coliformes Totais, *Escherichia coli* e Coliformes Fecais. Os resultados obtidos foram satisfatórios, o método apresentou 100% de eficiência de inativação dos microrganismos analisados, em dias ensolarados a carga microbiológica se mostrou ausente em 8 horas de exposição à energia solar, já em dias nublados o tempo foi de 32 horas, sendo estes os tempos ótimos de exposição à radiação solar para cada condição climática.

Palavras-chave: SODIS; desinfecção solar; tratamento de água; água potável.

Abstract

GOLIN, Natália. **Evaluation of the SODIS method efficiency in the water disinfection for human consumption in Pelotas - RS.** 2018. 46 f. Course Conclusion Paper (TCC). Graduation in Environmental and Sanitary Engineering. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The contaminated by pathogenic microorganisms water causes several waterborne diseases, so its disinfection therefore is necessary. SODIS is a cheap and simple water disinfection method that uses solar radiation, and it can be applied in disadvantaged communities. The present work aimed to apply SODIS with different exposure times both on cloudy and sunny days in order to ascertain the best time of exposure in each weather condition. Raw water samples with turbidity lower than 30 NTU were exposed to solar radiation in PET transparent bottles for 6, 7 and 8 hours on sunny days, and for 8, 29 and 32 hours on cloudy days. After every exposure time, the microbiological quality of the water samples was analyzed concerning total coliforms, *Escherichia coli* and fecal coliforms. The work's results were satisfactory and the method had 100% efficiency concerning the analyzed microorganisms' inactivation. On sunny days the suitable disinfection level occur in 8 hours of solar energy exposure whereas on cloudy days that time was 32 hours, being these the best exposure time in each weather condition.

Keywords: SODIS; solar disinfection, water treatment; drinking water.

Lista de Figuras

Figura 1	Gráfico das formas de Abastecimento de Água dos Domicílios do RS	17
Figura 2	Etapas do método SODIS	26
Figura 3	Água Bruta na ETA	27
Figura 4	Garrafa exposta à radiação solar	28
Figura 5	Etapas da condução do experimento	29
Figura 6	Ambiente da Análise Microbiológica	31

Lista de Tabelas

Tabela 1	Risco da presença de E. coli para saúde humana	20
Tabela 2	Dados Meteorológicos em Pelotas nos dias dos experimentos	33
Tabela 3	Dados de Turbidez das amostras de água	34
Tabela 4	NMP em 100 mL do experimento SODIS em dias Ensolarados	34
Tabela 5	Média dos Resultados Microbiológicos em dias Ensolarados	35
Tabela 6	Média da Eficiência de Inativação dos Microrganismos (%) em dias Ensolarados	36
Tabela 7	NMP em 100 mL do Experimento SODIS em dias Nublados	38
Tabela 8	Média dos Resultados Microbiológicos em dias Nublados	38
Tabela 9	Média da Eficiência de Inativação dos Microrganismos (%) em dias Nublados	39

Lista de Abreviaturas e Siglas

ETA	Estação de Tratamento de Água
NMP	Número mais Provável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PET	Polietileno tereftalato
SODIS	Desinfecção Solar
SOPAS	Pasteurização Solar
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
WHO	Organização Mundial da Saúde

Sumário

1. Introdução	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
2. Revisão da Literatura	15
2.1 Abastecimento de Água no Mundo.....	15
2.1.1 Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e a Qualidade de Água	16
2.2 Abastecimento de Água no Rio Grande do Sul	17
2.3 Abastecimento de Água em Pelotas.....	18
2.4 Qualidade da Água e Padrões de Potabilidade	18
2.5 Transmissão de Patogenias pela Água	19
2.6 Desinfecção da Água	20
2.7 Método SODIS	21
2.7.1 Efeitos da Radiação UV-A e da Temperatura.....	22
2.7.2 Efeitos do SODIS em Microrganismos Patogênicos	23
2.7.3 Tempo e Clima	24
2.7.4 Turbidez	24
2.7.5 Material e Forma dos Recipientes.....	25
2.7.6 Etapas de Aplicação do SODIS	26
3. Metodologia.....	27
3.1 Local de Estudo.....	27
3.2 Instalação experimental.....	28
3.3 Experimento.....	28
3.3.1 Experimento em dias ensolarados	29
3.3.2 Experimento em dias nublados	30
3.4 Análises Microbiológicas	30
3.4.1 Coliformes Totais e Escherichia coli	31
3.4.2 Coliformes Fecais	32
3.5 Eficiência de Inativação de Microrganismos	32
4. Resultados e Discussão.....	33
4.1 Dias ensolarados.....	34

4.2 Dias nublados	37
4.3 Portaria MS nº 2.914/11	40
5. Considerações Finais	41
Referências	42

1. Introdução

Água em quantidade suficiente e de boa qualidade é essencial para a vida, porém, conforme apresentado no relatório da Organização Mundial da Saúde - OMS e do Fundo das Nações Unidas para a Infância – UNICEF (2017), cerca de três em cada dez pessoas não têm acesso a água potável em casa. Ou seja, mais de 2 bilhões de pessoas não possuem água gerenciada de forma segura, e destas, 159 milhões consomem água não tratada que provém de fontes superficiais, como córregos ou lagos.

O consumo de água de boa qualidade é extremamente importante para manter a sadia qualidade de vida da população, protegendo contra doenças de veiculação hídrica. Tais doenças são ocasionadas majoritariamente por microrganismos patogênicos de origem entérica, os quais são excretados nas fezes humanas ou animais e posteriormente são ingeridos pelo consumo da água ou alimento contaminado com as fezes (GRABOW, 1996). Anualmente 1,5 milhão de crianças morrem em razão de diarreia, sendo que 88% destas mortes são atribuídas à má qualidade da água, saneamento inadequado e falta de higiene (UNICEF; WHO, 2009).

A importância dos serviços de abastecimento público de água está intimamente ligada à prevenção das doenças de veiculação hídrica e à redução das taxas de mortalidade relacionadas ao consumo de água não potável. Porém, implantar Estações de Tratamento de Água (ETA) e sistemas que atendam a toda população é bastante complexo e caro, tornando o fornecimento de água tratada inexistente e precário em muitas localidades. Por este motivo, a população que não é atendida por estes serviços busca soluções alternativas de abastecimento de água, que incluem a captação de água em poços, nascentes, coleta de água pluvial, entre outras (OLIVEIRA, 2014).

Por não receberem um tratamento dentro de normas definidas por órgãos de vigilância sanitária ou de saúde, as soluções alternativas de abastecimento de água são mais passíveis à contaminação que os sistemas de abastecimento público de água, apresentando maior risco à saúde humana (BRASIL, 2016).

Tal fato torna evidente a importância de opções alternativas acessíveis e eficientes para tratar a água destas localidades. Uma opção seria a desinfecção da

água utilizando a energia solar, este método é conhecido como SODIS (Solar Water Disinfection). O procedimento basicamente consiste em armazenar a água a ser tratada em garrafas de Polietileno tereftalato (PET) transparentes e expô-las à radiação solar por um determinado período de tempo, até que seja feita a inativação dos microrganismos patogênicos (OLIVEIRA, 2014).

O SODIS é um processo simples de desinfecção que pode ser utilizado para melhorar a qualidade microbiológica da água de consumo. O método usa a radiação solar UV-A para desativar microrganismos patogênicos causadores das doenças transmitidas pela água contaminada. Segundo Wegelin (1994), este método inativa microrganismos como Bactérias: *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella*; Vírus: *rotavírus*, *vírus da encefalomiocardite* e *oocistos de Cryptosporidium SP*.

Sua utilização em regiões menos favorecidas em infraestrutura e recursos financeiros é viável, pois a desinfecção é realizada através dos raios solares, uma fonte natural e disponível a todos, não há necessidade da dosagem de produtos químicos e pode ser realizada por meio da utilização de garrafas PET, que é um material descartado comercialmente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência do método SODIS na desinfecção da água para consumo humano no município de Pelotas – RS.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o experimento do SODIS para diferentes tempos de exposição em dias ensolarados.
- Realizar o experimento do SODIS para diferentes tempos de exposição em dias nublados.
- Determinar o tempo ótimo de exposição da água ao sol pelo método SODIS para o município de Pelotas em dias nublados.
- Determinar o tempo ótimo de exposição da água ao sol pelo método SODIS para o município de Pelotas em dias ensolarados.

2. Revisão da Literatura

2.1 Abastecimento de Água no Mundo

Segundos dados da OMS e da UNICEF (2017) mais de 2 bilhões de pessoas não possuem água gerenciada de forma segura, e destas, 159 milhões consomem água não tratada. No Brasil, dos 57.324.167 domicílios, 47.494.025 (82,85%.) estão ligados a rede geral de abastecimento de água, ou seja, cerca de 9.830.142 residências ainda não possuem acesso a rede geral (IBGE, 2010). Devido ao rápido crescimento da população mundial, é esperado que a demanda por água cresça em quase um terço até 2050 (ONU, 2018).

A falta de água de boa qualidade é responsável por doenças de veiculação hídrica, como diarreia, cólera, febre tifoide, hepatite A, amebíase, disenteria bacilar e outras doenças diarreicas. Tais doenças são causadoras de altas taxas de mortalidade, atingindo majoritariamente as crianças menores de 5 anos, com cerca de 17 mil mortes por dia no mundo. Além do alto índice de mortalidade infantil, a diarreia afeta o desenvolvimento físico de inúmeras crianças nos países em desenvolvimento. As frequentes diarreias favorecem quadros de desnutrição, e ao mesmo tempo a desnutrição eleva a probabilidade das crianças morrerem de doenças infecciosas, ou uma doença respiratória aguda. Estimativas demonstram que a desnutrição é a causa de metade de todas as mortes que acontecem entre crianças dos países em desenvolvimento (UNICEF, 2009; RICE, et al 2000). Estes dados demonstram a importância de um sistema que melhore a qualidade da água, de modo a promover a prevenção destas doenças e reduzir o índice de mortalidade relacionado ao consumo de água não potável.

Desde os anos 90, a poluição das águas vem piorando em quase todos os rios da América Latina, África e Ásia. Estudos informam que a qualidade da água irá se deteriorar ainda mais nas próximas décadas, o que aumentará ameaças à saúde humana, ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável. Globalmente, o maior problema relacionado à qualidade da água é a carga de nutrientes a qual é frequentemente associada carga de patógenos. Em pessoas mais velhas nos países de baixa e média renda são esperados aumentos na exposição a poluentes,

principalmente devido a um maior crescimento demográfico e econômico e à falta de sistemas de gestão de águas residuais (ONU, 2018).

O mau gerenciamento de atividades ligadas ao saneamento originou a contaminação de fontes de água por contaminantes patogênicos, causando doenças (UNEP, 2016). A gestão ineficiente de efluentes municipais e industriais é outra importante fonte de poluição da água (UNESCO, 2015), especialmente nos países de baixa renda, onde apenas 8% dos efluentes passam por tratamento de qualquer tipo (SATO et al., 2013).

A degradação da qualidade da água é refletida diretamente sobre riscos ambientais, sociais e econômicos, que afetam a saúde humana, limitam a produção de alimentos, reduzem a funcionalidade dos ecossistemas e impedem o crescimento econômico (UNESCO, 2015). Portanto, a qualidade da água é fundamental para o conceito de desenvolvimento sustentável, que vem sendo buscado através da Agenda 2030 para Desenvolvimento Sustentável.

Muitas vezes faltam dados específicos sobre o alcance da poluição e degradação da qualidade da água, o que amplifica ainda mais os desafios relacionados à gestão da qualidade da água (UN-WATER, 2016).

2.1.1 Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e a Qualidade de Água

Em 2015, diversos países adotaram uma nova agenda de desenvolvimento sustentável, o que resultou na formação dos novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que se baseiam nos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), incluindo novos temas. Os ODS são fomentadores universais para ações contra a pobreza, proteção do planeta e para garantir que todas as pessoas tenham paz e prosperidade. Foram construídos 17 Objetivos interconectados que visam alcançar o Desenvolvimento Sustentável do mundo (BRASIL, 2017).

O Objetivo 6 da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável é relacionado com os temas de Água Potável e Saneamento. Este objetivo visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Para atingir tal objetivo foram estipuladas algumas metas, dentre as quais constam as citadas a seguir:

6.1 Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos.

[...]

6.a Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso

6.b Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento (ONU, 2015, p. 22).

2.2 Abastecimento de Água no Rio Grande do Sul

Conforme dados do IBGE (2017), o número estimado de habitantes no Rio Grande do Sul (RS) é de 11.322.895. Dos 3.599.604 domicílios do RS, 3.071.715 (85,33%) estão ligados a rede de distribuição de água. Entre os 496 municípios do estado, 178 apresentam percentuais de atendimento igual ou superior a do Estado (IBGE, 2010). Mesmo que as porcentagens pareçam elevadas, cerca de 527.889 residências ainda não possuem acesso à rede geral de distribuição de água, tendo de buscar por soluções alternativas para o abastecimento de água, fato que torna esta população vulnerável à doenças de veiculação hídrica. As fontes alternativas utilizadas podem ser poços, nascentes, rios, açudes, igarapés. A figura abaixo apresenta as porcentagens conforme a forma de abastecimento de água nas residências do estado.

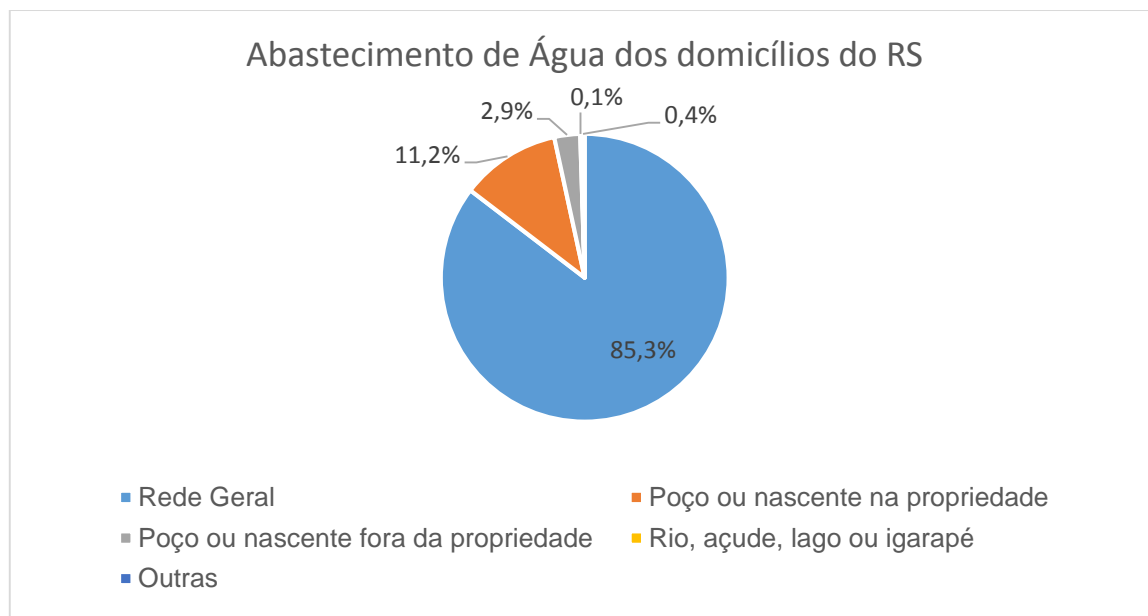


Figura 1 – Gráfico das formas de Abastecimento de Água dos Domicílios do RS

Fonte: Adaptado de IBGE, 2010

2.3 Abastecimento de Água em Pelotas

Dados apresentados pelo IBGE (2010) demonstram que a população de Pelotas é de aproximadamente 328.275 habitantes, com um total de 113.951 domicílios, destes, apenas 107.225 estão ligados com a rede de abastecimento municipal de água, ou seja, 5,9% dos domicílios ainda não são atendidos por este serviço, situação que os faz buscar por outras alternativas de abastecimento que estão descritas abaixo.

- Poço ou nascente na propriedade: 4.648 domicílios;
- Poço ou nascente fora da propriedade: 1.350 domicílios;
- Água da chuva armazenada em cisterna: 10 domicílios;
- Água da chuva armazenada de outra forma: 5 domicílios;
- Carro-pipa: 18 domicílios;
- Rio, açude, lago ou igarapé: 15 domicílios;
- Outra forma alternativa de abastecimento: 680 domicílios.

Quanto aos casos de doenças que podem ser relacionadas à água na cidade, cerca de 0,01% da população de Pelotas é internada devido a casos de diarreia (IBGE, 2016).

2.4 Qualidade da Água e Padrões de Potabilidade

A Qualidade da Água está relacionada com suas características mensuráveis de natureza física, química e biológica. Tais características quando mantidas dentro de limites estabelecidos, viabilizam determinado uso. Estes limites constituem os critérios, normas e padrões legais para seu uso (SOUZA, 2005). Conforme a finalidade de utilização da água os padrões de qualidade necessários para a mesma poderão sofrer alterações. Estes padrões devem ser embasados em suporte legal, por meio de legislações que determinem os requisitos em função do uso que está previsto para a água. Existem diversos padrões mundiais, dos quais os mais conhecidos são: Padrão Internacional da Organização Mundial da Saúde (OMS), o qual é o guia da maioria dos outros padrões nacionais; Padrão Americano – United States

Environmental Protection Agency (USEPA) e Padrão da Comunidade Europeia (80/778/EEC). No Brasil, estes Padrões são definidos pela Portaria MS nº 2.914 de 12 de Dezembro de 2011 do Ministério da Saúde (TELLES; COSTA, 2007).

As águas que serão utilizadas para consumo humano devem ser distribuídas à população de modo a não oferecer risco de doenças e com condições organolépticas adequadas (SILVA, 2004). Conforme a Portaria MS nº 2.914 a definição de água potável é: “Água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão e não ofereçam riscos à saúde” (BRASIL, 2011). A Portaria MS nº 2.914/2011 além de dispor sobre o padrão de potabilidade da água para consumo humano, também dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da mesma. Conforme consta no Capítulo 4 do seu anexo, a água para consumo humano, no que se refere a microrganismos, deve conter ausência de *Coliformes totais* e de *E. coli* em 100 ml de amostra.

2.5 Transmissão de Patogenias pela Água

As patogenias transmitidas pela água ou doenças de veiculação hídrica são pertencentes aos grupos de bactérias, vírus e parasitas. Mesmo que os vírus não sejam descobertos com frequência na água ou no hospedeiro, eles podem ser a maior parte dos agentes causadores, seguidos por parasitas e bactérias (EAWAG, 2002).

As bactérias *Vibrio cholera*, *Shigella*, *Salmonella* e diferentes agentes patógenos provenientes do *E. coli* são os mais relevantes agentes transmitidos por via hídrica. As doenças gastrointestinais causadas por estas bactérias podem ser sérias, requerendo tratamento. Em países em desenvolvimento as desidratações resultantes de diarreias agudas são frequentes entre crianças abaixo de 5 anos. As epidemias de cólera tem como principal causa a contaminação da água com vibrião colérico. Então, o tratamento da água é a medida mais importante para a prevenção de tais epidemias (ISE et al, 1994).

Mesmo que helmintos e protozoários não sejam os maiores causadores de diarreia aguda, os mesmos representam um grupo importante de agentes patogênicos. Infecções com protozoários podem causar problemas de digestão crônicos que podem levar a desnutrição. As crianças subnutridas são mais facilmente atingidas por infecções. *Giardia spp* e *Cryptosporidium spp.* são os principais protozoários transmitidos pela água. Estes agentes patogênicos têm uma fase cística,

a qual é muito resistente a influências ambientais, tal situação permite que eles sobrevivam por muito tempo fora de qualquer anfitrião. Doenças graves podem ser causadas pela ingestão do cisto, portanto, infecções silenciosas são muito comuns e indicam a propagação destes agentes (MACIEL, 2014).

Tabela 1- Risco da presença de *E. coli* para saúde humana

Risco da presença de <i>E. coli</i> para saúde humana	
Nº de coliformes por 100 ml	Observações
< 1	Risco baixo
1 - 10	Risco intermediário
10 - 100	Risco alto
> 100	Risco muito alto

Fonte: Adaptado de WHO, 2011.

O Guia para Qualidade de Água Potável da WHO (2011), faz uma relação entre a presença de *E. coli* em análises de água com o risco que esta oferece a saúde humana quanto às doenças de veiculação hídrica, a tabela 1 apresenta esta relação.

2.6 Desinfecção da Água

O objetivo da desinfecção da água é destruir os microrganismos patogênicos e também os microrganismos indicadores presentes. Sua inativação é feita por agentes físicos e químicos. A desinfecção é uma das etapas do tratamento de potabilização da água (LIBÂNO, 2016).

Os agentes químicos são compostos ou elementos que tem potencial de oxidação, sendo que os mais utilizados são cloro e seus compostos, dióxido de cloro e ozônio. Já os agentes físicos estão relacionados à energia da radiação, sendo os principais a radiação ultravioleta, radiação solar e a fervura (OLIVEIRA, 2014).

De acordo com STANIER *et al* (1963) os agentes desinfetantes podem agir por meio de três mecanismos diferentes:

- Destruição ou danificação da organização estrutural da célula por meio da parede celular. Isto causa disfunções na estrutura devido a combinações com

ácidos ribonucleicos do núcleo ou do citoplasma. Este processo é comum na utilização do Cloro para desinfecção, no qual os derivados do cloro inativam bactérias.

- Inativação das enzimas devido à interferência no nível energético do metabolismo.
- Interferência na biossíntese e no crescimento por meio da combinação com síntese de proteínas, enzimas e ácidos nucleicos. Este processo ocorre na desinfecção com compostos clorados atuando em vírus e também na desinfecção por meio de radiações ultravioleta e solar.

Os compostos de cloro são os desinfetantes mais comuns, e destes, o mais fácil de ser adquirido, devido a oferta e preço, é a água sanitária a base de hipoclorito de sódio ou com teor de cloro ativo entre 2 e 2,5%. Porém, um dos problemas na utilização destes desinfetantes é que sua utilização em uma água com presença de substâncias orgânicas, como ácidos húmicos e fúlvicos, leva a formação de subprodutos tóxicos, como os trialometanos (THM's), que são cancerígenos (AWWA, 1964).

2.7 Método SODIS

A primeira pesquisa sobre o método SODIS foi iniciada por Aftin Acra na Universidade Americana de Beirute, e posteriormente foi aprimorada pelo instituto EAWAG, na Suíça. Estas pesquisas verificaram a eficiência do método, e também a aceitação sociocultural do mesmo, obtendo um índice de aprovação de 84% (EAWAG, 2002).

O SODIS é um procedimento economicamente viável para o tratamento de água em comunidades pobres e rurais que não possuem acesso à água potável. Ele consiste na remoção de microrganismos patógenos da água, colocando-a em garrafas tipo PET transparentes e expondo-as à luz solar direta durante um tempo aproximado de 6 horas, aquecendo a água a 50°C (PATERNIANI, 2005).

2.7.1 Efeitos da Radiação UV-A e da Temperatura

A radiação solar é uma fonte renovável, limpa e abundante de energia, a qual pode ser aproveitada em diferentes níveis em todo o mundo. Os níveis são variáveis de acordo com a localização geográfica: quanto mais perto do equador, mais energia solar pode ser potencialmente captada. A luz solar emite radiações solares ultravioleta e infravermelha, processo que inativa microrganismos, tornando-se uma alternativa de desinfecção da água (OLIVEIRA, 2014).

No método SODIS, tem-se a ação da radiação solar e também o aumento da temperatura da água para a promoção da inativação de microrganismos. A combinação da radiação UV-A e do calor, causa um efeito conjunto que aumenta a eficiência do processo. Neste processo, a célula é submetida à radiação ultravioleta que adentra a parede celular. A energia dos fótons da radiação é absorvida pelas proteínas e pelo DNA da célula, gerando uma alteração química no DNA devido ao dano à estrutura proteica. Sendo assim, quando o DNA sofre a divisão celular, a célula fica incapaz de se reproduzir (RODRIGUES, 2011).

A radiação ultravioleta não pode ser vista pelo olho humano, porém é sentida por meio de calor produzido pela luz de comprimento de onda acima de 700nm. A radiação infravermelha absorvida pela água é responsável pelo seu aquecimento. Os microrganismos são sensíveis ao calor, portanto ferver a água tem o mesmo efeito que aquece-la a 50-60°C durante uma hora (EAWAG, 2016).

Para que sejam reduzidos 3-log de coliformes fecais é necessário que a água esteja a uma temperatura de 30°C, e com fluência de 555 Wh/m² (350 a 450nm – dose de radiação solar correspondente a 6 horas de meia-latidade do sol de verão de meio-dia). Em condições inferiores às acima citadas, só o efeito da radiação UV-A está presente. Porém, a redução da taxa de coliformes fecais expostos a luz solar aumenta significativamente quando a radiação UV-A e o aumento de temperatura da água estão presentes. A uma temperatura da água de 50°C, acontece um efeito de combinação da radiação UV-A e temperatura: uma redução de 3-log de coliformes fecais requer apenas uma fluência de 140 Wh/m², o que é equivalente a um tempo de exposição de apenas uma hora (WEGELIN, 1994).

2.7.2 Efeitos do SODIS em Microrganismos Patogênicos

Segundo pesquisas, o método SODIS inativa microrganismos como Bactérias: *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Vibrio cholerae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhii*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella paratyphi*; Vírus: *bacteriófago f2*, *rotavírus*, *vírus da encefalomiocardite*. Fungos: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Candida*, *Geotrichum*. Protozoário: *Giardia spp.*, e oocistos de *Cryptosporidium SP* (WEGELIN; ACRA, 1994, 1984).

Para avaliar a eficiência do SODIS na remoção de patógenos da água, é necessário que sejam feitas análises de indicadores que realmente possam comprovar esta eficiência. Alguns microrganismos patogênicos podem ser detectados de maneira direta, porém, requerem métodos analíticos caros e complicados. Por este motivo, ao invés de avaliar diretamente os agentes patogênicos, são utilizados organismos indicadores da poluição fecal da água. Para selecionar estes organismos indicadores, eles devem obedecer os seguintes critérios:

- Estar presente em número alto nas fezes humanas;
- Ser detectável através de métodos simples;
- Não se desenvolver em águas naturais;
- Ser persistente na água e poder ser removido pelo método de tratamento de água semelhante ao agente patogênico transmitido através da água.

Muitos destes critérios são preenchidos pelos Coliformes fecais e pela *Escherichia coli*, os quais são bons indicadores para avaliar a contaminação por fezes da água (WHO, 2011).

Em estudos sobre o recrescimento bacteriano de *Escherichia coli* no método SODIS, as amostras dos ensaios com tempo de exposição de 1 e 2 horas ao tratamento térmico e radiação, não tiveram a total inativação das amostras e 24 horas após a retirada das amostras do sol, apresentaram valores de concentração de coliformes totais e *Escherichia coli* tanto superiores como inferiores àqueles apresentados no momento final do SODIS. Tal fato indica que pode ocorrer um recrescimento significativo de microrganismos após o processo SODIS, caso o tempo de exposição e a temperatura não forem adequadas (SILVA, 2004).

As concentrações de coliformes fecais estão, majoritariamente, em relação direta com as de *Escherichia coli*. Por este motivo, sua utilização para avaliar a qualidade da água é aceita. Como os coliformes fecais são facilmente detectados, estes podem também desempenhar a função secundária de indicadores da eficácia dos processos de tratamento da água para eliminar as bactérias fecais (RODRIGUES, 2011).

2.7.3 Tempo e Clima

A eficiência do processo do SODIS tem grande relação com a quantidade de luz solar disponível. A radiação solar é distribuída de modo desigual por todo o mundo e varia em intensidade de um local geográfico para outro dependendo da estação, latitude e do tempo do dia. As regiões mais adequadas ao SODIS ficam situadas entre a latitude 15°N e 35°N e 15°S e 35°S. A segunda região mais favorável situa-se entre o equador e latitude 15°N e 15°S (EAWAG, 2002).

A radiação UV-A sofre variações diárias e sazonais. A variação sazonal depende da latitude e é responsável pelo clima da região. Antes da implementação do SODIS em um local é necessário verificar as intensidades sazonais de radiação. Para que o SODIS tenha a eficiência adequada, é necessária uma intensidade de radiação solar total de pelo menos 500 W/m² durante aproximadamente 6 horas. Como a intensidade de radiação solar também está sujeita a variações diárias, com tempo nublado, menos energia de radiação está disponível, portanto durante estes dias a intensidade da radiação UV-A é reduzida a um terço da intensidade registrada durante um dia sem nuvens. Sendo assim, as garrafas com água do SODIS devem ser expostas durante dois dias consecutivos para alcançarem a dose de radiação exigida e assegurar a inativação completa do agente patogênico (SOMMER, 1997).

2.7.4 Turbidez

De acordo com Sommer (1997), as partículas que ficam suspensas na água diminuem a penetração de radiação solar e protegem os microrganismos de serem irradiados, tornando o SODIS menos eficiente. O método requer água relativamente clara, com turbidez menor que 30 NTU (Unidade de Turvação Nephelometrica). Se a turvação da água for maior que 30 NTU, esta precisará de um pré-tratamento antes

de ser exposta. As partículas maiores e sólidos podem ser eliminados pelo armazenamento da água por um dia, deixando as partículas decantarem. Materiais sólidos também podem ser separados por meio da filtração, usando uma camada de areia ou um pano.

2.7.5 Material e Forma dos Recipientes

Devido à grande disponibilidade de garrafas tipo PET nos produtos de países de baixa e média renda, o método SODIS foi especificamente projetado e testado para este tipo de recipiente. Recomendam-se garrafas com volume máximo de 2 L, com uma profundidade de penetração máxima de 10 cm. Recipientes com materiais que não sejam tipo PET podem ser usados na desinfecção solar, desde que tenham alta transmitância de radiação UV e não liberem para água substâncias potencialmente tóxicas (EAWAG, 2016).

O envelhecimento das garrafas plásticas causam uma redução na transmissão de UV, fato que pode resultar em uma redução de eficiência na inativação dos microrganismos. As perdas de transmissão UV podem ocorrer devido a arranhões nas garrafas ou devido à formação de fotoprodutos. As garrafas com grandes arranhões e velhas devem ser substituídas (WEGELIN, 2001).

Por possuir menos aditivos que outros tipos de plástico, o PET tem menor potencial de contaminar a água. Os recipientes de PET possuem estabilizantes que reduzem a degradação pela exposição aos raios UV, não sofrendo alterações químicas quando testado em laboratório por um período de 1100 horas de exposição (SILVA, 2004). Outro estudo demonstra que os aditivos são moléculas grandes que dificilmente migram pelo material PET para a água. Testes laboratoriais demonstraram que os fotoprodutos são gerados nas superfícies externas das garrafas e que nenhuma migração de fotoprodutos ou aditivos foram encontrados dentro da água (WEGELIN, 2001).

2.7.6 Etapas de Aplicação do SODIS

As etapas de funcionamento do método apresentadas pelo Guia de Aplicação do SODIS da EAWAG e SANDEC (2002) estão descritas a seguir e ilustradas na Figura 2.

- Lavar as garrafas PET transparentes;
- Encher completamente a garrafa com a água a ser tratada;
- Colocar a garrafa sobre o telhado;
- Deixar a garrafa da manhã até o fim da tarde por no mínimo 6 horas.
- Retirar a água do sol e esperar esfriar antes de consumir.



Figura 2- Etapas do método SODIS

Fonte: EAWAG; SANDEC, 2016.

3. Metodologia

3.1 Local de Estudo

Pelotas está localizado à 31° 37' de Latitude Sul e 52° 07' de Longitude Oeste, estando a uma altitude de 3m, possuindo uma insolação total anual de 2328 horas e uma média anual de radiação solar de 132 W/m² (WREGGE, 2012).

As amostras de água utilizadas no presente estudo foram coletadas na Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Pelotas, Campus Capão do Leão, antes de passar pela etapa de tratamento, chamada de água bruta, conforme apresentado na figura 3. A água que chega a ETA provém do Arroio Padre Doutor.



Figura 3- Água Bruta na ETA

Fonte: Autora

A área experimental selecionada para exposição das amostras à radiação solar está localizada na Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim, da Universidade Federal de Pelotas. A área foi escolhida por não ter vegetação de grande porte nem

edificações que sombreiam o experimento. As análises da água foram realizadas no Laboratório de Águas e Efluentes da própria agência.

3.2 Instalação experimental

Para serem expostas ao sol, as amostras de água foram acondicionadas em garrafas PET tipo 1, transparentes, com um volume de 2 L, provenientes do uso para refrigerantes.

Conforme apresentado na figura 4, as garrafas ficaram expostas à radiação solar na superfície de um telhado inclinado com telha ondulada de Amianto.



Figura 4- Garrafa exposta à radiação solar

Fonte: Autora

3.3 Experimento

As amostras de águas submetidas à desinfecção pelo método SODIS eram coletadas com um galão na ETA e se apresentavam com turbidez abaixo de 30 NTU eram armazenadas no refrigerador até o dia de serem expostas ao sol.

Para iniciar os experimentos a água armazenada era previamente retirada do refrigerador para que ficasse em temperatura ambiente. Após este período era feita a homogeneização da água por meio da agitação do galão e posteriormente ela era distribuída em 4 garrafas previamente higienizadas, denominadas T0, T1, T2, T3.

Foram realizadas 3 baterias de ensaios em diferentes dias ensolarados e 3 baterias em diferentes dias nublados, para que assim pudesse ser determinado o melhor tempo de exposição para cada condição climática. As etapas de condução do experimento estão apresentadas na figura 5.

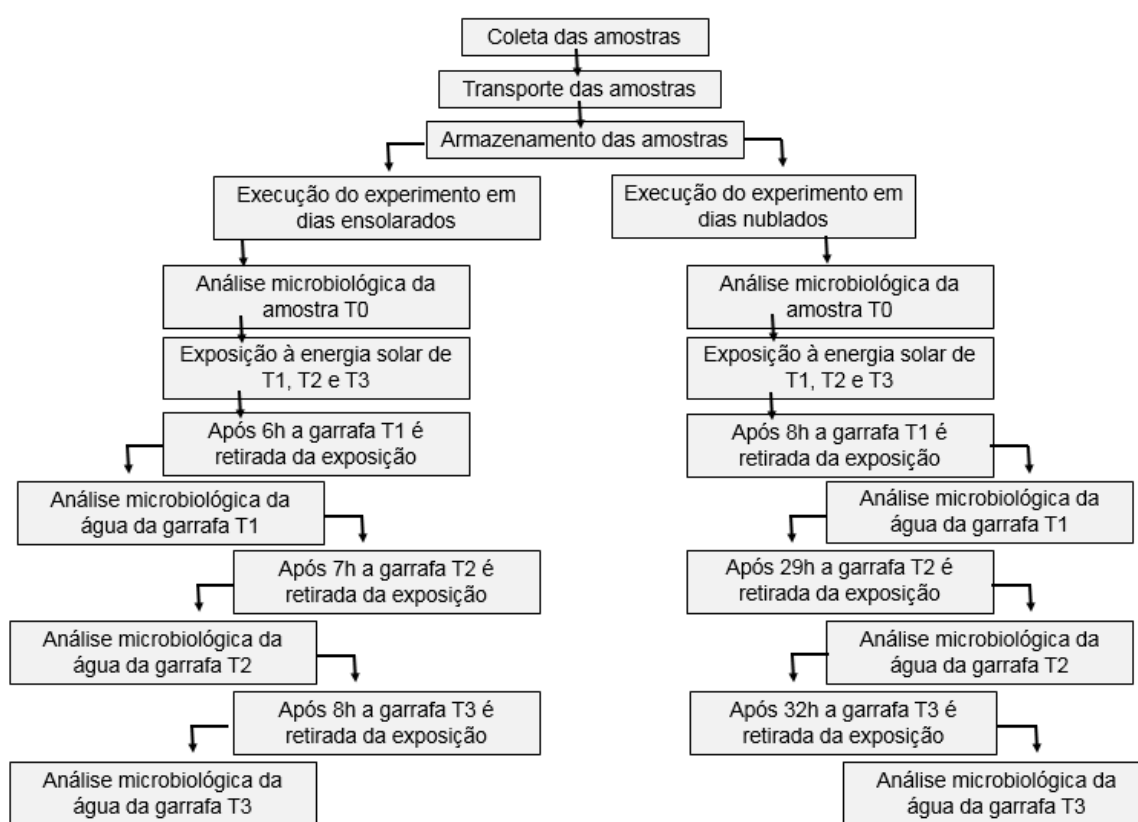


Figura 5- Etapas da condução do experimento

Fonte: Autora

3.3.1 Experimento em dias ensolarados

Os experimentos em dias ensolarados foram realizados nos dias 15 de fevereiro, 05 de abril e 09 de abril de 2018.

A garrafa T0 era instantaneamente analisada, não sendo exposta à radiação solar, afim de analisar as condições microbiológicas iniciais da água, antes da mesma ser submetida à desinfecção solar.

As garrafas T1, T2 e T3 foram expostas ao sol por 6h, 7h e 8h respectivamente, entre as 9:00 e 17:00 horas. Após o término do período de tempo determinado, a garrafa era retirada do sol e a análise para avaliar as condições microbiológicas da água era feita imediatamente.

3.3.2 Experimento em dias nublados

Os experimentos em dias nublados foram realizados nos dias 20 de fevereiro, 21 de fevereiro e 27 de fevereiro de 2018.

A garrafa T0 não era submetida ao SODIS e sua água era instantaneamente analisada, para verificar as condições microbiológicas iniciais da água, antes da mesma ser submetida à desinfecção solar.

Devido a redução da passagem da radiação UV-A em dias nublados, as garrafas ficaram expostas à radiação solar por mais tempo. Sendo o tempo de exposição de T1 de 8h, T2 de 29h e T3 de 32h. Após cada período de tempo, a respectiva garrafa era retirada do sol e a análise microbiológica da água era feita.

3.4 Análises Microbiológicas

Adotou-se uma metodologia de análises microbiológicas das amostras conforme “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (APHA, AWWA e WEF, 2005), sendo o método de tubos múltiplos o utilizado para determinação de Coliformes Totais, Coliformes Fecais e *Escherichia coli*. Por meio deste método é quantificado nas amostras de água o Número mais Provável (NMP) dos microrganismos citados.

Para execução das análises o ambiente de trabalho era limpo com álcool 70° GL, e sempre realizadas ao redor do fogo para evitar contaminações, conforme pode ser verificado na figura 6.



Figura 6- Ambiente da Análise Microbiológica

Fonte: Autora

3.4.1 Coliformes Totais e *Escherichia coli*

Os tubos receberam previamente o Meio de Cultural Fluorocult e posteriormente eram inoculados com diferentes volumes de amostras de água. Aonde 5 tubos receberam 10ml de amostra, outros 5 tubos receberam 1ml e outros 5 receberam 0,1ml. Após o processo de inoculação, os tubos eram levados à estufa por 24h a uma temperatura de $35,0 \pm 2^\circ\text{C}$.

Após o período de incubação a estufa, a presença de Coliformes Totais era verificada em tubos que apresentaram a coloração verde esmeralda. Para detectar a presença de *Escherichia coli*, os tubos eram colocados em frente a uma Luz Ultravioleta, os que apresentavam fluorescência continham a bactéria.

Para quantificação dos Coliformes Totais e *Escherichia coli* por meio do NMP, a disposição dos tubos com cor verde esmeralda ou fluorescência era comparada com a tabela disponibilizada pelo “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, AWWA e WEF, 2005).

3.4.2 Coliformes Fecais

Os tubos de ensaios foram previamente preparados com tubos de duran e Caldo Lactosado. Posteriormente foi adicionado diferentes volumes da amostra de água nos respectivos tubos. Sendo que, 5 tubos receberam 10ml de amostra, outros 5 tubos receberam 1ml e outros 5 receberam 0,1ml.

Com os tubos já inoculados, os mesmos foram colocados na pré-incubação em estufa por 3h a uma temperatura de $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Após este período foram colocados na incubação por 21 h a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em banho maria.

Para determinação da presença ou ausência dos coliformes fecais, era verificado se houve ou não a formação de gás no tubo de duran após o período de incubação. Se havia formação de bolhas nos tubos, a presença dos coliformes era detectada.

Para quantificação dos coliformes fecais por meio do NMP, a disposição dos tubos com presença de bolhas era comparada com a tabela disponibilizada pelo “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, AWWA e WEF, 2005).

3.5 Eficiência de Inativação de Microrganismos

Para verificar a eficiência de inativação de microrganismos dos diferentes tempos de exposição, é utilizada a Equação (1), apresentada abaixo.

$$E = \frac{NMP_{\text{final}} - NMP_{\text{inicial}}}{NMP_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

E = Eficiência de Inativação de Microrganismos (%)

NMP_{final} = Número Mais Provável das amostras T0

NMP_{inicial} = Número Mais Provável da respetiva amostra (T1 ou T2 ou T3)

4. Resultados e Discussão

O local de realização do experimento foi no município de Pelotas que está localizado à 31° 37' de Latitude Sul, possuindo uma insolação total anual de 2328 horas e uma média anual de radiação solar de 132 W/m² (WREGGE, 2012). Assim sendo, o local está entre latitude de 15°S e 35°S, aonde ficam as regiões mais adequadas para aplicação do SODIS (EAWAG, 2002).

As condições experimentais, relacionadas ao clima, foram determinadas pela predominância ou não de nuvens no céu. Pois, segundo Sommer (1997), em dias com tempo nublado, menos energia de radiação está disponível, e nestes dias as garrafas com água do SODIS devem ser expostas durante dois dias consecutivos para alcançarem a dose de radiação exigida e assegurar a inativação completa do agente patogênico. Já em dias ensolarados, para que o SODIS tenha a eficiência adequada, é necessária uma intensidade de radiação solar total de pelo menos 500 W/m² durante aproximadamente 6 horas. Devido ao fato de Pelotas possuir uma média radiação solar de 132 W/m², a qual é menor que a recomendada, o tempo de exposição variou de 6 à 8 horas.

A tabela 2 apresenta os dados meteorológicos de Pelotas nos dias em que foram realizados os experimentos do método SODIS.

Tabela 2- Dados Meteorológicos em Pelotas nos dias dos experimentos

Data	Condição Climática	Temperatura média (°C)	Umidade Relativa (%)	Radiação Solar (W/m²)
15/fev	Ensolarado	21,3	77,8	330,19
20/fev	Nublado	23,9	88,3	120,04
21/fev	Nublado	23,3	86	212,48
27/fev	Nublado	20,9	88,3	175,91
05/abr	Ensolarado	20,5	85,1	209,04
09/abr	Ensolarado	22,8	88,7	177,75

Fonte: EMBRAPA, 2018.

Conforme apresentado por Borde (2016) a turbidez é um fator que varia muito em fontes de água de região para região. Água altamente turva reduz a eficiência da desinfecção solar, diminuindo a penetração da luz do sol através da água protegendo assim os micróbios da inativação. Como pode ser verificado na tabela 3, todas as

amostras de água utilizadas no experimento apresentaram valores de Turbidez abaixo de 30 NTU, indicando que as mesmas estavam adequadas para serem submetidas ao método SODIS, conforme o SODIS Manual (EAWAG, 2016).

Tabela 3- Dados de Turbidez das amostras de água

Data	Amostra	Turbidez (NTU)
15/fev	T0	19,2
20/fev	T0	19,2
21/fev	T0	14,7
27/fev	T0	18,4
05/abr	T0	17,8
09/abr	T0	22,7

Fonte: Autora

Por meio das análises microbiológicas foi quantificado o Número Mais Provável (NMP) dos microrganismos eliminados durante a aplicação do SODIS, com limite de confiança de 95%, os resultados destas estão quantificados na tabela 4 e 7.

4.1 Dias ensolarados

Foram realizadas três baterias de ensaios em três diferentes dias ensolarados, afim de contrabalancear as variações climáticas existentes em diferentes dias. Os dias de ensaios selecionados aleatoriamente entre dias com presença predominante de sol, foram 15 de fevereiro, 05 e 09 de abril de 2018.

Os resultados das análises de água submetidas a Desinfecção Solar (SODIS), assim como da amostra de água bruta, são expressos em NMP de microrganismos por 100mL de amostra de água e estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4- NMP em 100 mL do experimento SODIS em dias Ensolarados

Amostra	Data	Tempo de Exposição (h)	Coliformes Totais	Coliformes Fecais	<i>E. coli</i>
T0	15/fev	0	70	130	1,8
T1		6	9,3	Ausente	Ausente
T2		7	7,8	Ausente	Ausente
T3		8	Ausente	Ausente	Ausente

T0		0	920	22	3,6
T1	05/abr	6	47	11	Ausente
T2		7	6,1	Ausente	Ausente
T3		8	Ausente	Ausente	Ausente
T0		0	17	4,5	1,8
T1	09/abr	6	4	Ausente	1,8
T2		7	1,8	Ausente	1,8
T3		8	Ausente	Ausente	Ausente

Fonte: Autora

As amostras T0, com tempo de exposição de 0 horas, são as amostras que não foram expostas ao método SODIS, ou seja, são a água bruta coletada na ETA, sem passar por nenhum tratamento. Estas, representam as condições microbiológicas iniciais da água, e servem para comparar a quantidade de microrganismos eliminados durante o processo do método SODIS. A concentração dos microrganismos, presentes nas amostras T0 apresentam grande variabilidade por serem coletados em diferentes dias, podendo haver variações de vazão no ponto de coleta e também diferentes condições pluviométricas nos dias que antecedem a coleta. Pois segundo Kohm (2016), parâmetros microbiológicos tendem a ser mais elevados em períodos chuvosos, quando há maior drenagem de água contaminada para o corpo hídrico.

A partir das três repetições do experimento, obteve-se a média dos resultados microbiológicos em dias ensolarados (tabela 5).

Tabela 5- Média dos Resultados Microbiológicos em dias Ensolarados

Média dos Resultados dos experimentos				
Amostra	Tempo de exposição (h)	Coliformes Totais (NMP/100mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Coliformes Fecais (NMP/100mL)
T0	0	335,67	2,40	52,17
T1	6	20,10	0,60	3,67
T2	7	5,23	0,60	Ausente
T3	8	Ausente	Ausente	Ausente

Fonte: Autora

Conforme dos dados apresentados na tabela 5, pode-se perceber que a carga microbiológica da água foi reduzindo proporcionalmente ao tempo de exposição à radiação solar. As análises realizadas na amostra bruta (T0), apresentaram a média de resultados de 335,67 NPM/100mL, 2,4 NPM/100mL e 52,17 NMP/100mL, em

Coliformes Totais, *E. coli* e Coliformes Fecais, respectivamente. Após submeter ao tratamento SODIS, em 8 horas de exposição, obteve-se a ausência de todos os microrganismos avaliados.

Mesmo que os Coliformes Fecais, estejam ausentes em T2, observado na tabela 5, é apenas em T3 que os resultados atendem os padrões microbiológicos da Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde, apresentando ausência de Coliformes Totais e também *E. coli* em 100 mL de amostra.

A eficiência de remoção dos microrganismos conforme os tempos de exposição a energia solar, foi realizada com base na Equação (1) na página 34, e seus resultados podem ser verificados na tabela 6.

Tabela 6- Média da Eficiência de Inativação dos Microrganismos (%) em dias Ensolarados

Eficiência de Inativação dos microrganismos (%)				
Amostras	Tempo de Exposição (h)	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>	Coliformes Fecais
T0	0	0	0	0
T1	6	86,03	66,67	83,33
T2	7	92,54	66,67	100
T3	8	100	100	100

Fonte: Autora

Em T0 na amostra de água bruta, a eficiência de inativação foi de 0%, já que a amostra não foi submetida ao tratamento SODIS. Em T1, com 6 horas de exposição à energia solar, obteve-se os seguintes valores de inativação da carga microbiológica 86,03% para coliformes totais, 66,67% para *E. coli* e 83,33% para Coliformes Fecais. Em T2 a eficiência foi superior apresentando os valores de 92,54%, 66,67% e 100% de remoção de Coliformes Totais, *E. coli* e Coliformes Fecais, respectivamente. Na amostra T3, com 8 horas de exposição, a eficiência média de remoção de todos os microrganismos analisados foi de 100%.

O estudo desenvolvido por Filho (2015) no município de Pombal-PB, apresentou a redução de 99,9% de Coliformes Totais e Fecais em um período de 9h de exposição à radiação solar, porém, tempos de exposição inferiores não foram analisados pelo autor.

Oliveira (2014), em estudo desenvolvido em Alagoa Nova-PB, apresentou dados de 100% de eficiência de inativação da carga microbiológica em amostras de

água pelo método SODIS, em 4 horas de exposição à radiação solar. A maior rapidez de inativação deve-se ao fato da autora ter utilizado um Concentrador Solar no local aonde as garrafas PET ficaram expostas. As garrafas que não utilizaram Concentrador Solar, apresentaram valores inferiores de eficiência, sendo estes 99,81% para Coliformes Totais e 99,91% para Coliformes Tolerantes, em 4 horas de exposição.

Silva (2004) com experimento desenvolvido em Campinas-SP, apresenta dados de eficiência de inativação de Coliformes Totais com uma média de 99,56%, em um tempo de exposição de 6 horas. Outras garrafas que foram colocadas em um concentrador solar para aumentar a eficiência do método, obtiveram em média 99,89% de eficiência para Coliformes Totais e 100% para E. coli em 4 horas de exposição.

Os estudos acima citados foram realizados em diferentes localidades, em diferentes latitudes, sendo estes em Campinas-SP e no estado da Paraíba, locais que apresentam uma radiação solar global média anual de 224,5 W/m² e 231,48 W/m², respectivamente. No município de Pelotas, a média anual é de 132 W/m² um valor bastante inferior aos outros locais de desenvolvimento do experimento (SEM, 2018; TIBA, 2000; WREGE, 2012). A eficiência do método SODIS tem dependência com a quantidade de luz solar disponível no local, sabe-se que a radiação solar é distribuída de modo desigual pelo globo e sua intensidade varia de um local geográfico para outro dependendo de latitude, estação e clima. Regiões com maior índice de radiação solar tendem a apresentar maiores eficiência do método SODIS, possibilitando reduzir o tempo de exposição à energia solar (EAWAG, 2016).

4.2 Dias nublados

Nos dias nublados foram realizadas três baterias de ensaios em três diferentes dias que apresentavam predomínio de nuvens no céu, os ensaios em triplicata foram realizados afim de contrabalancear as variações climáticas existentes em diferentes dias. Os dias dos ensaios para condição climática nublada ocorreram nas datas de 20, 21 e 27 de fevereiro de 2018.

Os resultados expressos em NMP de microrganismos por 100mL de amostra de água, estão apresentados na tabela 7.

Assim como nos dias ensolarados, as amostras T0, com tempo de exposição de 0 horas, são as amostras que não foram expostas ao método SODIS, ou seja, a água bruta coletada na ETA, sem passar por nenhum tratamento, representando as condições microbiológicas iniciais da água. A concentração dos microrganismos, presentes nas amostras T0 apresentam grande variabilidade devido às variações de vazão a montante do ponto de coleta e também das condições climáticas nos dias que antecedem a coleta.

Tabela 7- NMP em 100 mL do Experimento SODIS em dias Nublados

Amostra	Data	Tempo de Exposição (h)	Coliformes Totais	Coliformes Fecais	<i>E. coli</i>
T0	20/fev	0	350	4,5	3,6
T1		8	11	Ausente	1,8
T2		29	Ausente	Ausente	Ausente
T3		32	Ausente	Ausente	Ausente
T0	21/fev	0	33	27	1,8
T1		8	17	2	Ausente
T2		29	11	Ausente	Ausente
T3		32	Ausente	Ausente	Ausente
T0	27/fev	0	130	340	3,7
T1		8	15	21	Ausente
T2		29	4	Ausente	Ausente
T3		32	Ausente	Ausente	Ausente

Fonte: Autora

Por meio da triplicata do experimento, obteve-se a média dos resultados microbiológicos em dias nublados (tabela 8).

Tabela 8- Média dos Resultados Microbiológicos em dias Nublados

Média dos Resultados dos Experimentos				
Amostra	Tempo de exposição (h)	Coliformes Totais (NMP/100mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Coliformes Fecais (NMP/100mL)
T0	0	171,00	3,03	123,83
T1	8	14,33	0,60	7,67
T2	29	5,00	Ausente	Ausente
T3	32	Ausente	Ausente	Ausente

Fonte: Autora

A carga microbiológica da água foi reduzindo proporcionalmente ao tempo de exposição à energia solar. Os resultados das análises feitas na amostra de água bruta (T0), apresentaram como média 171,00 NPM/100mL, 3,03 NPM/100mL e 123,83 NPM/100mL, em Coliformes Totais, *E. coli* e Coliformes Fecais, respectivamente. Ao submeter ao tratamento SODIS, em 8 horas de exposição (T2), obteve-se uma redução da carga microbiológica para 14,33 NPM/100mL, 0,6 NPM/100mL e 7,67 NPM/100mL. Em T2 com 29 horas de exposição, a carga de *E. coli* e de Coliformes Fecais já se encontravam ausentes, e os Coliformes Totais foram reduzidos para 5,00 NPM/100mL. Em um tempo de exposição de 32 horas (T3), todos os parâmetros microbiológicos avaliados apresentaram-se ausentes.

Mesmo que em T2 os Coliformes Fecais e a *E. coli*, já estejam ausentes, é apenas em T3 que os resultados atendem os padrões microbiológicos da Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde, apresentando ausência de Coliformes Totais e também *E. coli* em 100 mL de amostra.

Pode-se perceber que em dias nublados para que todos os microrganismos analisados ficassem ausentes nas amostras de água, o tempo de exposição à radiação solar precisou ser de 32 horas, sendo este superior aos tempos em dias ensolarados, em que foi necessário apenas 8 horas de exposição. Esta diferença de tempo é relacionada com o fato das condições climáticas e das diferentes épocas anuais, as quais interferem diretamente na eficiência do método, pois em dias nublados, se tem a presença de muitas nuvens, e os níveis de radiação tendem a ser menores e, conseqüentemente, a eficiência do método SODIS também é reduzida (PATERNIANI, 2005). Borde (2016) também afirma que em algumas condições climáticas, tempos de exposição de até dois dias são recomendados para os níveis de radiação solar para desinfetar adequadamente a água, não recomendando o uso de SODIS em dias de fortes chuvas.

Tabela 9- Média da Eficiência de Inativação dos Microrganismos (%) em dias Nublados

Média da Eficiência de Remoção dos Microrganismos (%)				
Amostras	Tempo de Exposição (h)	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>	Coliformes Fecais
T0	0	0	0	0
T1	8	77,93	83,33	95,47
T2	29	87,86	100	100
T3	32	100	100	100

Fonte: Autora

A tabela 9 apresenta a eficiência de inativação dos microrganismos conforme os tempos de exposição à radiação solar, os cálculos foram baseados na Equação (1) apresentada na página 32.

Na amostra de água bruta (T0), a eficiência de inativação foi de 0%, pois a amostra não foi submetida ao tratamento de Desinfecção Solar - SODIS. Já em T1, com 8 horas de exposição à energia solar, a eficiência de inativação da carga microbiológica foi de 77,93% para coliformes totais, 83,33% para *E. coli* e 95,47% para Coliformes Fecais. Em T2 a eficiência foi superior apresentando os valores de 87,86%, 100% e 100% de inativação de Coliformes Totais, *E. coli* e Coliformes Fecais, respectivamente. Na amostra T3, com 32 horas de exposição, a eficiência média de inativação de todos os microrganismos analisados foi de 100%.

Os resultados obtidos estão de acordo com o que foi apresentado por Sommer (1997). Segundo o autor, com tempo nublado, menos energia de radiação está disponível, sendo assim, durante estes dias a intensidade da radiação UV-A é reduzida a um terço da intensidade registrada durante um dia sem nuvens, portanto, as garrafas com água do SODIS devem ser expostas durante dois dias consecutivos para alcançarem a dose de radiação exigida e assegurar a inativação completa dos agentes patogênicos.

4.3 Portaria MS nº 2.914/11

Conforme estipulado pela Portaria MS nº 2.914 de 12 de Dezembro de 2011, a água para consumo humano deve se encaixar nos padrões de potabilidade, e no que se refere às condições microbiológicas, deve ter resultados de ausência de Coliformes Totais e *Escherichia coli* para cada 100 mL de amostra analisada (BRASIL, 2011).

No município de pelotas por meio do método SODIS, em dias ensolarados foi possível alcançar os parâmetros microbiológicos estabelecidos pela Portaria em 8 horas de exposição da amostra de água à energia solar, já para dias nublados a ausência de ambos os Coliformes ocorreu em 32 horas de exposição.

5. Considerações Finais

Para que ocorra a completa inativação de patógenos por meio do método SODIS, o tempo de exposição necessário depende de certos parâmetros, incluindo a turbidez da água e a presença ou ausência de nuvens no céu.

No presente trabalho, amostras de água com turbidez menor que 30 NTU foram submetidas ao método SODIS, o qual foi realizado em três diferentes dias ensolarados com tempos de exposição à radiação solar de 0, 6, 7 e 8 horas, e três diferentes dias nublados, com tempos de exposição de 0, 8, 29 e 32 horas.

Os valores das cargas de Coliformes Totais, *Escherichia coli* e Coliformes Fecais, expressos em NMP em 100 mL de amostra, foram reduzindo proporcionalmente ao tempo de exposição à radiação solar. Os microrganismos apresentaram-se totalmente ausentes em 8 horas de tratamento do método SODIS em dias ensolarados e em 32 horas em dias nublados.

Sendo assim, levando em conta os parâmetros microbiológicos estipulados pela Portaria MS nº 2.914/11 e os resultados obtidos ao longo deste estudo, os tempos ótimos de exposição ao sol do método SODIS no período de estudo para o município de Pelotas para dias ensolarados é de 8 horas, e de 32 horas para dias nublados.

Deste modo, o uso do tratamento SODIS pode ser utilizado no município de Pelotas em locais de difícil acesso e com recursos econômicos escassos que não possuam sistemas de tratamento de água. Podendo ser considerado um método eficiente para melhorar as condições microbiológica da água e consequentemente a saúde dos consumidores.

Referências

ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. **Solar Disinfection of Drinking Water and Oral Rehydration Solutions**. UNICEF, 1984. p. 56.

APHA, AWWA and WF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

AWWA, American Water Works Association. **Água Tratamento e Qualidade**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1964. p. 465.

BORDE, P. et al. Community challenges when using large plastic bottles for Solar Energy Disinfection of Water (SODIS). **BMC Public Health**. v. 16, n. 931, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS Nº 2914 DE 12/12/2011**. Brasília: Ministério da Saúde. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Secretaria de Vigilância em Saúde. Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília: Ministério da Saúde/ Secretaria de Vigilância em Saúde/ Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Brasília, DF, 2016.

BRASIL. Secretaria de Governo da Presidência da República / Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. **Relatório Nacional Voluntário sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: Secretaria de Governo da Presidência da República / Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Brasília, DF, 2017.

EAWAG; SANDEC. **Desinfecção Solar da Água: Guia de Aplicação SODIS**. Switzerland: SKAT, 2002. 88 p.

EAWAG; SANDEC. **SODIS Manual: Guidance on solar water disinfection**. Switzerland: Eawag, 2016. 56 p.

EMBRAPA. Dados Climáticos. Boletins Mensais. Disponível em: <<http://agromet.cpact.embrapa.br>>. Acesso em: 08 jun. 2018.

FILHO, S. A. J, et al. Eficácia e viabilidade da técnica SODIS utilizando a água do Rio Piranhas destinado ao consumo humano. **INTESA: Informativo Técnico do Semiárido**, Pombal, v. 9, n. 2, p. 16-20, 2015.

GRABOW, W. Waterborne diseases: Update on water quality assessment and control. **Water S.A.** Pretória, p. 193-202. abr. 1996.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da População Residente para os Municípios e para as Unidades da Federação Brasileiros com data de Referência em 1º de julho de 2017**. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100923.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Censo Demográfico 2010. Universo - Características da População e dos domicílios. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 08 abr. 2018.

ISE T., et al. Clinical evaluation and bacterial survey in infants and young children with diarrhoea in the Santa Cruz District, Bolivia. **Journal of Tropical Pediatrics**, v. 40, n. 6, p. 369-374, 1994.

KOLM, H.E.; SIQUEIRA, A.; MACHADO, E.C. Influência da Pluviosidade na Qualidade da Água de Dois Sangradouros do Litoral do Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, Itajaí, v.20 n. 2, p. 1-11, 2016.

LIBÂNO, M. Fundamentos de Qualidade e Tratamento da Água. **Desinfecção**. 4. ed. Campinas: Editora Átomo, 2016. p. 553-571.

MACIEL, F. M. P. **Remoção de Giardia spp. e Cryptosporidium spp. em Águas de Abastecimento com Turbidez Elevada Utilizando Cloreto de Polialumínio: Estudo em Escala de Bancada e Desafios Analíticos**. 2014. 163 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

OLIVEIRA, S. C. **Avaliação da Eficiência do Método SODIS com e sem o uso de Concentrador Solar para Desinfecção de Água da Cisterna Localizada na Zona Rural de Alagoa Nova – PB**. 2014. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

OMS; UNICEF. **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017**. Geneva: World Health Organization (WHO)/ The United Nations Children's Fund (UNICEF), 2017. 66p.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

PATERNIANI, J. E. S; SILVA, M. J. M. Uso de Garrafas PET e Energia Solar na Desinfecção de Águas em Comunidades Rurais. 2005. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**. Espírito Santo do Pinhal: Unipinhal. v. 2, n. 1, p. 60-69, 2005.

RICE, A.L. et al. (2000): **Malnutrition as an underlying cause of childhood deaths associated with infectious diseases in developing countries**. Bull WHO, 2000. Disponível em: <[http://www.who.int/bulletin/archives/78\(10\)1207.pdf](http://www.who.int/bulletin/archives/78(10)1207.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2018.

RODRIGUES, G. D. **Desinfecção da Água por Pasteurização Solar (SOPAS) em Comunidades Rurais**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola: Concentração Água e Solos) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

SATO, T., et al. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. **Agricultural Water Management**, v. 130, p. 1–13, 2013.

SEM. Atlas Energia Solar. Energia Solar Paulista: Levantamento do Potencial. Disponível em: < <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br>>. Acesso em: 16 maio 2018.

SILVA, M. J. M. **Desinfecção de Água utilizando Energia Solar (SODIS): Inativação e Recrescimento Bacteriano**. 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SOMMER, B. et al. SODIS – An Emerging Water Treatment Process, J **Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua**, Zurich. v. 46, n. 3, p. 127-137, 1997.

SOUZA, L. C. **Águas e sua Proteção: Meio Ambiente, Poluição das Águas, Responsabilidade Civil, Evolução Legislativa, Inconstitucionalidade, Política de Recursos Hídricos**. Curitiba: Juruá, 2005.146 p.

STAINER, R. Y., DOUDOROFF, M., ADELBURG, E. A.; **The Microbial World**. 2. Ed. New Jersey: Prentice Hall, 1963. 753 p.

TELLES, D. D; COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água: Conceitos, Teorias e Práticas**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2007. p. 31-38.

TIBA, C. et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil**: banco de dados solarimétricos. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 116 p.

UN-WATER. **Water and sanitation interlinkages across the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Geneva, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

UNEP, United Nations Environment Programme. **Towards a Worldwide Assessment of Freshwater Quality: A UN-Water Analytical Brief**. ONU-Water, 2016. Disponível em: <www.unwater.org>. Acesso em: 07 abr. 2018.

UNESCO. **International Initiative on Water Quality: promoting scientific research, knowledge sharing, effective technology and policy approaches to improve water quality for sustainable development**. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Disponível em: <unesdoc.unesco.org/images/0024/002436/243651e.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2018.

UNICEF; WHO. **Diarrhoea: Why children are still dying and what can be done**. Geneva: The United Nations Children's Fund (UNICEF)/ World Health Organization (WHO), 2009. 68p.

WEGELIN, M., et al. Solar Water Disinfection: Scope of the Process and Analysis of Radiation Experiments. **Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua**, Zurich, v. 43, n. 3, p. 154-169, 1994.

WEGELIN M. et al. Does Sunlight Change the Material and Content of Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles? **Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua**, Zurich, v. 50, n.1, p. 125-133, 2001.

WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality. **Surveillance**. 4. ed. Geneva: WHO Library, 2011. p. 115.

WREGGE, S. M. et al. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2 ed. Brasília: Embrapa, 2012. 334 p.