

CEETEPS- CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
PAULA SOUZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM TECNOLOGIA: GESTÃO, DESENVOLVIMENTO E
FORMAÇÃO

RETENÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS: VERIFICAÇÃO DA
EFICIÊNCIA POR MEIO DE FILTRAÇÃO A VÁCUO

ANA PAULA PEREIRA DA SILVEIRA

São Paulo

2012

ANA PAULA PEREIRA DA SILVEIRA

RETENÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS: VERIFICAÇÃO DA
EFICIÊNCIA POR MEIO DE FILTRAÇÃO A VÁCUO

Dissertação apresentada como exigência parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado em Tecnologia: Gestão Desenvolvimento e Formação, sob orientação do prof. Francisco Tadeu Degasperi.

São Paulo

2012

TERMO DE APROVAÇÃO

ANA PAULA PEREIRA DA SILVEIRA

RETENÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS: VERIFICAÇÃO DA
EFICIÊNCIA POR MEIO DE FILTRAÇÃO A VÁCUO

Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperi

Prof. Dr. Dirceu D'Alkmin Telles

Prof^a. Dr^a. Carmen Beatriz Taípe Lagos da Costa

São Paulo, 14 de Maio de 2012

DEDICATÓRIA

À minha mãe Mari, aos meus irmãos Rafael e Giovanna, aos meus avós Arnaldo e Albertina (*In memoriam*) e a todos que colaboraram para a execução deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de manifestar meus agradecimentos a Deus, ao meu orientador, prof. Francisco Tadeu Degasperi, por toda a dedicação no processo de orientação, ao prof. Acacio Eiji Ito, por toda ajuda e conselhos, ao prof. Dirceu D'Alkmin Telles, pela motivação e incentivo à pesquisa, ao prof. Luiz Antonio de Almeida pelo apoio, ao Aux. De Docente Diógenes pela ajuda, à Maricleide de Carvalho Silva pelos conselhos, à minha família e ao meu namorado Rafael Caprioli Gutierrez pela compreensão, a todos do Dep. De Hidráulica e Saneamento da FATEC-SP pelo apoio, a todos os professores do Programa de Pós-graduação do CEETEPS, a prof. Carmen Beatriz Taipe Lagos da Costa e principalmente à minha mãe, que esteve do meu lado me ajudando e me dando força durante esses dois anos.

“Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas”
(Antoine de Saint-Exupéry)

Resumo

SILVEIRA, A. P. P. S. **Retenção de ovos de helmintos: Verificação da eficiência por meio de filtração a vácuo.** 2012. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2012.

O reuso planejado de águas residuárias para fins não potáveis vem sendo cada vez mais utilizado como medida para minimizar a retirada de água bruta do ambiente, diminuindo assim o consumo desse recurso, que é indispensável à vida de qualquer organismo vivo. No presente estudo foi verificada a eficiência da filtração a vácuo na retenção de ovos de helmintos como refino do tratamento de águas residuárias por método convencional para reuso em fins não potáveis, para garantir que não ocorra a distribuição desses organismos no ambiente, evitando assim a contaminação acidental dos seres humanos e outros animais. A retenção desses organismos se faz importante devido à sua endemicidade e alta resistência no meio ambiente, que quando associada a problemas imunológicos transforma as parasitoses de veiculação hídrica nas doenças responsáveis pela maior causa de mortalidade infantil no mundo. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia do Vácuo – LTV e no Laboratório de Saneamento Ambiental e Química – LABSAN ambos pertencentes à FATEC-SP. Os resultados encontrados mostram que a introdução de vácuo nos sistemas de filtração não diminui a eficiência na retenção de ovos de helmintos quando comparado a sistemas de filtração por gravidade, além de trazer grande ganho devido à diminuição comprovada do tempo de filtração neste tipo de sistema.

Palavras-chave: Reuso de água, parasitas, tecnologia do vácuo.

Abstract

SILVEIRA, A. P. P. S. **Retention of helminthes eggs: Verification of efficiency by vacuum filtration.** 2012. Thesis (Technology Master's) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2012.

The planned reuse of wastewater for non potable uses has been increasingly used as a measure to minimize the withdrawal of raw water from the environment thereby reducing the consumption of that resource, which is indispensable for the life of any living organism. In the present study were be verified the efficiency of retention of helminthes eggs in vacuum filtration of refining the treatment of wastewater by a conventional method for reuse in non potable purposes, to ensure that there is the distribution of these organisms in the environment thus preventing an accidental contamination of humans and other animals. The retention of these organisms is important because of its endemicity and high resistance in the environment, which when combined with immune, problems transforms the waterborne parasitic diseases accounted for the major cause of infant mortality in the world. Assays were performed at the Laboratory of Vacuum Technology - LVT and Laboratory of Environmental Sanitation and Chemistry, both located at FATEC-SP. The results show that the introduction of the vacuum in filtration systems doesn't diminish the efficiency of retention of helminthes eggs compared to gravity filtration systems, also brings great gain due to reduced proven filtration time in type of system.

Keywords: Reuse of water, parasites, vacuum technology.

Lista de figuras

Figura 1. Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	35
Figura 2. Ovo de <i>Trichuris trichiura</i>	36
Figura 3. Ovos de <i>Taenia saginata</i> e <i>Taenia solium</i>	36
Figura 4. Ovo de <i>Enterobius vermicularis</i>	36
Figura 5. Ovo de <i>Hymenoleps nana</i>	37
Figura 6. Ovo de <i>Schistosoma mansoni</i>	37
Figura 7. Ovo de <i>Ancylostoma duodenale</i>	37
Figura 8. Ovo de <i>Necator americanus</i>	37
Figura 9. Ciclo de vida de <i>Acaris lumbricoides</i>	38
Figura 10. Ciclo de vida de <i>Trichuris trichiura</i>	39
Figura 11. Ciclo de vida de Ancilostomídeos.....	40
Figura 12. Ciclo de vida de <i>Taenia solium</i>	41
Figura 13. Ciclo de trabalho de urna bomba mecânica de duas palhetas.	76
Figura 14. Bomba mecânica de duplo estágio.....	76
Figura 15. Vista frontal do sistema de vácuo	79
Figura 16. Vista geral das câmaras de vácuo.....	80
Figura 17. Vista Geral do sistema de vácuo.	81
Figura 18. Detalhes da câmara de vácuo superior	81
Figura 19. Detalhe da câmara de vácuo inferior	82
Figura 20. Detalhe do pré-filtro de sílica gel	82
Figura 21. Detalhe da bomba de vácuo.....	83
Figura 22. Vista sistema de chuveiramento e do funil de Buchner contendo papel filtro acomodado em suporte na câmara de vácuo superior.	83
Figura 23. Detalhe da execução do procedimento experimental de filtração a vácuo (ato de inoculação da amostra no sistema).	86
Figura 24. Detalhe do término de inoculação da amostra no sistema de vácuo.	87
Figura 25. Vista superior do Becker após total inoculação da amostra no sistema de vácuo.	87
Figura 26. Procedimento de abertura do flange da câmara superior para verificar se a amostra passou por completo pelo papel filtro.....	88
Figura 27. Papel filtro ainda contendo amostra.	88

Figura 28. Fluxograma dos procedimentos experimentais	90
Figura 29. Comparação do tempo médio gasto nos ensaios de filtração por gravidade.....	91
Figura 30. Comparação do tempo médio gasto nos ensaios de filtração sob vácuo.....	95
Figura 31. Resultados das contagens de ovos de helmintos na amostra bruta e nas amostras filtradas por gravidade	98
Figura 32. Resultados das contagens de ovos de helmintos na amostra bruta e nas amostras filtradas sob vácuo nos três tipos de papel analisados	100
Figura 33. Eficiência da retenção de ovos de helmintos.....	103
Figura 34. Comparação do tempo gasto nas filtrações por gravidade e com a utilização de vácuo.....	104
Figura 35. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do primeiro ensaio com o papel de filtragem rápida.....	114
Figura 36. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do segundo ensaio com o papel de filtragem rápida.....	114
Figura 37. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do terceiro ensaio com o papel de filtragem rápida.....	115
Figura 38. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do primeiro ensaio com o papel de filtragem média.....	115
Figura 39. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do segundo ensaio com o papel de filtragem média.....	116
Figura 40. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do terceiro ensaio com o papel de filtragem média.....	116
Figura 41. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do primeiro ensaio com o papel de filtragem lenta.....	117
Figura 42. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do segundo ensaio com o papel de filtragem lenta.....	117
Figura 43. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do terceiro ensaio com o papel de filtragem lenta.....	118

Lista de tabelas

Tabela 1. Demandas e impactos das ações de saneamento sobre os recursos hídricos.....	22
Tabela 2. Períodos característicos da trajetória histórica do saneamento no Brasil e principais aspectos presentes	24
Tabela 3. Características gerais dos helmintos	31
Tabela 4. Classificação inicial dos vermes de importância médica	32
Tabela 5. Algumas espécies de helmintos que parasitam os seres humanos	33
Tabela 6. Características epidemiológicas dos patógenos responsáveis por transmissão de doenças através da irrigação com águas residuárias	34
Tabela 7. Ocorrência de nematoides parasitas intestinais no esgoto bruto em diversos países, de acordo com diversos autores.....	45
Tabela 8. Eficiência de remoção de ovos de helmintos e cistos de Protozoários nos principais processos de tratamento de efluentes domésticos.....	46
Tabela 9. Características físicas das principais espécies de parasitas de importância sanitária	47
Tabela 10. Ocorrência de ovos de parasitas em lodo de esgoto doméstico proveniente de vários países.....	48
Tabela 11. Influência de processos de estabilização e desinfecção de lodos na inativação de parasitas.....	48
Tabela 12. Principais métodos de enumeração de ovos de helmintos em águas residuárias	50
Tabela 13. Qualidade da água de reuso e tipo de tratamento sugerido para as categorias de reuso de esgoto municipal.	55
Tabela 14. Requisitos de qualidade e tratamento requerido para água de reuso em agricultura e paisagismo, segundo o “Título 22 do Código da Califórnia” .	56
Tabela 15. Diretrizes da OMS para reuso agrícola de esgotos sanitários	57
Tabela 16. Classificação das águas doces segundo os seus usos preponderantes – Resolução CONAMA 357.....	58
Tabela 17. Valores máximos observados no período de 1999-2001 e valores limites adotados para água de reuso em parque temático.....	63

Tabela 18. Limites adotados e valores dos parâmetros obtidos da água de reuso do Projeto São Caetano - referentes a março/2001	64
Tabela 19. Principais culturas irrigadas com água de reuso na Califórnia	69
Tabela 20. Áreas irrigadas com efluentes de estações de tratamento; culturas desenvolvidas e parâmetros de qualidade de água	71
Tabela 21. Resultados das filtrações por gravidade utilizando o papel de filtragem rápida.....	91
Tabela 22. Resultados das filtrações por gravidade utilizando o papel de filtragem média.....	91
Tabela 23. Resultados das filtrações por gravidade utilizando o papel de filtragem lenta.....	91
Tabela 24. Resultados das filtrações sob vácuo utilizando o papel filtro de filtragem rápida.....	92
Tabela 25. Resultados das filtrações sob vácuo utilizando o papel filtro de filtragem média.....	93
Tabela 26. Resultados das filtrações sob vácuo utilizando o papel de filtragem lenta	94
Tabela 27. Contagem de ovos de helmintos da amostra bruta.....	96
Tabela 28. Contagem de ovos de helmintos resultantes da amostra filtrada no papel de filtragem rápida por gravidade	97
Tabela 29. Contagem de ovos de helmintos resultantes da amostra filtrada no papel de filtragem média por gravidade	97
Tabela 30. Contagem de ovos de helmintos resultantes da amostra filtrada no papel de filtragem rápida sob vácuo.....	99
Tabela 31. Contagem de ovos de helmintos resultantes da amostra filtrada no papel de filtragem média sob vácuo.....	99
Tabela 32. Contagem de ovos de helmintos resultantes da amostra filtrada no papel de filtragem lenta sob vácuo.....	100

Sumário

1.	Introdução.....	14
2.	Objetivos.....	17
2.1.	Gerais.....	17
2.2.	Específicos	17
3.	Revisão da Literatura.....	18
3.1.	Água.....	18
3.1.1.	Distribuição da água no mundo.....	18
3.1.2.	Ciclo hidrológico	18
3.1.3.	Aspectos sociais relacionados à disponibilidade hídrica	19
3.2.	Saneamento Ambiental	21
3.2.1.	Sistemas de tratamento de esgoto sanitário	25
3.3.	Saúde pública.....	27
3.4.	Parasitologia sanitária	30
3.4.1.	Classificação dos vermes de importância médica e sua relação com o saneamento.....	31
3.4.2.	Relação entre a irrigação com águas residuárias e problemas de saúde pública.	33
3.4.3.	Identificação e características dos ovos de helmintos.....	35
3.4.4.	Ciclo de vida dos principais parasitas de importância sanitária.....	38
3.4.5.	Fatores que influenciam na sobrevivência dos ovos de helmintos.....	41
3.4.6.	Fatores físicos que afetam a sobrevivência de ovos de helmintos.....	42
3.4.7.	Fatores químicos que afetam a sobrevivência de ovos de helmintos	44
3.4.8.	Fatores biológicos que afetam a sobrevivência de ovos de helmintos.....	44
3.4.9.	Ocorrência e remoção de ovos de helmintos em águas residuárias e lodo.....	45
3.4.10.	Remoção de ovos de helmintos nos sistemas de tratamento de águas residuárias	46
3.4.11.	Métodos de detecção de ovos de helmintos em águas residuárias	49
3.5.	Reuso de águas residuárias.....	51

3.5.1.	Contextualização histórica.....	51
3.5.2.	Aspectos legais do reuso de água	53
3.5.3.	Tipos de reuso.....	58
3.5.4.	Reuso urbano.....	60
3.5.5.	Reuso agrícola	65
3.6.	Técnicas de filtração para aplicação no saneamento.....	72
3.7.	Sistemas de filtração a vácuo.....	75
4.	Materiais	78
4.1.	Sistema de filtragem.....	78
4.2.	Sistema de contagem dos ovos de helmintos	84
5.	Procedimento experimental	85
5.1.	Metodologia dos ensaios de filtração	85
5.2.	Metodologia de contagem dos ovos de helmintos.....	89
6.	Resultados e discussões.....	91
6.1.	Ensaio de filtração por gravidade	91
6.2.	Ensaio de filtração sob vácuo.....	92
6.3.	Contagem de ovos de helmintos	96
6.3.1.	Amostra bruta.....	96
6.3.2.	Amostras filtradas por gravidade.....	97
6.3.3.	Amostras filtradas sob vácuo	99
6.4.	Comparações de resultados.....	101
6.4.1.	Forças atuantes nos sistemas de filtração por gravidade e com a aplicação de vácuo.....	101
6.4.2.	Contagem de ovos de helmintos	103
6.4.3.	Tempo de filtração.....	104
7.	Conclusões e recomendações.....	105
8.	Referências.....	108
	Apêndice A	113

1. Introdução

Com o crescimento da demanda por água potável observa-se a necessidade de criar ferramentas para a conservação dos recursos hídricos, como a conscientização da população usuária e o desenvolvimento de tecnologias viáveis de reaproveitamento de águas residuárias para diversos fins menos nobres.

Por possuir extensas superfícies cobertas de água, o Planeta Terra emite a sensação de abundância de recursos hídricos, que sempre acompanhou o imaginário da população, criando uma sensação falsa de que tais recursos são inesgotáveis. Oceanos, rios, lagos, pântanos e áreas alagadas, calotas polares e geleiras cobrem 70% da superfície terrestre, e sugerem quantidades ilimitadas às necessidades e desejos humanos. O desvendamento desse ciclo complexo no qual a água circula de um estado para outro, entre os vários sistemas e componentes da Terra, agregou, à sensação de abundância, a ideia de infinitude, devida a renovação constante da água doce que o ciclo hidrológico proporciona à biota. (SÃO PAULO (Estado), 2004).

Os ritmos dos ciclos naturais contrapõem-se os ritmos das atividades humanas, com sua aceleração progressiva e predatória. O suprimento de água na Terra é finito. A água doce equivale a 2,5% do total de água do planeta, porém, apenas 0,5% dessa quantidade encontram-se disponível. Sendo que as demandas de água para atender as populações humanas têm crescido a níveis muito superiores à capacidade de renovação da qualidade que o ciclo hidrológico realiza. A água doce do planeta vem sendo poluída, exaurida e contaminada, o que está forçando a obtenção de água potável por outras vias, como através da reutilização das águas residuárias e da dessalinização de águas salobras e salinas. (SÃO PAULO (Estado), 2004).

As águas utilizadas para abastecimento público e consumo geral humano são captadas em rios, lagos, represas e aquíferos, principalmente de água doce. Como esses mananciais se encontram geralmente em áreas continentais, são denominadas águas interiores. Essas águas apresentam características de qualidade muito variadas, que lhe são conferidas de acordo com as características do ambiente na qual estão inseridos, como tipo de solo,

de minerais dissolvidos, etc. A ação antrópica, revela grande influência sob as características dos mananciais. (REBOUÇAS, 2006)

É através das águas doces, basicamente que o ser humano desenvolve suas atividades agrícolas, industriais, etc. E é de importância vital aos ecossistemas, para abastecimento dos mesmos, seja em ambiente terrestre como aquático.

O Informe das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos (2003) estima que dois milhões de toneladas de efluentes sejam lançados diariamente nos corpos d'água, incluindo resíduos industriais, agrícolas e domésticos. O relatório destaca ainda que a produção global aproximada de águas residuais é de 1.500 km³. Pode-se considerar, numa média, que cada litro de resíduos pode contaminar até oito litros de água doce, sendo assim, a carga mundial de contaminação pode chegar a 12 mil km³. Esses elementos são fatores determinantes da crise de escassez de água que a humanidade terá de enfrentar no decorrer do século XXI. (SÃO PAULO (ESTADO), 2004).

O reuso de águas residuárias caracteriza-se como importante ferramenta para a conservação dos recursos hídricos. Atualmente, o uso indiscriminado desses recursos resultou na poluição dos principais corpos d'água das zonas urbanas, o que caracteriza um grande problema no abastecimento público de água nas grandes metrópoles. Sendo assim, se faz importante a criação e aprimoramento de tecnologias que visam reaproveitar as águas residuárias de modo a não comprometer a saúde e bem estar da população usuária.

O reuso de águas residuárias é um tema ainda pouco aceito pela população em geral, apesar de toda a água do planeta ser reutilizada constantemente, no que é conhecido como Ciclo Hidrológico, há uma grande dificuldade em aceitar que a água consumida hoje, pode ter sido o esgoto de ontem.

O reuso de água pode ser utilizado para diversas finalidades, como na agricultura, nas indústrias, na limpeza urbana e predial, etc. Fins estes não tão nobres como o consumo direto humano, que também pode ser feito, porém com tecnologias que ainda não são viáveis economicamente em muitos países, dependendo da vazão de tratamento requerida e da necessidade.

Muitas vezes a escassez de água para consumo humano força o desenvolvimento de tecnologias avançadas de tratamento, independente do custo de tais processos, como é o caso de localidades ilhoas ou de locais desfavorecidos geograficamente, como no Oriente Médio e Nordeste brasileiro. Nesses locais há duas alternativas básicas de fonte hídrica, a dessalinização de águas salobras e salinas, ou o reuso de águas residuárias. No Oriente Médio, a prática da dessalinização é maior, mas em países como a Namíbia e alguns locais do Japão, já é feito o reuso de águas residuárias para fins potáveis com tecnologias que garantem a total descontaminação e potabilização dessa água.

No Brasil, por exemplo, o tratamento dos esgotos sanitários visa principalmente à remoção de matéria orgânica com tratamento biológico, seguindo a legislação para lançamento de efluentes nos recursos hídricos, o que não garante, por exemplo, a descontaminação parasitológica suficiente para o reuso direto dessas águas.

Mas vale ressaltar, que provavelmente em pouco tempo, o reuso das águas residuárias deverá ser uma realidade presente em muitos países, pois a população mundial só vem crescendo nos últimos anos e conseqüentemente a demanda por água e a poluição dos mananciais também.

Dentre os problemas da utilização das águas residuárias está a contaminação parasitológica. Até nos dias atuais, as doenças de veiculação hídrica, especialmente as verminoses ainda são a causa da morte de muitas pessoas pelo mundo, principalmente crianças.

Os fatores que afetam a ocorrência e as concentrações de ovos de helmintos e cistos de protozoários em esgoto bruto, incluem a endemicidade da doença dentro de animais e da população humana, o status socioeconômico da população, o percentual de águas residuais despejados por indústrias, o volume de efluente amostrado e a eficiência de recuperação do método de amostragem (WHO, 2004).

Baseado neste contexto, o presente estudo visa avaliar a eficiência da filtração a vácuo na retenção de ovos de helmintos em águas de reuso para fins não potáveis de modo a minimizar os riscos de contaminação da população usuária por esses seres patogênicos.

2. Objetivos

2.1. Gerais

Verificar a eficiência da filtração a vácuo na retenção de ovos de helmintos.

2.2. Específicos

- Avaliar a eficácia da retenção de ovos de helmintos, variando a pressão interna na câmara de vácuo em três porosidades de papel filtro quantitativo;
- Comparar os resultados das filtrações a vácuo com filtrações por gravidade;
- Determinar a melhor porosidade de papel filtro dentre as três estudadas;
- Desenvolver uma modelagem matemática acerca da retenção desses organismos em relação às variáveis do sistema em questão;
- Proporcionar dados para posteriores estudos em escalas maiores;

3. Revisão da Literatura

3.1. Água

3.1.1. Distribuição da água no mundo

Pode se considerar, que atualmente, e nos últimos 500 milhões de anos, o volume de água presente no planeta Terra é de 1.386 milhões de km³, sendo que desse total, 97,5% é água salgada e 2,5 % é água doce. (REBOUÇAS, 2006).

O que não pode ser considerado constante são os locais de armazenamento da água, por exemplo, a variação de estocagem que se dá num período glacial, onde há muito mais água continental estocada nas geleiras, do que na época atual. Água essa que advém dos oceanos, principalmente. (REBOUÇAS, 2006).

3.1.2. Ciclo hidrológico

A água recircula pelo planeta através de suas transformações físico-químicas sob forma sólida, líquida e gasosa. Através das variações climáticas, geográficas e meteorológicas, sua precipitação pode ocorrer sob a forma de neblina, chuva, neve, atingindo assim as superfícies continentais e oceânicas. A superfície terrestre, após receber a precipitação interage com o solo através do escoamento superficial e da infiltração, processo este que acaba por devolver a água para os rios e oceanos, onde a mesma evaporará, constituindo-se numa movimentação conhecida como ciclo hidrológico. (TELLES; COSTA, 2007).

No ciclo hidrológico a água circula pelos sistemas da Terra, de uma altura de 15 quilômetros acima do solo para uma profundidade de cerca de cinco quilômetros. É um sistema quase estável e auto-regulável, que transfere a água de um “reservatório” para outro em ciclos complexos. Estes reservatórios incluem a umidade (nuvens e chuvas), os oceanos, rios e lagos, os aquíferos subterrâneos, as calotas polares e o solo saturado. O ciclo é o processo de transferência da água de um estado, ou reservatório, para outro através da gravidade ou da energia solar, ao longo de períodos que variam de horas a milhares de anos. O sistema todo funciona somente porque mais água evapora dos oceanos do que retorna para ele diretamente na forma de chuva ou de

neve. Neste processo ocorre renovação não só quantitativa, mas também qualitativa: o processo funciona como uma destilação, purificando a água de suas impurezas. (SÃO PAULO (ESTADO), 2004).

3.1.3. Aspectos sociais relacionados à disponibilidade hídrica

As recorrentes secas no Nordeste brasileiro e a conseqüente emigração de sua população mostram um possível futuro mundial, as migrações populacionais oriundas da busca pela água potável. A Etiópia sofreu muito com uma seca prolongada associada à degradação ambiental, na década de 80 que comoveu países do mundo todo. Com isso, pode-se prever que no futuro, os usuários de água para fins domésticos irão competir não só entre si, mas com as indústrias e agricultura irrigada, particularmente em regiões da Ásia e da África. (REBOUÇAS, 2006).

Além do crescimento demográfico e o aumento na apropriação de água, o desenvolvimento econômico e tecnológico provocou também o aumento no seu consumo per capita. Tendo a população mundial triplicado nos últimos setenta anos, o consumo de água tornou-se seis vezes maior. A oferta de água potável é reduzida ainda pelo aumento da contaminação. O Informe das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos (2003) estima que dois milhões de toneladas de resíduos sejam lançados diariamente nos corpos d'água, incluindo os industriais, agrícolas e domésticos. (SÃO PAULO (ESTADO), 2004).

Atualmente cerca de 1,1 bilhões de pessoas não têm acesso à água potável e 2,4 bilhões também não tem acesso ao saneamento básico. Do total de água doce disponível, 54% já estão sendo utilizados; em 2025, esse índice poderá alcançar 70%. Dados da Organização Meteorológica Mundial indicam que um terço da população mundial vive em regiões de moderado a alto stress hídrico, ou seja, com um nível de consumo superior a 20% da sua disponibilidade de água. Se os atuais padrões de consumo forem mantidos, as previsões indicam que, em meados do século, cerca sete bilhões de pessoas, em sessenta países, serão afetadas pela crise de água. (SÃO PAULO (ESTADO), 2004).

Destacam-se no quadro de escassez e degradação dos recursos hídricos, os conflitos potenciais entre os usuários que compartilham um mesmo manancial, seja ele subterrâneo ou superficial. Como os usuários de jusante dependem da quantidade e qualidade da água do manancial, somente uma gestão cooperativa, equitativa e sustentável poderá reduzir os conflitos entre os diversos usos e usuários. Atualmente existem 261 bacias internacionais e 145 nações têm seus territórios em bacias compartilhadas. Embora esse potencial de conflitos tenha resultado em mais casos de cooperação que de disputa. O relatório da ONU admite que o planeta viva em atual crise hídrica e que, embora ela se manifeste de modo diferente em cada país, é uma crise de gestão, e de governabilidade dos assuntos públicos. Conservação e racionalidade do uso, melhor aproveitamento da água e fim dos desperdícios são questões vitais. Para enfrentar essa crise, recomenda que a gestão busque equilíbrio entre as necessidades socioeconômicas e ecológicas, que considere as implicações éticas e as dimensões políticas ao enfrentar a multiplicidade de interesses envolvidos com a água. Recomenda-se ainda que a gestão inclua a participação de todos os interessados e que a transparência, a equidade, a responsabilidade financeira e social, a coerência e a capacidade de reação sejam adotadas como princípios básicos pelos organismos de gestão. (SÃO PAULO (ESTADO), 2004).

3.2. Saneamento Ambiental

A preocupação com a qualidade da água para consumo humano se deu a partir do momento em que o homem associou o surgimento e a disseminação de doenças através da veiculação hídrica. Essa associação se deu com o advento do microscópio, que possibilitou que o homem associasse doenças aos microrganismos, antes desconhecidos.

Desde os tratamentos mais simples, como a fervura até os mais sofisticados utilizados nos dias de hoje, como raios UV (ultravioletas) e ozônio, o intuito é um só, a inativação de microrganismos patogênicos.

O conceito de saneamento pode ser entendido como sendo uma visão de intervenção sobre o meio físico onde o ser humano vive, se reproduz e desenvolve suas atividades produtivas, como sugere a clássica definição: *“saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos deletérios sobre seu bem estar físico, mental ou social”*. Portanto, saneamento compreende um conjunto de ações sobre o meio ambiente no qual habitam as populações, visando garantir a elas condições de salubridade. (BRASIL, 2006).

Avaliando o saneamento como serviço destinado às populações e aos recursos hídricos, a partir de uma perspectiva ambiental, pode-se pensar que as ações de saneamento atuam, nessa relação, ora como demandas ora como impactos nos recursos hídricos, conforme exemplifica a tabela 1.

Tabela 1. Demandas e impactos das ações de saneamento sobre os recursos hídricos

Ação de saneamento	Demanda no recurso hídrico	Impacto no recurso hídrico
Abastecimento de água	Demanda para abastecimento público	Impactos devido às atividades desenvolvidas (resíduos do tratamento, etc)
Esgotamento sanitário	A mesma demanda do abastecimento de água, ao se considerar o esgotamento sanitário como o “esgotamento do abastecimento de água, após sua utilização”.	Impactos potencialmente elevados, sendo função do sistema de esgotamento sanitário minimizá-los por meio de uma disposição adequada e tratamento dos efluentes.
Limpeza pública	Pequenas demandas para a operação e manutenção dos sistemas.	Impactos potencialmente elevados, sendo função do manejo dos resíduos sólidos minimizá-los por meio de uma disposição adequada dos resíduos.
Drenagem de águas pluviais	Pequenas demandas para a operação e manutenção dos sistemas.	Impactos pela elevação da concentração das águas pluviais escoadas.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2006.

A consequência mais direta para a população com reduzido acesso à água potável e saneamento é o quadro atual de doenças de veiculação hídrica. No ano 2000 mais de dois milhões de pessoas foram afetadas por tais doenças. Cerca de seis mil crianças morrem diariamente por doenças relacionadas à qualidade da água ou à ausência de saneamento e higiene. Nos países subdesenvolvidos, 80% de todas as doenças são disseminadas por meio de consumo de água não potável. Os ecossistemas de água doce, também são impactados com a redução e deterioração da qualidade da água e perdem biodiversidade, cobertura vegetal, drenagem das áreas úmidas e, como consequência, a geração de mais danos ambientais, ocasionando cada vez mais desastres naturais, inundações, perda de solo, erosão, assoreamento dos corpos d'água. O círculo vicioso dos danos parece atingir crescimento exponencial. (SÃO PAULO (ESTADO), 2004).

O Brasil não apresenta condição de destaque na América Latina com relação ao saneamento. O abastecimento de água no setor urbano abrange apenas 85%, enquanto Belize e Cuba cobrem 96% de sua população urbana. Chile, 94 %, México, 91%, Guiana 90% e Colômbia 88%. No setor rural, a situação é ainda pior, no Brasil, apenas 31% dessa população é abastecida com água potável, índice esse que é superior na América Latina apenas aos

índices da Bolívia, 22%, Haiti, 23%, Peru, 24% e Nicarágua com 34 %. (REBOUÇAS, 2006).

Apesar de preocupantes, esses dados não refletem a realidade dos serviços de saneamento prestados, pois não levam em conta a continuidade do serviço prestado, assim como a qualidade da água a ser abastecida, e da coleta e tratamento de esgoto e nem as questões de saúde pública e social. A tabela 2 apresenta a evolução do saneamento no Brasil ao longo do tempo. (REBOUÇAS, 2006).

Tabela 2. Períodos característicos da trajetória histórica do saneamento no Brasil e principais aspectos presentes

Característica	Período				
	Séc. XVI a meados do séc. XIX	1850-1910	1910-1950	1950-1969	Década de 70 em diante
Relação saneamento-saúde	-Forte: indígenas -Fraca: europeus	-Forte: elites -Fraca: massas populares	-Forte: população urbana -População dos sertões: educação sanitária	-Saneamento para viabilizar a produção - Assistencialismo x prevenção	-Saneamento: Predominância nos centros urbanos -Saúde: assistencialismo
Caráter das ações	-Individual -Coletivo: restrito às cidades mais ricas	-Crescimento das cidades e epidemias - massas populares	-Coletivo: “o Brasil é um imenso hospital” - Auto-sustentação tarifária. -Serviços autárquicos municipais	-Ampliação da auto-sustentação tarifária - Caráter industrial	-Abastecimento de água e esgotamento sanitário -PLANASA -Coleta e disposição do lixo, drenagem e controle de vetores: municípios
Processo econômico	-Economia voltada ao mercado externo - Produção de subsistência - Colônia de exploração	-Cafecultura: divisas aplicadas em reformas na região Sudeste -Crescimento do mercado interno -produtos industrializados.	- Expansão do Sudeste -influência dos EUA na economia - Financiamentos visando o retorno dos investimentos	-Crescimento industrial e da urbanização -Brasil: mercado consumidor dos EUA -Tecnologia para saneamento	-Milagre econômico - Pós-milagre: inflação e recessão - Privatização de estatais -Desemprego em massa
Processo político	-Predomínio do poder local - Relação direta com a metrópole	-Penetração do Estado no poder local: combate às epidemias -Privatização dos Serviços de saneamento	-Centralização do poder público: -Hegemonia norte-americana no Brasil	-Transição democracia - ditadura - Política de saneamento: estatização - Incapacidade dos municípios na gestão do saneamento	-Facilitação da implantação do PLANASA -Constituição de 1988 - Neoliberalismo:
Processo social	-Grandes proprietários de terra -Índios, escravos e imigrantes	-Proteção para as elites -Revolta das massas populares: Revolta da Vacina -Manifestações contra a iniciativa privada	-Elites contra o “industrialismo parasitário”, favorável à “vocação agrícola” -Endemias na população dos “sertões”	-Aumento das demandas por saneamento nas zonas urbanas -Aumento do êxodo rural	-PLANASA: atendimento às populações urbanas - Desqualificação da educação e saúde - Aprofundamento dos desníveis sociais

Fonte: Adaptado de – BRASIL - Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Caderno setorial de recursos hídricos: saneamento. Brasília: MMA, 2006. 68 p.

Conforme apresentado, nas décadas de 70 e 80 houve a implementação do PLANASA – Plano Nacional do Saneamento, que permitiu ao país melhorar os níveis de atendimento à população.

3.2.1. Sistemas de tratamento de esgoto sanitário

Desde os tempos remotos, a coleta de águas servidas (esgoto sanitário) passava a ser preocupante. A coleta inadequada começou a ser associada às grandes pandemias na antiguidade. Com o grande crescimento das cidades em todo o mundo, que ocorreu a partir do séc. XIX e início do séc. XX alguns países começaram a se preocupar com o tratamento de esgotos, principalmente a Inglaterra. O sistema separador absoluto, que se constitui pela construção de canalizações exclusivas para o transporte de esgoto, foi implantado pela primeira vez em Memphis, no Tennessee, EUA. (NUVOLARI, 2003).

Nas cidades brasileiras, salvo exceções, somente a partir da década de 70 começaram a ocorrer investimentos e ações na área do saneamento. Porém, em 1933, o engenheiro J. P. de Jesus Netto, funcionário da Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo apresentou um estudo onde demonstrava a degradação das águas do Rio Tietê e alertou sobre o risco de contaminação das populações ribeirinhas. (NUVOLARI, 2003).

Atualmente, apesar de muitas cidades brasileiras já contarem com Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), a grande maioria nem coleta e nem trata seus efluentes. Porém, é inevitável que o tenham que fazer, ou em breve ficarão sem mananciais de água para abastecimento público, acarretando assim, em problemas de saúde pública. (NUVOLARI, 2003).

O esgoto sanitário é definido pela norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986) como sendo o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição parasitária de águas pluviais. A mesma norma ainda define esgoto doméstico como sendo o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas.

Frente a essas definições, podem ser feitos alguns comentários. O esgoto doméstico é gerado a partir da água de abastecimento público servida, portanto sua medida resulta da quantidade de água consumida, que geralmente é

expressa pela “taxa de consumo per capita”, que varia de acordo com a localidade. Usualmente o valor utilizado é o de 200L/hab.dia, porém em grandes metrópoles esse valor pode ser ainda maior. (NUVOLARI, 2003).

Quanto ao destino dos efluentes, geralmente são lançados em cursos d’água, lagos, rios e até nos oceanos, mas pode ser também lançado no solo, em processos técnicos que o preparem para o seu recebimento. (NUVOLARI, 2003).

O esgoto é um líquido, cuja composição quando de origem doméstica é: 99,87% de água; 0,04% de sólidos sedimentáveis; 0,02% de sólidos não sedimentáveis e 0,07% de sólidos dissolvidos. Como a maior parte do esgoto é água, pode admitir-se que suas propriedades físicas são semelhantes, portanto suas reações às forças externas também, sendo assim, seu escoamento é tratado da mesma forma. (NUVOLARI, 2003).

Os tratamentos empregados na atualidade visam principalmente à remoção de sólidos e de microrganismos patogênicos. Dentre os principais sistemas utilizados, destacam-se o sistema por lodos ativados e suas variações e o tratamento por lagoas, cabendo ressaltar que a escolha do tipo de tratamento adequado se dá pelo número de habitantes da região a ser coletada, o clima, as características do efluente bruto e as características do corpo receptor do efluente tratado, etc. Estes tratamentos citados referem-se à chamada “fase líquida” do esgoto, mas há de se fazer também o tratamento da “fase sólida”, que se constitui do lodo gerado no processo de tratamento da fase líquida.

O sistema de lodos ativados, no entanto é o mais utilizado para tratar os efluentes de grandes cidades e apresenta diversas variações em seu sistema, porém, o seu sistema convencional é composto de diversas unidades onde o objetivo principal do tratamento é a remoção dos sólidos presentes no esgoto. (NUVOLARI, 2003).

A primeira etapa do tratamento é um gradeamento cujo objetivo é a remoção de sólidos grosseiros. Após, vêm as caixas de areia, como o próprio nome já diz, para a remoção de areia. Nos decantadores primários ocorre a remoção dos sólidos sedimentáveis (lodo primário). Após passar pelos decantadores primários, o efluente é encaminhado para o reator biológico,

onde os sólidos não sedimentáveis (dissolvidos e finamente particulados) são incorporados à massa biológica e serão removidos nos decantadores secundários. Parte desse lodo é recirculado de volta ao reator de modo a manter a quantidade adequada de microrganismos nesta unidade. (NUVOLARI, 2003).

A chamada fase líquida (o efluente que está sendo tratado), após passagem pelo decantador secundário, se bem operado já estará livre de quase toda a carga de sólidos originalmente presentes. Dentre o material remanescente ainda há uma quantidade grande de microrganismos, sendo muito difícil sua remoção em 100%. A partir de uma desinfecção, este efluente estará pronto para ser lançado em um corpo d'água (sempre que atender a legislação pertinente).

A chamada fase sólida (lodos gerados no processo de tratamento do efluente) antes de ser encaminhada para sua destinação final deve passar por tratamentos complementares como, espessamento, digestão (geralmente anaeróbia), condicionamento químico e desidratação. (NUVOLARI, 2003).

3.3. Saúde pública

Segundo o artigo 196 da Constituição Federal:

“A saúde é um direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doenças e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação”. (BRASIL, 1988).

A saúde e a doença são objetos ao mesmo tempo sociais e biológicos. Uma pessoa sadia pode ficar doente e morrer não apenas por motivos biológicos, mas também sociais. Sendo assim, o histórico socioeconômico e cultural de uma comunidade tem relação com a determinação social das doenças. Quando se avalia as questões epidemiológicas no Brasil, por exemplo, depara-se com um quadro de doenças que podem ser associadas ao atraso do desenvolvimento, como por exemplo, as parasitoses intestinais. Para isso, além dos sistemas de prevenção, os sistemas de saúde devem estar preparados para tratar e recuperar com eficácia os problemas de saúde pública.

Os problemas epidemiológicos muitas vezes estão relacionados a processos de desenvolvimento desiguais e atrasados, que combinam tecnologia de ponta e riquezas para a minoria, e pobreza para a maioria. Essas condições estão relacionadas com o processo de crescimento desordenado, sem planejamento urbano, saneamento básico e à migração populacional para os grandes centros urbanos.

O saneamento básico é uma das preocupações mais antigas da humanidade. As descobertas biológicas e médicas, como o advento do microscópio, colocaram em destaque o papel dos microrganismos na transmissão de doenças. Assim, os estudos de vetores e reservatórios de agentes aumentaram, resultando no esclarecimento do ciclo de vida dos parasitas, possibilitando o desenvolvimento de técnicas de prevenção das parasitoses. (Portal Educação e Sites Associados, 2009).

Um dos artifícios mais importantes na prevenção de doenças associadas à falta de saneamento básico é o desenvolvimento de tecnologias de tratamento de água e esgotos domésticos, que quando aplicadas garantem significativa melhoria nas estatísticas epidemiológicas. As medidas preventivas de doenças podem ser classificadas em: **Medidas inespecíficas e específicas**: ações propostas pela sociedade no intuito de influenciar na ocorrência das doenças; **Prevenção primária, secundária e terciária**: As ações primárias são aplicadas nas fases anteriores ao início do ciclo biológico da doença e estão dirigidas à manutenção da saúde. Ex: educação em saúde, saneamento ambiental, etc.; As secundárias ocorrem logo após o início do ciclo de vida da doença, e visam a sua regreção. Ex: a administração de medicamentos; As terciárias visam incluir medidas recomendadas nas fases mais avançadas das doenças. Ex: Reabilitação. (Portal Educação e Sites Associados, 2009).

Sendo assim, o desenvolvimento de tecnologias para a melhoria dos sistemas de saneamento é considerado como medida de prevenção primária, pois provêm ações que quando feitas impedem a infecção da população pelos microrganismos.

Alguns parasitas, como *Cryptosporidium*, só passaram a gerar preocupações recentemente. Atualmente fazem parte de interesses comuns, especialmente na presença de déficit imunitário. (CHIEFFI, 2003).

Atualmente a grande maioria das doenças parasitárias intestinais pode ser eficientemente tratada, inclusive por meio de doses únicas ou de medicamentos com amplo espectro de atividade. Em relação às formas graves, também são possíveis os sucessos terapêuticos. Conduas para abranger expressivos grupos populacionais, após caracterizações epidemiológicas adequadas, ficaram viáveis. Portanto, esse panorama difere muito do vigente em décadas não muito distantes, quando dificuldades para usos, toxicidades e pequenas efetividades eram habituais. (CHIEFFI, 2003).

Porém, quando se tratam de crianças ou pacientes com a imunidade comprometida, as parasitoses que causavam sintomas simples de serem tratados, passam a ser preocupantes, principalmente em localidades pobres e com pouco acesso aos sistemas de saúde.

Em decorrência dos efeitos maléficos à saúde dos indivíduos e, sobretudo, das repercussões econômicas, vários programas têm sido dirigidos para o controle das parasitoses intestinais em diferentes países. Porém, constata-se um descompasso entre o êxito alcançado nos países mais desenvolvidos e aquele verificado nas economias mais pobres. (DA SILVA, 2001).

3.4. Parasitologia sanitária

De quarenta anos para cá, surgiu um grande interesse na utilização de águas residuárias para irrigação em áreas áridas e semiáridas, sendo isso o resultado da distribuição irregular da água no mundo. Os planejadores de recursos hídricos vêm reconhecendo o valor desta prática tanto em termos de conservação da água bem como a reciclagem de nutrientes e como método de prevenir a poluição das águas superficiais e águas subterrâneas. A população em geral não se opõe à prática do reuso, contanto que as condições sanitárias sejam verificadas. Alguns países como a Jordânia, Peru e Arábia Saudita, possuem como política de governo a reutilização de todos os efluentes das estações de tratamento de esgoto, principalmente para irrigação de culturas. (WHO, 2004).

As diretrizes de saúde para o uso de águas residuárias na agricultura e aquicultura publicado por WHO, 1989 fornece as diretrizes para a proteção da saúde. Nematóides intestinais foram introduzidos com base em informações epidemiológicas disponíveis como apoio à conclusão de que helmintos apresentam o mais elevado grau de transmissão de doenças relacionadas à águas residuais, devido a longa persistência no ambiente e baixa dose infecciosa.

Nas investigações de organismos patogênicos em águas residuárias e lodo, os parasitas merecem um mínimo de atenção. Dado o estado atual do conhecimento, não há necessidade de uma avaliação mais aprofundada dos problemas de saúde relacionados com a presença de parasitas em águas residuais, bem como o exame da eficiência dos diferentes métodos de tratamento de águas residuais sobre a sobrevivência dos parasitas além do que, nas últimas décadas, diversos trabalhos foram publicados a respeito da ocorrência de parasitas em águas residuárias, bem como acerca dos métodos de detecção e remoção. (WHO, 2004).

Os ovos de helmintos são eficientemente removidos por processos de sedimentação e o critério ≤ 1 ovo de helminto/L pode ser consistentemente atendido em lagoas em série, se bem dimensionadas e operadas, porém, ultimamente observa-se a pouca utilização deste método de tratamento de efluentes, principalmente devido às grandes áreas necessárias para a sua

utilização, tornando-o inviável em áreas densamente povoadas ou com pouca área disponível. Nesse sentido, o padrão ovo de helminto, que se refere mais estreitamente aos ovos de *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura* e ancilostomídeos, é um indicador da remoção de outros microrganismos sedimentáveis. Entretanto, alguns trabalhos alertam para o risco da simplificação deste conceito, já que os cistos de protozoários, por exemplo, possuem velocidade de sedimentação um pouco inferior e os métodos para sua detecção em águas residuárias ainda são precários. Desde então, vários estudos questionam a suficiência de 8 a 10 dias de tempo de detenção para se obter um efluente com ≤ 1 ovo de helminto/L. (ZERBINI, 2000).

3.4.1. Classificação dos vermes de importância médica e sua relação com o saneamento

Os helmintos parasitas mais comuns pertencem a três classes de invertebrados, nematóides, cestóides e trematóides. As características distintivas de cada classe bem como sua classificação são mostradas nas tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3. Características gerais dos helmintos

Características	CESTODA	TREMATODA	NEMATODA
Forma	Corpo alongado e segmentado	Corpo não segmentado recoberto por cutícula	Cilíndricos e não segmentados
Extremidade anterior	Órgãos de fixação com ventosas	Possui ventosas. Boca presente	Sem ventosas e órgãos de fixação. Possui boca
Cavidade corporal	Ausente	Ausente	Presente
Intestino	Ausente	Presente, porém sem ânus	Presente e com ânus
Sexo	hermafrodita	Hermafrodita, exceto <i>Schistosoma spp.</i>	Machos e fêmeas separados

Fonte: Adaptado de WHO, 2004.

Tabela 4. Classificação inicial dos vermes de importância médica

SUBREINO	METAZOA
	Triploblásticos Presença de pele Presença de boca Sistemas corporais, principalmente digestório e reprodutivo Sistema nervoso e urinário primitivos São em sua maioria hermafroditas
FILO	PLATELMINTO
	Corpo achatado ou cilíndrico; segmentado ou não Simetria bilateral Intestino presente ou ausente Sem cavidade corporal Vísceras em matriz gelatinosa
FILO	NEMATELMINTO
	Não segmentados Sistema digestório presente Com cavidade corporal
CLASSE	CESTODA
	Corpo segmentado Presença de escólex, pescoço e proglotes Hermafroditas Reprodução: Ovíparos; Às vezes multiplicação com formas larvais. Infecção geralmente por larvas encistadas
CLASSE	TREMATODA
	Corpo não segmentado; achatado ou cilíndrico Geralmente hermafroditas Reprodução: ovíparos e multiplicação com formas larvais Infecção principalmente por estágios larvais que entram no trato intestinal, às vezes através da pele
CLASSE	NEMATODA
	Corpo não segmentado Sistema digestório com boca, esôfago e ânus Geralmente macho e fêmea separados Reprodução: Ovíparos e larvíparos Infecção pela ingestão dos ovos ou penetração da larva pela pele; vetores artrópodes; ingestão de larva encistada

Fonte: Adaptado de WHO, 2004.

As espécies de helmintos parasitas com importância sanitária, ou seja, que possuem transmissão por veiculação hídrica são:

Tabela 5. Algumas espécies de helmintos que parasitam os seres humanos

Nome científico	Nome popular
<i>Schistosoma mansoni</i>	Esquistossoma
<i>Schistosoma japonicum</i>	Esquistossoma
<i>Schistosoma haematobium</i>	Esquistossoma
<i>Fasciola hepatica</i>	Fasciola hepática
<i>Taenia solium</i>	Tênia
<i>Taenia saginata</i>	Tênia
<i>Echinococcus granulosus</i>	
<i>Hymenolepis nana</i>	
<i>Hymenolepis diminuta</i>	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Lombriga
<i>Toxocara canis</i>	
<i>Enterobius vermicularis</i>	
<i>Strongyloides stercoralis</i>	
<i>Ancylostoma duodenale</i>	
<i>Ancylostoma braziliense</i>	
<i>Necator americanus</i>	
<i>Trichuris trichiura</i>	
<i>Wuchereria bancrofti</i>	
<i>Onchocerca volvulus</i>	

Fonte: Adaptado de NEVES, 2010.

3.4.2. Relação entre a irrigação com águas residuárias e problemas de saúde pública

Segundo WHO, 2004, os fatores que mais interferem na contaminação parasitológica na utilização de águas residuárias na irrigação são:

- Persistência desses organismos no meio ambiente;
- Baixa dose infectante;
- Baixa imunidade do hospedeiro;
- A necessidade de estágios de desenvolvimento no solo.

A tabela 6 apresenta um resumo das características epidemiológicas dos principais grupos de patógenos. Esse resumo apresenta o potencial de transmissão de doenças através da irrigação com águas residuárias de acordo com o tipo de patógeno. Os helmintos possuem grande importância sanitária nesta área devido a sua persistência no meio ambiente. De um modo geral os

patogênicos podem ser classificados de acordo com seu risco de contaminação:

- **Alto:** helmintos (Nematoides intestinais como *Ascaris*, *Trichuris* e *Taenia*);
- **Baixo:** Infecções bacterianas e causadas por protozoários;
- **Mínimo:** Infecções virais.

Tabela 6. Características epidemiológicas dos patogênicos responsáveis por transmissão de doenças através da irrigação com águas residuárias

Patógeno	Persistência no ambiente	Mínima dose infectante	Imunidade	Outras vias de infecção	Estágio de desenvolvimento no solo
Vírus	Média	Baixa	Boa	Água e alimentos contaminados	Não
Bactérias	Baixa/Média	Média/Alta	Baixa/Média	Água e alimentos contaminados	Não
Protozoários	Baixa	Baixa/Média	Nenhuma/Pouca	Água e alimentos contaminados	Não
Helmintos	Longa	Baixa	Nenhuma/Pouca	Contato com solo e alimentos contaminados	Sim

Fonte: Adaptado de WHO, 2004.

Um dos aspectos sanitários mais polêmicos em relação ao reuso de águas residuárias é a quantidade de doenças que podem ser transmitidas, principalmente quando se faz a utilização do efluente bruto. O entendimento de que a utilização de esgotos para irrigação envolve riscos à saúde é praticamente unânime; a controvérsia reside na definição dos riscos aceitáveis, ou seja, na definição dos padrões de qualidade e de tratamento de esgotos que garantam a segurança sanitária. (ZERBINI, 2000).

Alguns estudos epidemiológicos associados ao uso das águas residuárias na agricultura, em particular no México, têm evidenciado que há riscos de transmissão de doenças diarreicas e infecções intestinais ocasionadas por vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Os resultados desses estudos confirmam que a exposição às águas residuárias brutas aumenta os riscos de infecção por helmintos em geral, entre crianças e adultos nas comunidades estudadas; e alguns destes riscos não diminuiram pelo fato

do esgoto ser primariamente tratado, sendo assim, se faz importante analisar criteriosamente como será utilizada essa água residuária, de modo a garantir a não contaminação dos trabalhadores e usuários. (ZERBINI, 2000).

3.4.3. Identificação e características dos ovos de helmintos

Há muitos artigos com desenhos e fotos de ovos e larvas da maioria dos helmintos parasitas que podem ser encontrados nas águas residuárias sendo que a qualidade das imagens é um fator de extrema importância nos guias de identificação destes parasitas, pois muitos destes possuem muitas características morfológicas em comum. (WHO, 2004).

Nas águas residuárias também podem ser encontrados ovos e larvas de parasitas intestinais proveniente de animais domésticos e sinantrópicos, como ratos, por exemplo, sendo importante a identificação dos parasitas intestinais de origem humana. Muitas vezes os parasitas podem ser encontrados tanto em humanos quanto em outros mamíferos, e vale ressaltar que o tamanho e formato dos ovos são muito variáveis, de acordo com cada organismo. Por exemplo, os ovos de *Ascaris suum* (de origem suína) e os de *Ascaris lumbricóides* (de origem humana) são morfologicamente indistinguíveis. Esse problema de identificação pode ocorrer também com a coloração e forma desses organismos. (WHO, 2004). Alguns ovos dos principais parasitas podem ser observados nas figuras a seguir.

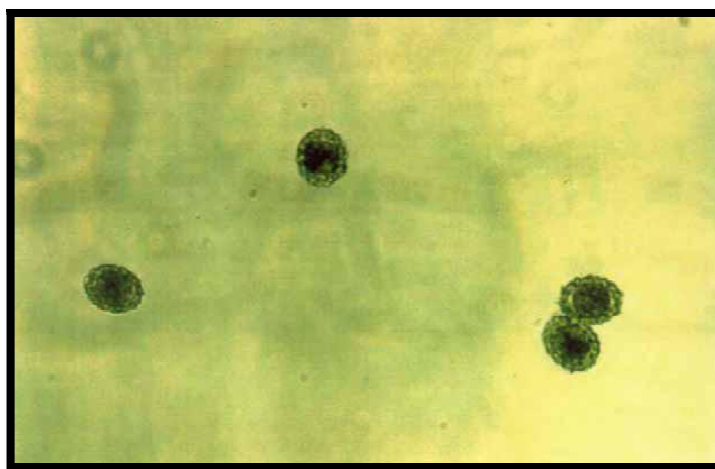


Figura 1. Ovos de *Ascaris lumbricóides*. Fonte: WHO, 2004.



Figura 2. Ovo de *Trichuris trichiura*. Fonte: WHO, 2004.



Figura 3. Ovos de *Taenia saginata* e *Taenia solium*. Fonte: WHO, 2004.



Figura 4. Ovo de *Enterobius vermicularis*. Fonte: WHO, 2004.



Figura 5. Ovo de *Hymenoleps nana*.Fonte: WHO, 2004.



Figura 6. Ovo de *Schistosoma mansoni*. Fonte: WHO, 2004.



Figura 7. Ovo de *Ancylostoma duodenale*.Fonte: WHO, 2004.



Figura 8. Ovo de *Necator americanus*.Fonte: WHO, 2004.

3.4.4. Ciclo de vida dos principais parasitas de importância sanitária

Dependendo do ciclo biológico ou da rota de transmissão de cada parasito, a contaminação pode ocorrer através da ingestão de ovos contendo a larva infectiva ou pela penetração de larvas infectivas através da pele do hospedeiro. A transmissão ocorre na maioria das vezes, através de vários veículos, especialmente pela ingestão de alimentos, água, mãos sujas, poeiras e solos contaminados. (ZERBINI, 2000). A seguir são apresentados de forma esquemática os ciclos de vida dos principais parasitas de importância sanitária.

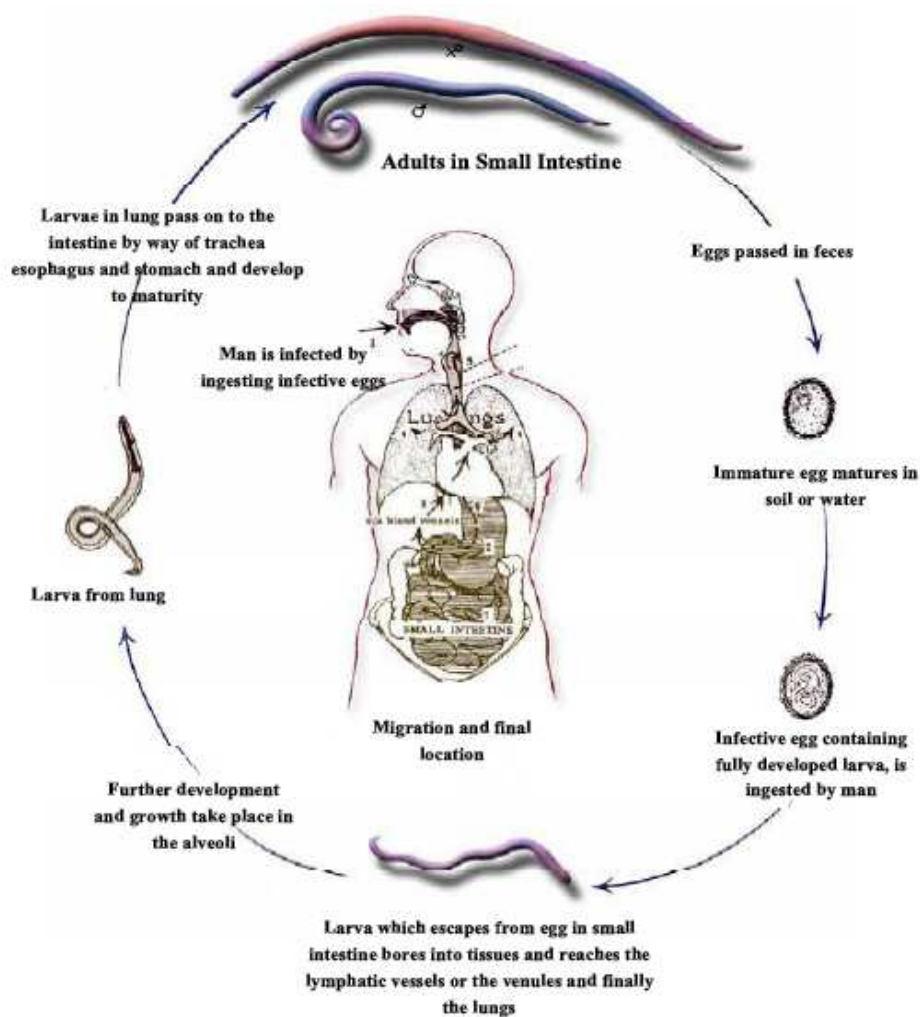


Figura 9. Ciclo de vida de *Acaris lumbricoides*. Fonte: WHO, 2004.

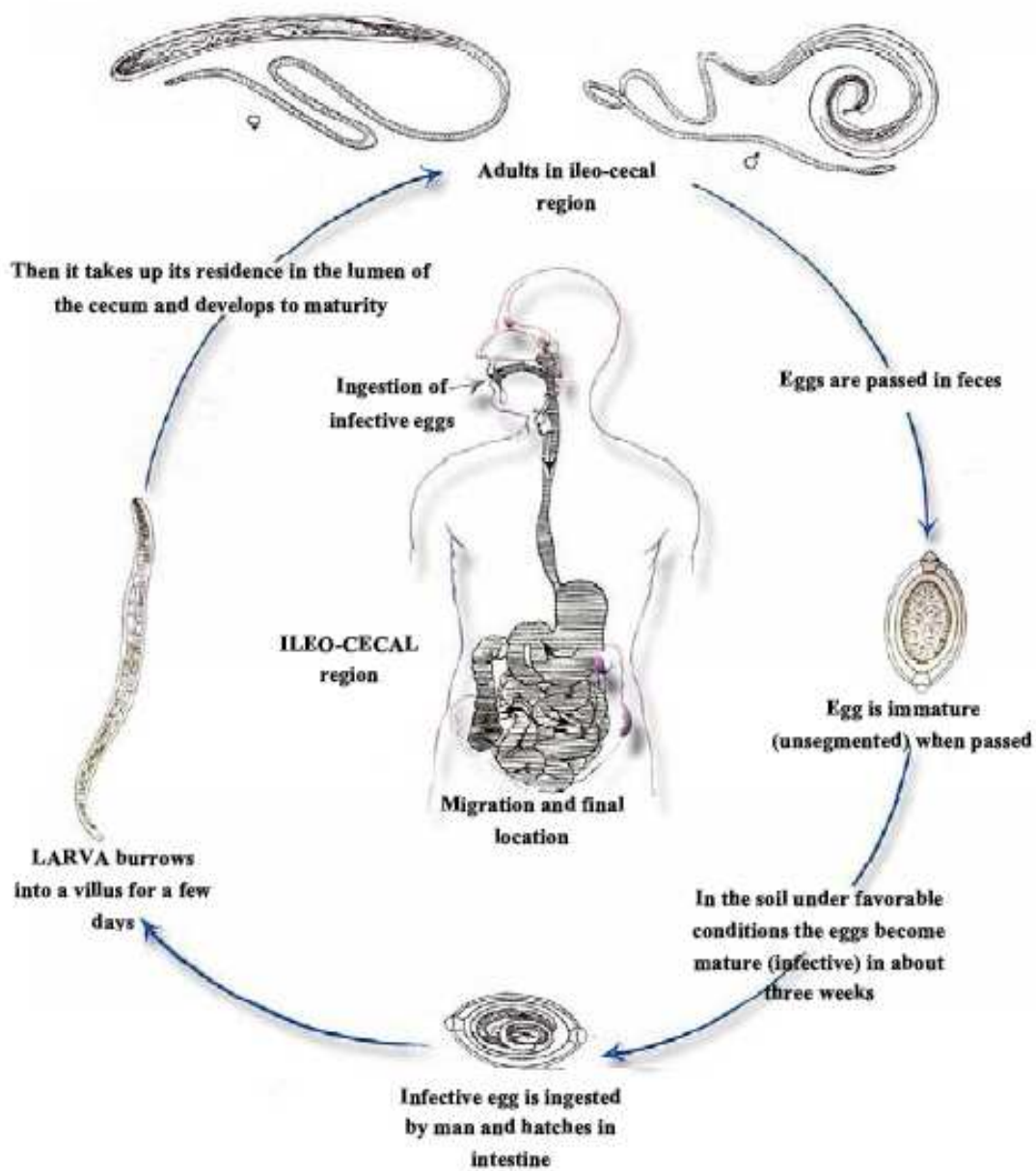


Figura 10. Ciclo de vida de *Trichuris trichiura*. Fonte: WHO, 2004.

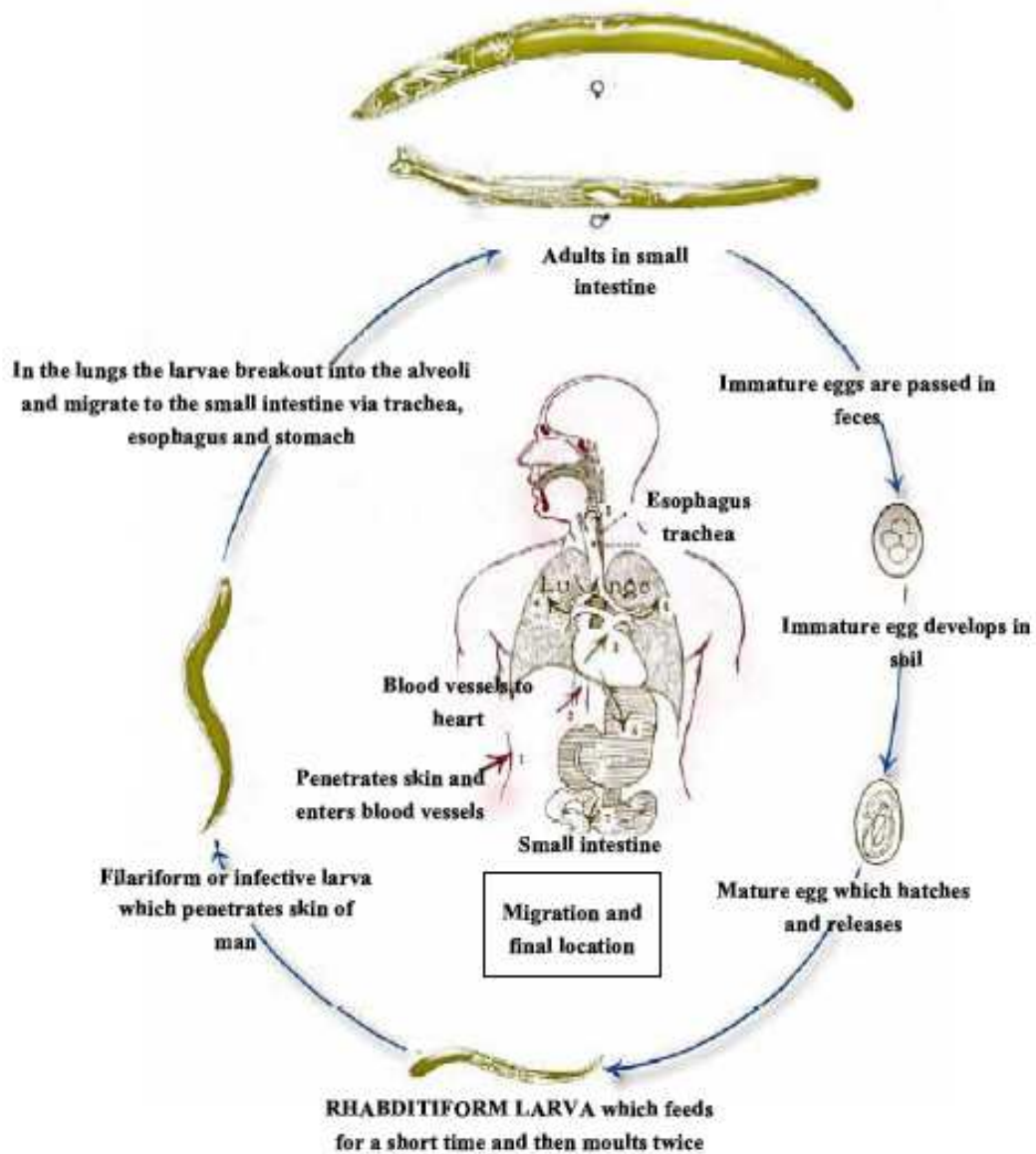


Figura 11. Ciclo de vida de Ancilostomídeos. Fonte: WHO, 2004.

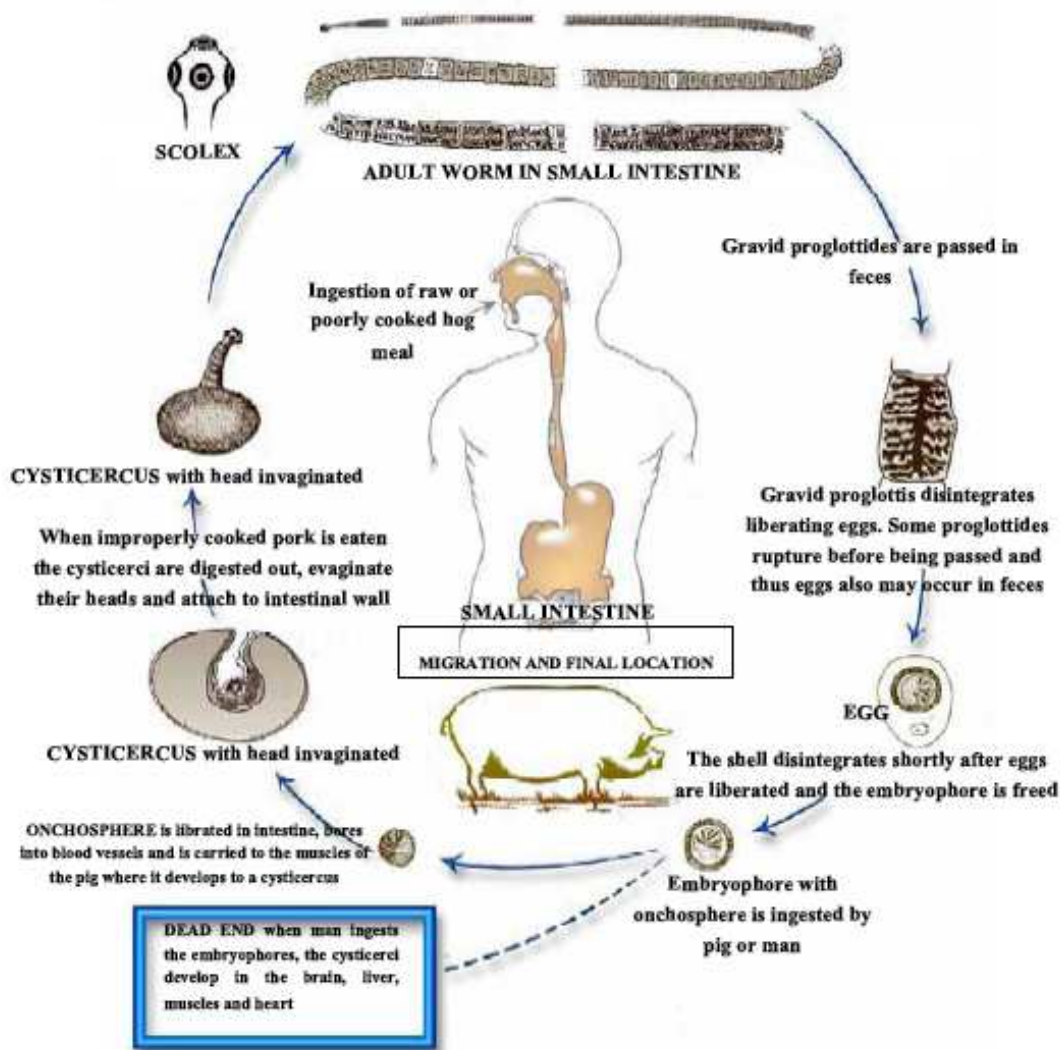


Figura 12. Ciclo de vida de *Taenia solium*. Fonte: WHO, 2004.

3.4.5. Fatores que influenciam na sobrevivência dos ovos de helmintos

A sobrevivência dos parasitas fora do trato gastrointestinal depende das condições ambientais. São muitos os fatores bióticos e abióticos que interferem no seu desenvolvimento, que em geral podem ser divididos da seguinte maneira:

- **Físicos:** Temperatura, luminosidade, variações sazonais, umidade;
- **Químicos:** Amônia, salinidade, pH;
- **Biológicos:** Fungos, protozoários e outros invertebrados.

A carapaça dos ovos de nematoides constitui-se de uma das estruturas biológicas mais resistentes, oferecendo então proteção para o desenvolvimento embrionário dentro do ovo. A estrutura e funções das carapaças dos ovos de

helmintos devem ser levadas em consideração. Sua complexidade, resistência e variabilidade são consideradas adaptações que possibilitam o aumento da sobrevivência do embrião e da larva no meio ambiente. A carapaça do ovo é também responsável pela resistência a anti-helmínticos e helmintocidas. Esta carapaça é impermeável a quase todas as substâncias, exceto aos solventes de gorduras, gases e água em estado líquido e é constituída de três camadas. Uma camada interna lipídica, uma camada média protéico-quitinosa e uma camada externa vitelínica. (ZERBINI, 2000).

A barreira impermeável dos ovos de nematoides é devida à camada lipídica. No caso de ovos de *Ascaris lumbricoides*, essa camada apresenta uma natureza química ímpar, sendo constituída de 25% de proteína e 75% de lipídeo (ZERBINI, 2000).

Já a camada quitinosa é frequentemente a mais espessa e sua composição proporciona a resistência estrutural ao ovo. E a camada vitelina é espessa e constituída de material lipoproteico, derivado da própria membrana vitelina do ovo. Tanto a camada quitinosa quanto a camada vitelínica, funcionam como um tipo de peneira, permitindo que o oxigênio alcance a larva em desenvolvimento no interior do ovo. (WHO, 2004).

Essas camadas são formadas interiormente por processos de oogênese, sendo elaboradas pelo próprio ovo. Em adição, a carapaça do ovo pode possuir de uma a duas camadas externas, que são secretadas pelas células uterinas ainda na parede do útero da fêmea. A camada uterina pode conter mucopolissacarídeos e proteínas, sendo em geral grossa e irregular, responsável pelo aspecto típico de uma membrana mamilonada, como no caso dos ovos de *Ascaris lumbricoides*. (ZERBINI, 2000).

3.4.6. Fatores físicos que afetam a sobrevivência de ovos de helmintos

Temperatura

Em geral, temperaturas acima de 60°C são letais para os ovos de helmintos, sendo assim, a temperatura é um fator limitante na sobrevivência e desenvolvimento destes organismos tendo descritas na literatura as temperaturas baixas, altas e ótimas. Vale ressaltar que outro fator importante é

o tempo de exposição às temperaturas baixas e altas, que pode determinar a sobrevivência do ovo. (WHO, 2004).

Luminosidade e radiação ultravioleta

Diversos estudos já dissertaram a respeito dos fatores físicos que influenciam no desenvolvimento e sobrevivência dos ovos de helmintos, porém só recentemente começou a ser estudado o efeito da radiação ultravioleta sobre esses organismos, que assim como no caso da temperatura não vai depender apenas da intensidade luminosa, mas também do tempo de exposição à mesma. Por exemplo, os efeitos da exposição de *Ascaris megalocephala* em raios ultravioletas por 10 a 60 segundos em temperatura de 16°C a 40 °C foi suficiente para exterminar de 10 a 80% dos ovos, em faixa de onda entre 280nm e 315nm, variando o resultado diretamente com o tempo de exposição. (WHO, 2004).

Umidade

Os requisitos mínimos de umidade para os ovos de *Ascaris* foram confirmados no início do século com 80% de umidade relativa a 22 ° C para o desenvolvimento do ovo. Também se verificou que a umidade relativa aparentemente não afetou a taxa de desenvolvimento dos ovos em alguns casos. Em ovos expostos à dessecação em diferentes temperaturas constantes, a taxa de perda de água aumentou em função de crescimento exponencial da temperatura. Sobre a exposição a 63-65 ° C, a capacidade da carapaça do ovo evitar a perda de água foi destruída. Tais fenômenos sugerem que não existe uma temperatura crítica simples e transitória, mas uma fusão gradual da mistura complexa de componentes que formam a camada lipídica. (WHO, 2004).

3.4.7. Fatores químicos que afetam a sobrevivência de ovos de helmintos

pH

Os ovos de helmintos são considerados muito resistentes a variações extremas de pH. Valores ácidos de pH inibem o desenvolvimento normal de *Ascaris suum* independente da temperatura, porém, em valores altamente alcalinos de pH não houve alteração do desenvolvimento no estágio larval, sendo geralmente o pH 6.0 o valor ótimo para o desenvolvimento destes organismos. (WHO, 2004).

Substâncias químicas

Revisões de literatura revelaram várias referências sobre a resistência dos ovos de *Ascaris* a substâncias químicas. Tem sido relatado que os ovos de *Ascaris* desenvolvem-se em soluções relativamente tóxicas, como ácido clorídrico 14%, ácido sulfúrico 9%, ácido acético 8%, ácido nítrico 0,4%, hidróxido de sódio 0,5%. A resistência às substâncias químicas se dá pela camada lipídica da carapaça do ovo, que não é resistente aos solventes de gordura como clorofórmio, por exemplo. (WHO, 2004).

3.4.8. Fatores biológicos que afetam a sobrevivência de ovos de helmintos

Os fatores biológicos que afetam a sobrevivência e desenvolvimento dos ovos de helmintos são principalmente a presença de fungos e alguns invertebrados. Alguns tipos de fungos são capazes de destruir a carapaça dos ovos de *Ascaris* em poucos dias. A rapidez do ataque aos ovos vai depender da espécie do fungo. Um dos principais fungos que penetra na carapaça e destrói o ovo é o *Cylindrocarpon radicola*. Invertebrados, principalmente insetos e gastrópodes que podem destruir os ovos mecanicamente ou utilizando-os como alimento. (WHO, 2004).

3.4.9. Ocorrência e remoção de ovos de helmintos em águas residuárias e lodo

Ocorrência de ovos de helmintos no esgoto bruto

Os fatores que afetam a ocorrência e concentração de ovos de helmintos e cistos de Protozoários no esgoto bruto incluem a endemicidade das doenças dentro da população humana e animal, as características socioeconômicas da população, a contribuição de esgoto industrial, o volume de afluente amostrado e recuperado e a eficiência do método de amostragem. (WHO, 2004).

A tabela 7 apresenta um resumo da ocorrência de ovos de helmintos em esgoto bruto em diversos países. As maiores concentrações foram encontradas em cidades iranianas e brasileiras, sendo isto o resultado direto das baixas condições socioeconômicas da população. Ausência de saneamento em toda a comunidade, condições precárias de habitação e baixo consumo per capita de água, tudo contribui para um elevado nível de incidência de infecções parasitária nas comunidades e à alta concentração de organismos parasitas, tais como ovos de nematoides, nas águas residuais de uma comunidade. (WHO, 2004).

Tabela 7. Ocorrência de nematoides parasitas intestinais no esgoto bruto em diversos países, de acordo com diversos autores.

Quantidade (ovos/L)	País	Referência
200-2130	Calcutá	BHASKARAN, 1956
10-80	Japão	LIEBMANN, 1964
500-13000	Iran	SADIGHIAN et. al, 1976
581-838	Índia	VEERANNAN, 1977
3340	Síria (Aleppo)	BRADLEY & HADIDY, 1981
460	Síria (Lattakia)	BRADLEY & HADIDY, 1981
38-670	Nordeste do Brasil	AYRES, et. al., 1989
9	França (Nancy)	SCHWARTZBROD, et. al., 1989
18-840	Marrocos	SCHWARTZBROD, et. al., 1989
100-800	Jordânia	AL-TARAZI, 1989
205-591	Quênia	AYRES, et. al., 1993
550-8900	Brasil	AYRES, et. al., 1993

Fonte: Adaptado de WHO ,2004.

3.4.10. Remoção de ovos de helmintos nos sistemas de tratamento de águas residuárias

A princípio, os sistemas de tratamento de esgotos convencionais são dimensionados de modo a remover matéria orgânica, garantindo a manutenção do oxigênio dissolvido no corpo hídrico receptor do efluente tratado. Já com relação às águas residuárias destinadas ao reuso, o principal objetivo do tratamento é a remoção de patogênicos.

A presença de ovos de helmintos e cistos de protozoários nos efluentes líquidos e lodo é um fator limitante para o reuso desse material. Vários processos biológicos foram estudados para verificar a inativação dos ovos de helmintos nas águas residuárias. A eficiência de inativação dos processos biológicos convencionais vai depender do tipo de tratamento, do tempo de detenção e do tipo de ovo a ser removido. (WHO, 2004). A tabela 8 apresenta a eficiência de remoção dos ovos de helmintos em relação ao tratamento empregado nas águas residuárias de origem doméstica.

Tabela 8. Eficiência de remoção de ovos de helmintos e cistos de Protozoários nos principais processos de tratamento de efluentes domésticos

Processo de tratamento	Eficiência de remoção
Clarificação	80% de remoção de <i>Ascaris</i> , 54% de remoção de <i>Entamoeba</i>
Flotação	> 95% de remoção de ovos
Filtração	Retenção de 99% dos ovos
Lodos ativados	Promove o desenvolvimento dos ovos
Aeração prolongada	Promove o desenvolvimento dos ovos
Cloração	Não afeta

Fonte: Adaptado de WHO, 2004.

Vale ressaltar que os valores apresentados na tabela 8 só serão reais se o sistema empregado estiver operando de forma correta e confiável. ZERBINI (2000) encontrou no efluente de reator UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente) uma eficiência de remoção, da ordem de 71% no efluente final, e em testes com este efluente final tratado em rampas de escoamento superficial no solo, remoção de 100% dos ovos e cistos, cabendo ressaltar que a contagem zero de ovos e cistos não garante que este efluente final esteja isento dos parasitas, pois o método de detecção se baseia em resultados estatísticos.

Analisando ainda a tabela 8, observa-se que nenhum dos processos apresentados remove 100% dos ovos e cistos, e mesmo os que possuem alta remoção, não ocorre a destruição dos ovos, e sim somente a remoção física dos mesmos.

Pesquisas apontam que a maior remoção de parasitas ocorre em processos de sedimentação primária, sendo o tempo de detenção necessário para a remoção de aproximadamente 2 horas, dependendo do tipo de ovo. Em estações na Índia, pôde-se observar remoção de 46% de ovos de ancilostomídeos e 67% de remoção de ovos de *Ascaris* em sedimentação primária com tempo de detenção de 1,5h e 75% de remoção de ovos de ambos com 2h de sedimentação. O mesmo sistema apresentou 100% de remoção quando seguido de filtração e 96% de remoção quando seguido de lodos ativados. (WHO, 2004).

A tabela 9 apresenta as características físicas dos principais parasitas de importância sanitária, sendo que estas características são vitais para determinar a eficiência dos processos de remoção desses organismos dentro dos processos de tratamento de águas residuárias, pois já que os principais métodos de remoção são físicos, como sedimentação e filtração, por exemplo.

Tabela 9. Características físicas das principais espécies de parasitas de importância sanitária

Espécie	Dimensões (µm)	Densidade (g/cm ³)	Sedimentação (m/h)
<i>A. suum</i>	65X45	1,13	0,95
<i>A. lumbricoides</i>	55X40	1,11	0,43
<i>S. mansoni</i>	50X150	1,18	5,23
<i>T. trichiura</i>	22X50	1,15	0,48
<i>T. saginata</i>	40X35	1,3	0,83
Ancilostomídeos	60X40	1,055	0,26

Fonte: Adaptado de COELHO; CARVALHO; ARAÚJO, 2002

Ocorrência e sobrevivência de ovos de helmintos em lodos provenientes de sistemas de tratamento de esgotos domésticos

A ocorrência de ovos de helmintos em lodo de esgotos domésticos é uma consequência principalmente dos processos de tratamento por sedimentação. A ocorrência desses ovos em lodos de ETE provenientes de vários países é apresentada na tabela 10.

Tabela 10. Ocorrência de ovos de parasitas em lodo de esgoto doméstico proveniente de vários países

País	Quantidade	Unidade	Referência
África do Sul	1100-7805	Ovos/g de massa seca	KELLER & HIDE, 1951
Iran	14000-25000	Ovos/g de massa seca	SADIGHIAN et. al. 1976
Estados Unidos	287-1943	Ovos/100g de massa seca	REIMERS et. al. 1981
França	83-130	Ovos/Kg de massa úmida	SCHWARTZBROD et. al. 1986
Jordânia	40-1015	Ovos/g de massa seca	HINDIYEH, 1995
Brasil	5187-44306	Ovos/g de massa seca	AYRES, 1992

Fonte: Adaptado de WHO, 2004.

Em processos aeróbios e anaeróbios de estabilização de lodos pode ou não ocorrer o aumento da temperatura até níveis letais ($>55^{\circ}\text{C}$) aos parasitas e devida a necessidade de oxigênio para o desenvolvimento das larvas, em processos anaeróbios ocorre a inibição desse desenvolvimento enquanto em processos aeróbios, ocorre um estímulo ao desenvolvimento das larvas. Portanto para garantir a inativação desses parasitas há a necessidade de tratamentos como incineração, desinfecção com raios UV, micro-ondas, etc. no lodo após a sua estabilização. (WHO, 2004). A tabela 11 apresenta a influência de processos de estabilização e desinfecção de lodo na inativação de parasitas.

Tabela 11. Influência de processos de estabilização e desinfecção de lodos na inativação de parasitas

Operação Unitária	Eficiência
Digestão anaeróbia	Retardo do desenvolvimento dos ovos; destruição com aumento de temperatura
Digestão aeróbia	Promoção do desenvolvimento dos ovos; destruição com aumento de temperatura
Incineração	100% de destruição
Leitos de secagem	100% de destruição a umidade relativa de 5%
Cloração	Sem efeito
Radiação Gama	100% efetivo com 200 KRADs

Fonte: Adaptado de WHO, 2004.

3.4.11. Métodos de detecção de ovos de helmintos em águas residuárias

As técnicas de detecção de ovos de helmintos em águas residuárias advêm da adaptação dos métodos desenvolvidos para a detecção desses ovos em fezes. Geralmente, os métodos disponíveis se baseiam em processos de sedimentação, filtração, flotação ou a combinação dos mesmos para concentrar os ovos presentes na amostra e posteriormente enumerar e quantificar os mesmos.

Diversos métodos para a identificação e enumeração de ovos de helmintos em águas residuárias são descritos na bibliografia especializada, apresentando suas vantagens e desvantagens. Alguns apresentam considerável percentual de recuperação, porém, demandam grande tempo de análise. Alguns demandam reagentes químicos de custo muito elevado ou de uso não adequados para laboratórios com limitações de equipamentos. Sendo assim, fica claro, que não existe um método que seja universalmente aplicável, que recupere todos os ovos de helmintos de importância médica, e que tenha uma taxa de recuperação conhecida (AYRES & MARA, 1996 apud ZERBINI, 2000).

Sendo assim, os métodos empregados para análise parasitológica em águas residuárias variam de laboratório para laboratório, sendo uns mais específicos para o efluente bruto e outros para efluentes tratados. A escolha do método a ser utilizado deve ser feita de acordo com as exigências particulares de cada situação. Devendo-se considerar o objetivo da pesquisa e o tipo de sistema que está sendo utilizado para o tratamento das águas residuárias, além da percentagem de recuperação e aplicabilidade do método utilizado. (ZERBINI, 2000).

A maioria dos métodos disponíveis baseia-se em um destes princípios: Separação dos ovos por flutuação dos resíduos presentes na amostra, em uma solução de maior densidade relativa; ou a gordura e outros materiais são separados em uma solução de interface enquanto os ovos sedimentam em uma solução não miscível, abaixo.

“Estes procedimentos se baseiam na força centrífuga. Os fatores que determinam se a concentração de determinadas espécies de ovos de helmintos será satisfatória dependerão do balanço hidrofílico-lipofílico

dos ovos de helmintos e da densidade relativa destes em relação ao reagente de separação. Isso significa, na prática, que o pH, ou a presença de metais pesados ou alcoóis nos reagentes utilizados, poderá alterar as propriedades das superfícies dos ovos de helmintos, e cada espécie responderá diferentemente a essas alterações: assim, nenhum método concentrará todas as espécies com a mesma eficiência". (AYRES & MARA, 1996 apud ZERBINI, 2000).

A tabela 12 apresenta um resumo das principais metodologias de detecção de ovos de helmintos em águas residuárias e o princípio de cada método.

Tabela 12. Principais métodos de enumeração de ovos de helmintos em águas residuárias

Método	Princípio	Observações	Referência
WHO (1989)	Sedimentação	Esgoto bruto e tratado	WHO (1989)
WHO (1989)	Centrifugação e flutuação	Esgoto bruto e tratado	WHO (1989)
Leeds I	Sedimentação	Esgoto bruto	AYRES et. al. (1989)
Stien & Schwartzbrod	Sedimentação e flutuação	Esgoto bruto e tratado	STIEN & SCHWARTZBROD (1989)
BAILENGER Modificado	Sedimentação e flutuação	Esgoto bruto e tratado	AYRES & MARA (1996)

Fonte: Adaptado de WHO, 2004.

No presente estudo, foi utilizada a metodologia descrita por WHO (1989) baseando-se no procedimento de sedimentação – flutuação que será descrita em detalhes no item Metodologia.

3.5. Reuso de águas residuárias

3.5.1. Contextualização histórica

Pode-se definir reuso como sendo o reaproveitamento de efluentes industriais ou domésticos após extensão de seu tratamento convencional, com ou sem investimentos adicionais. (TELLES; COSTA, 2007).

O reuso de água não é um conceito novo na história do planeta. A natureza, por meio do ciclo hidrológico, recicla e reutiliza a água há milhões de anos, e com muita eficiência. Cidades, lavouras e indústrias já se utilizam, a muitos anos, de uma forma indireta de reuso, que resulta da utilização de águas, por usuários de jusante que captam águas que já foram utilizadas e devolvidas aos rios pelos usuários de montante. Milhões de pessoas no mundo todo são abastecidas por esta forma indireta de água de reuso. (HESPANHOL; GONÇALVES, 2004).

Durante muitos anos este sistema funcionou de forma amplamente satisfatória, o que, contudo não acontece mais em muitas regiões, face ao agravamento das condições de poluição, basicamente pela falta de tratamento adequado de efluentes urbanos, quando não pela sua total inexistência. (HESPANHOL; GONÇALVES, 2004).

Houve uma evolução para uma forma denominada direta de reuso, onde se trata um efluente para sua reutilização em uma determinada finalidade, que pode ser interna ao próprio empreendimento, ou externa, para uma finalidade distinta da primeira, como por exemplo, a prática de reuso de efluentes urbanos tratados para fins agrícolas. (HESPANHOL; GONÇALVES, 2004).

A forma direta utiliza tecnologias de renovação e reuso de água, que passaram por diversas fases nos últimos duzentos anos. A primeira fase foi motivada por uma vertente baseada no conceito conservacionista em que os dejetos da sociedade deveriam ser utilizados para fertilização dos solos ou simplesmente despejados nos rios. No final do século XIX, o conceito de tratamento de efluentes domésticos por disposição nos solos foi utilizado na Grã-Bretanha, Alemanha e nos Estados Unidos com enfoque na redução da poluição dos rios. (HESPANHOL; GONÇALVES, 2004).

Na segunda fase, até o final dos anos noventa, o principal enfoque foi basicamente a necessidade de se conservar e reutilizar a água em zonas

áridas ou com baixa disponibilidade hídrica. Verificaram-se grandes esforços de reuso de água para o desenvolvimento agrícola em zonas áridas dos Estados Unidos, como Califórnia e Texas, e em países como a África do Sul, Israel e Índia. Em Israel, por exemplo, o reuso de águas residuárias tornou-se uma política nacional em 1955. (HESPANHOL; GONÇALVES, 2004).

A terceira fase, a atual, acabou se sobrepondo à segunda, e é baseada na urgência de se reduzir a poluição dos rios e lagos. Como as exigências ambientais foram se tornando cada vez mais restritivas, os planejadores concluíram que dados os altos investimentos requeridos para o tratamento dos efluentes, se torna mais vantajoso reutilizar estes efluentes ao invés de lançá-los de volta aos rios. (HESPANHOL; GONÇALVES, 2004).

A água de reuso proveniente de estações de tratamento de efluentes urbanos para processos industriais tem sido utilizada, predominantemente, em sistemas de refrigeração, em especial, nos empreendimentos localizados próximos às ETE's. (HESPANHOL; GONÇALVES, 2004).

Segundo HESPANHOL; GONÇALVES (2004), a implantação de sistemas eficientes de reuso de água proveniente do setor público pode se tornar inviável, caso não sejam considerados os seguintes itens:

- Políticas e planos diretores consistentes de reuso das empresas concessionárias;
- Localização das estações de tratamento e sua proximidade de polos industriais;
- Implantação de infraestrutura (redes de distribuição);
- Garantia e controle da qualidade;
- Garantia de cumprimento dos contratos firmados; e
- Regulamentação normativa e legal.

Sendo assim, observa-se nos últimos anos, que a expansão das técnicas de reuso é uma realidade e em suas diversas aplicações revela-se uma técnica segura e confiável quando seus sistemas são operados adequadamente. (TELLES; COSTA, 2007).

A técnica do reuso de águas residuárias vem cada vez mais sendo reconhecida como uma opção considerável para a racionalização dos recursos

hídricos, mas ainda depende muito da aceitação popular, de aprovação do mercado e da vontade política. (TELLES; COSTA, 2007).

A substituição da água potável por água de reuso, quando possível, auxilia na manutenção da sustentabilidade desse recurso. Para a viabilização dos sistemas de reuso, o tratamento e a distribuição da água de serviço não devem demandar mais energia e produtos químicos do que aqueles necessários para o tratamento da água potável do abastecimento convencional. (ORNELAS, 2004).

Nem todo o volume de esgoto gerado precisa ser tratado para ser reutilizado, mas existem casos onde os efluentes exigem processos bastante específicos de purificação. As especificações variam de acordo com o uso final do efluente tratado, devendo-se sempre respeitar o princípio de adequação da qualidade da água à sua utilização.

3.5.2. Aspectos legais do reuso de água

As águas residuárias de origem doméstica contêm uma série de agentes patogênicos e compostos químicos que podem de alguma forma, ser prejudiciais nas águas de reuso. Portanto, é essencial que essas águas sejam tratadas da maneira mais adequada, de forma a garantir que esses agentes contaminantes não sejam disseminados através da água de reuso. Para haver um controle de qualidade é necessária a utilização de ferramentas legais que obriguem aos produtores de água de reuso controlar determinados parâmetros físicoquímicos e biológicos.

Conforme foi apresentado no contexto histórico, as águas residuárias já são reutilizadas há bastante tempo, porém até hoje, em alguns locais, ainda não existem leis e diretrizes para o controle de sua qualidade.

Os regulamentos e diretrizes sobre reuso surgiram com a necessidade de adequar as práticas que já ocorriam, ou ainda prevendo sua ocorrência futura de maneira a considerar, principalmente, a saúde humana e ambiental. (RODRIGUES, 2005).

Em 1989, a Organização Mundial de Saúde estabeleceu critérios básicos para a proteção dos grupos de risco associados ao reuso agrícola. As recomendações são baseadas na conclusão de que os principais riscos do

reuso em países em desenvolvimento estão associados às doenças provocadas por helmintos. (TOSETTO, 2005).

Em 1992 a Agência de proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) criou algumas recomendações referindo-se diretamente ao reuso de águas residuárias. Sendo o estado da Califórnia o pioneiro ao desenvolver suas primeiras regulamentações em 1918, tendo hoje os seus critérios vigentes no estado, sob o “Título 22 do Código da Califórnia”, adotados em 1978 para reuso de águas residuárias. Esses critérios têm servido como base para padrões de reuso em outros estados e muitos países. Na Tabela 13 são apresentadas as diretrizes apresentadas pela Agência de Proteção Ambiental americana e na tabela 14, as diretrizes contidas no “Título 22 do Código da Califórnia” para reuso em agricultura e paisagismo. (TOSETTO, 2005).

Tabela 13. Qualidade da água de reuso e tipo de tratamento sugerido para as categorias de reuso de esgoto municipal.

Categoria de reuso	Tratamento	Qualidade da água de reuso
Reuso urbano irrestrito	Secundário, filtração e desinfecção	DBO ₅ < 10 mg/L Coliformes fecais: ND/100mL Turbidez < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reuso urbano restrito	Secundário e desinfecção	DBO ₅ < 30 mg/L SST < 30 mg/L Coliformes fecais < 200/100mL Turbidez < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reuso agrícola de culturas alimentícias	Secundário, filtração e desinfecção	DBO ₅ < 10 mg/L Coliformes fecais: ND/100mL Turbidez < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reuso agrícola de culturas não alimentícias	Secundário e desinfecção	DBO ₅ < 30 mg/L SST < 30 mg/L Coliformes fecais < 200/100mL Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reuso recreacional irrestrito	Secundário, filtração e desinfecção	DBO ₅ < 10 mg/L Coliformes fecais: ND/100mL Turbidez < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reuso recreacional restrito	Secundário e desinfecção	DBO ₅ < 30 mg/L SST < 30 mg/L Coliformes fecais < 200/100mL Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reuso ambiental	Geralmente secundário e desinfecção	Variável, mas não deve exceder: DBO ₅ < 30 mg/L SST < 30 mg/L Coliformes fecais < 200/100mL
Reuso industrial	Depende do uso	Depende do uso
Reuso em recarga de aquífero	Primário para infiltração e percolação Secundário p/ injeção	Variável

Fonte: Adaptado de USEPA, 1992 *apud* TOSETTO, 2005.

Tabela 14. Requisitos de qualidade e tratamento requerido para água de reuso em agricultura e paisagismo, segundo o “Título 22 do Código da Califórnia”

Tratamento	Requisitos de qualidade	Tipo de reuso
Primário	SST ≤ 100 mg/L DBO _{5, 20} ≤ 120 mg/L	Irrigação de cultura de grãos, plantas forrageiras, ração para animais, jardins e vinhedos
Secundário e desinfecção	SST ≤ 30 mg/L DBO _{5, 20} ≤ 30 mg/L Coliformes totais ≤ 23/100mL	Irrigação de pastagens para gado leiteiro, campos de golf, cemitério, canteiros centrais de autoestradas, cinturões verdes e lagos recreacionais
Secundário e desinfecção	SST ≤ 30 mg/L DBO _{5, 20} ≤ 30 mg/L Coliformes totais ≤ 2,2/100mL	Lagos recreativos de acesso restrito
Secundário, filtração e desinfecção	SST ≤ 15 mg/L DBO _{5, 20} ≤ 15 mg/L Coliformes totais 2,2/100mL	Irrigação de culturas alimentícias, parques, pátios escolares gramados e em lagos recreativos de acesso restrito

Fonte: Adaptado de MANCUSO e SANTOS, 2003 *apud* TOSETTO, 2005.

Observa-se que os padrões da USEPA e da Califórnia são bastante restritivos e com altos níveis de exigência, portanto, para o atendimento desses parâmetros deve-se haver um controle rigoroso nos processos de tratamento do efluente a ser reusado.

Em alguns estados norte-americanos não há a exigência de parâmetros e não se exige monitoramento de vírus e protozoários, pois, por exemplo, no caso de irrigação irrestrita, a combinação de requerimentos de tratamentos e o uso de indicadores (turbidez e cloro residual) deve assegurar efluentes livres de níveis detectáveis de patógenos. Já no caso de irrigação restrita, por exemplo, exigências mais rigorosas de tratamento não seriam justificadas com relação ao custo – benefício. Com relação aos helmintos, também há certa omissão, talvez pelo fato de que os tratamentos de efluentes mais empregados lá (sedimentação, filtração ou lagoas de estabilização) tenham boa remoção dos mesmos. (FLORENCIO, 2006).

A tabela 15 apresenta as diretrizes recomendadas pela OMS para reuso agrícola, publicadas no ano de 1989 e vigente até os dias atuais. São critérios relativamente rigorosos, principalmente no que diz respeito à remoção de helmintos, porém, são omissos com relação aos vírus e protozoários. (FLORENCIO, 2006).

Tabela 15. Diretrizes da OMS para reuso agrícola de esgotos sanitários

Tipo de irrigação e cultura	Helmintos (ovos/L)	Coliformes termotolerantes (org./100mL)	Processo de tratamento
Culturas a serem consumidas cruas	≤ 1	≤1000	Lagoas de estabilização em série, ou equivalente em termos de remoção de patogênicos
Culturas processadas industrialmente	≤ 1	SR ⁽²⁾	Lagoas de estabilização com TD de 8 a 10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes termotolerantes
Irrigação localizada de plantas na ausência de riscos para os agricultores e público em geral	NA ⁽¹⁾	NA	Pré-tratamento de acordo com o método de irrigação, no máximo sedimentação primária

Fonte: Adaptado de FLORENCIO, 2006.

(1) NA: não se aplica. (2) SR: sem recomendações.

Vale ressaltar também, que quando se pretende reusar efluentes domésticos na agricultura deve-se analisar, além dos aspectos de saúde, o potencial de fertilização do efluente procurando-se estabelecer um balanço entre a demanda e oferta de água e nutrientes; os efeitos da qualidade do efluente sobre o solo e plantas e os problemas no sistema de irrigação. (FLORENCIO, 2006).

Segundo MANCUSO e SANTOS (2003) *apud* TOSETTO (2005), o Brasil ainda não possui legislação específica para o reuso de água, até o presente, as avaliações legais relativas a essa prática, têm sido baseadas em legislações de outros países, principalmente, nos critérios de qualidade para reuso de água da OMS, entendida como referência mundial, em que pese à necessidade de considerações de caráter regional e de outras naturezas.

TOSETTO (2005) ainda afirma que apesar da legislação de classificação das águas, CONAMA nº357, de 2005, não tratar diretamente da questão do reuso, sua versão anterior, CONAMA nº 20, de 1986, considera o reuso como o reaproveitamento das águas já utilizadas. Assim, classes inferiores de águas podem ser chamadas de águas para reuso. Além do que, se as águas comportam classes definidas segundo os usos preponderantes, se leva em consideração o reuso para estabelecer classes.

Sendo assim, afirma-se de acordo com MANCUSO e SANTOS (2003) *apud* TOSETTO (2005), que a Resolução CONAMA nº 357 trata das questões

relativas ao reuso indireto, definindo os usos e reusos para cada classe e ainda estabelece os parâmetros físico-químicos para cada uma delas. Das classes em que são divididas as águas doces, a única que não pode ser indicada para reuso é a Classe Especial, já que, por sua natureza, são reservadas ao abastecimento público.

A tabela 16 apresenta as classes de água doce e seus respectivos usos e reusos indiretos definidos pela Resolução CONAMA nº357.

Tabela 16. Classificação das águas doces segundo os seus usos preponderantes – Resolução CONAMA 357

Classe	Usos permitidos
Especial	Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
1	Abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças a serem consumidas cruas e de frutas cujo crescimento é rente ao solo e serão consumidas cruas e proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.
2	Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de árvores frutíferas, parques, jardins; agricultura e pesca.
3	Abastecimento humano após tratamento convencional ou avançado; Irrigações de vegetação arbórea, cereais e forrageiras; pesca amadora; recreação de contato secundário; dessedentação de animais.
4	Navegação e harmonia paisagística.

Fonte: Adaptado de TOSETTO, 2005.

Portanto, observa-se que no Brasil não há uma legislação específica acerca do reuso de águas residuárias, há apenas uma norma, a NBR13969 que aborda o reuso como uma alternativa de disposição dos esgotos tratados e a Resolução 54, de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) que apresenta as definições dos tipos de reuso, estabelece os critérios de licenciamento e outras orientações gerais. (TELLES; COSTA, 2007).

3.5.3. Tipos de reuso

Segundo TELLES; COSTA (2007) existem diversas formas de reuso das águas residuárias, dependendo da sua finalidade e das características físicoquímicas e microbiológicas, que são as seguintes:

Reuso indireto não planejado: O efluente, após tratamento, ou não, é lançado em um corpo hídrico, onde ocorre sua diluição e após certo tempo de detenção, este mesmo corpo hídrico é utilizado como manancial;

Reuso indireto planejado: O efluente tratado é despejado de forma planejada nos corpos de água para sua posterior utilização à jusante, de maneira controlada, atendendo a algum benefício, sendo assim, é necessário que o corpo receptor intermediário não seja poluído, para que ocorra a diluição do efluente, reduzindo a carga poluidora a níveis adequados.

Reuso direto planejado: O efluente depois de tratado é encaminhado diretamente de seu ponto de descarga até o local de reuso, não sendo despejado nos corpos de água. É o caso de maior ocorrência, ex: irrigação, usos industriais.

Reciclagem de água: Considerado reuso interno, onde após sua utilização, a água retorna ao ponto original de abastecimento, como fonte suplementar de abastecimento.

Dentre as utilizações, podem ser urbanas, agrícolas ou industriais. Com maiores detalhes, TOSETTO (2005) descreveu os seguintes tipos de reuso de efluentes domésticos:

Reuso urbano irrestrito: irrigação de áreas onde o acesso do público não é restrito, como por exemplo: parques, jardins, descarga de sanitários, proteção contra incêndio, construção civil e fontes ornamentais.

Reuso urbano restrito: irrigação de áreas onde o acesso da população pode ser controlado, como por exemplo: campo de golfe, cemitérios e canteiros de rodovias.

Reuso agrícola de culturas alimentícias: irrigação de culturas destinadas ao consumo humano direto, certas vezes classificados como alimentos de consumo cru.

Reuso agrícola de culturas não alimentícias: irrigação de forrageiras para gado, fibras, sementeiras, viveiros, aquicultura.

Reuso recreacional irrestrito: represas e lagos sem nenhuma limitação de contato em atividades recreacionais como natação e mergulho.

Reuso recreacional restrito: represas e lagos de água aproveitada onde a recreação é limitada à pesca, canoagem e outras atividades de contato indireto.

Reuso ambiental: uso de água aproveitada para sustentar vazões.

Reuso industrial: água reutilizada em instalações industriais como sistema de refrigeração, reposição de água, água de alimentação de caldeira e água de processo.

Reuso em recarga de aquífero: reposição de aquífero, controle de salinidade e de rebaixamento de lençol freático.

3.5.4. Reuso urbano

Quando o efluente é essencialmente de origem doméstica facilita a viabilização do seu reuso para fins urbanos. Por questões de saúde pública, essa água só pode ser utilizada para fins não potáveis, como por exemplo, na irrigação de jardins, na limpeza de vias públicas, etc. O reuso urbano para fins potáveis só é realizado em locais com extrema escassez de água, e com tecnologia de ponta, que garanta a segurança da qualidade físico-química e biológica dessa água. (TELLES; COSTA, 2007).

O reuso urbano tem seu potencial bastante diversificado, porém pode demandar de altos custos, pois dependendo da necessidade, pode requerer tratamentos avançados.

Reuso urbano para fins potáveis

Uma das condições para reutilizar um efluente doméstico para fins potáveis é que não haja mistura de efluentes de outras origens nesse material. Isso ocorre devido a dificuldade de identificar os inúmeros componentes químicos presentes nos efluentes industriais, portanto, quando a finalidade do reuso é o abastecimento público, a primeira providência a ser tomada é a garantia da existência apenas do efluente de origem doméstica na água a ser tratada.

Os elevados riscos associados à utilização de águas residuárias para fins potáveis exigem cuidados extremos para assegurar proteção efetiva e permanente à população usuária. Os sistemas de tratamento a serem

implantados devem ser unidades suplementares além das necessárias. É recomendado, quando possível, que antes de ser disponibilizado ao consumo, esse efluente tratado fique armazenado em aquíferos por certo tempo. (TELLES; COSTA, 2007).

Também se torna imprescindível a ampla divulgação à população desde a fase de projeto e discussão para que haja aceitação por parte do usuário, e que o mesmo se sinta tranquilo para utilizar essa água em seus consumos.

Reuso urbano para fins não potáveis

Este tipo de reuso envolve menos riscos quando comparado ao reuso para fins potáveis e deve ser considerado como primeira opção de uso, principalmente em locais onde a tecnologia para potabilizar o efluente ainda não está bem estabelecida. De acordo com a sua utilização devem ser tomados cuidados especiais que garantam o controle da saúde pública dos usuários, principalmente quando a prática envolve o contato direto com a população; ex: irrigação de áreas verdes, lavagem de ruas, reserva de proteção contra incêndio, etc. (HESPANHOL, 1999 *apud* TELLES; COSTA, 2007).

Diversos países da Europa e Ásia exercem este tipo de reuso, principalmente nos países onde há escassez de água potável. Entre eles, o Japão se destaca na utilização do reuso para várias práticas.

“Em Fukuoka, uma cidade com aproximadamente 1,2 milhões de habitantes, situada no sudoeste do Japão, diversos setores operam com rede dupla de distribuição de água, uma das quais com esgotos domésticos tratados em nível terciário (lodos ativados, desinfecção com cloro em primeiro estágio, filtração, ozonização, desinfecção com cloro em segundo estágio), para uso em descargas de toaletes em edifícios residenciais. Esse efluente tratado é também utilizado para outros fins, incluindo a irrigação de árvores em áreas urbanas, lavagem de gases e alguns usos industriais, tais como resfriamento e desodorização. Diversas outras cidades do Japão, entre as quais Oita, Aomori e Tóquio estão fazendo o uso de esgotos tratados ou de outras águas de baixa qualidade, para fins urbanos não potáveis, proporcionando numa economia significativa dos escassos recursos hídricos localmente disponíveis.” HESPANHOL, 1999 *apud* TELLES; COSTA, 2007).

De acordo com TELLES; COSTA (2007), algumas atividades têm maior potencial para o reuso não potável por envolverem riscos menores e devem ser consideradas como primeira opção de reuso nas áreas urbanas, respeitando sempre os devidos cuidados a serem tomados. São essas atividades:

- Irrigação de parques e jardins, centros esportivos, etc;
- Irrigação de jardins públicos, residenciais e industriais;
- Reserva de proteção contra incêndios;
- Sistemas aquáticos decorativos;
- Descarga sanitária;
- Limpeza de trens e ônibus;
- Controle de poeira em obras de construção civil.

Experiências com reuso urbano já tem sido realizadas no Brasil, e MANCUSO e SANTOS (2003) *apud* TOSETTO (2005) apresentaram alguns exemplos de sucesso como o projeto de reuso em um parque temático nas proximidades da cidade de São Paulo, e o projeto realizado pela Sabesp em parceria com a prefeitura do município de São Caetano do Sul – SP.

“No parque temático, o esgoto bruto proveniente dos sanitários, bares e restaurantes é tratado por processo de lodos ativados, não convencional, com separação da biomassa feita por membranas de microfiltração do tipo oco – *hollow fiber* – autolimpantes, submersas no tanque de aeração, e ainda por desinfecção com hipoclorito de sódio. O efluente tratado, armazenado em reservatório, é conduzido através de sistema duplo de distribuição para uso em descargas sanitárias e irrigação de jardins e gramados.” (TOSETTO, 2005).

Na tabela 17 são apresentados os parâmetros de qualidade do efluente tratado e os limites adotados no projeto do parque temático.

Tabela 17. Valores máximos observados no período de 1999-2001 e valores limites adotados para água de reuso em parque temático

Parâmetro	Efluente bruto	Efluente tratado	Limite
pH	7,16	7,9	6,5-8,3
Cor (UC)	-	10	<15
Turbidez (NTU)	-	0,5	≤5
Cloro residual	-	-	0,5
DQO (mg/L)	620	40	≤60
DBO (mg/L)	403	3,2	-
Óleos e graxas	350	<0,1	Ausente
Sólidos suspensos totais (mg/L)	-	-	≤5
Coliformes totais (NMP/ 100mL)	-	Ausente	≤2,2
Coliformes fecais (NMP/100mL)	-	Ausente	Ausente
Ovos de helmintos (ovos/L)	-	Ausente	<1
Cistos de protozoários (cistos/L)	-	Ausente	-

Fonte: Adaptado de MANCUSO e SANTOS (2003) *apud* TOSETTO (2005)

“A experiência da Sabesp em reuso urbano, denominado Projeto São Caetano, utiliza o efluente da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE ABC, tratado por processo de lodos ativados convencional, de eficiência superior a 90 % de remoção de DBO, seguido de tratamento na Estação de Condicionamento para Reuso – ECR, que consiste em filtragem grosseira com filtros - cestos, pré-cloração c/ hipoclorito de sódio, coagulação e floculação com policloreto de alumínio, filtragem fina por filtro de pressão de dupla-camada (antracito e areia) e pós-cloração, também com hipoclorito de sódio. O efluente tratado na ECR (31 L/s) é parcialmente usado em atividades internas da ETE (17L/s) como água de selagem de bombas, água de lavagem de pátios, irrigação de gramados e água de quebra espuma nos tanques de aeração, o restante (14 L/s) é disponibilizado, a um custo de R\$ 0,30/m³, ao município de São Caetano do Sul para usos externos, com fornecimento através de caminhão-pipa. A água de reuso é aplicada na rega de ruas sem calçamento (no controle de poeira), jateamento de lodo e detritos acumulados nas ruas após chuvas fortes, lavagem de ruas após feiras livres, desobstrução de redes coletoras de esgoto e galerias de águas pluviais, lavagem de prédios, pátios, jardins, praças e veículos.” (TOSETTO, 2005).

Os parâmetros adotados no Projeto São Caetano, foram baseados na legislação do estado da Califórnia - Estados Unidos e nas recomendações da OMS, assim como a qualidade obtida do efluente secundário pós-tratado para

reuso. Os parâmetros obtidos bem como os seus limites encontram-se na tabela 18.

Tabela 18. Limites adotados e valores dos parâmetros obtidos da água de reuso do Projeto São Caetano - referentes a março/2001

Parâmetro	Água de Reuso	Limite
pH	7,9	6,5-8,5
Cor (UC)	17	<10
Turbidez (NTU)	5,82	>10
Cloro total (mg/L)	14,1	>7
DQO (mg/L)	18	-
Sólidos suspensos totais (mg/L)	6	-
Coliformes totais (NMP/100mL)	-	< 2,2, não deve ser > 23 em mais de resultado/30 dias
Coliformes fecais (NMP/100mL)	<2	Ausente
Protozoários (cistos/ L)	Ausente	Ausente

Fonte: Adaptado de MANCUSO e SANTOS (2003) *apud* TOSETTO (2005)

CASTRO (2011) descreveu alguns casos de reuso de água urbano na região metropolitana de São Paulo. Nessa região existem cinco ETE's que produzem água de reuso: ABC, Parque Novo Mundo, Barueri, São Miguel e Jesus Neto, sendo que a ETE Parque Novo Mundo produz tanto para fins urbanos quanto para industriais. Os principais clientes são as prefeituras e subprefeituras da região metropolitana de São Paulo. Essa água é transportada por caminhões pipa e o seu destino é a lavagem de ruas e instalações e a limpeza e irrigação de áreas verde.

A SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) também produz água de reuso para fins exclusivamente industriais, no chamado projeto Aquapolo. A água de reuso é produzida na ETE ABC e abastece o Polo Petroquímico de Capuava, na região do Grande ABC, e com a operação desse projeto haverá a economia de água potável suficiente para abastecer uma cidade com 350 mil habitantes. As obras do projeto foram iniciadas em 2010 e têm conclusão prevista para o ano de 2012. (CASTRO, 2011).

No Estado do Paraná, a Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná) trata em média 23 milhões de m³/mês de efluente sanitário, sendo que 3,48% desse volume é reutilizado em suas próprias instalações. A água de

reuso é oriunda da ETE Atuba Sul, num projeto experimental de reutilização de águas residuárias. (CASTRO, 2011).

Na República da Namíbia, por exemplo, que reutiliza os seus efluentes exclusivamente para fins potáveis, o esgoto de origem industrial é coletado e tratado em sistemas separados dos efluentes domésticos. Além disso, é efetuado um controle interno pelos municípios para evitar a contaminação desse efluente pelo esgoto industrial. (TELLES; COSTA, 2007).

3.5.5. Reuso agrícola

Tem havido crescente interesse na reutilização de águas residuárias na agricultura ao longo das últimas décadas devido ao aumento da demanda por água doce. O crescimento populacional, aumentou o consumo per capita de água e as demandas da indústria e do setor agrícola fizeram pressão sobre os recursos hídricos. O tratamento dos efluentes domésticos produz, muitas vezes, água com qualidade para ser utilizada na agricultura. A reutilização de águas residuárias tem sido bem sucedida para a irrigação de uma ampla gama de culturas, e aumentos na produtividade das culturas de 10 a 30% têm sido relatadas. (BLUMENTHAL *et. al.*, 2000).

As águas residuárias são amplamente utilizadas para a irrigação em alguns países, por exemplo, 67% do total de efluentes de Israel, 25% na Índia e 24% na África do Sul são reutilizados para irrigação através de um planejamento direto, embora a reutilização não planejada seja consideravelmente maior. (BLUMENTHAL *et. al.*, 2000).

Porém, a irrigação de culturas alimentares com águas residuárias não tratadas podem resultar na transmissão de verminoses intestinais e infecções bacterianas. A transmissão de infecções de *Ascaris* e *Trichuris* através do consumo de culturas irrigadas por águas residuárias foi demonstrada no Egito e em Jerusalém, onde as infecções caíram para níveis muito baixos quando se encerrou esse tipo de irrigação. (BLUMENTHAL *et. al.*, 2000).

De acordo com TELLES; COSTA (2007), a aplicação de reuso na agricultura, quando bem projetada, fornece grandes vantagens tanto técnicas quanto econômicas e ambientais. Destacando-se as seguintes vantagens:

- Diminuição da captação de água bruta;
- Controle de poluição e impactos ambientais;
- Economia de fertilizantes;
- Conservação do solo e aumento da área cultivada;
- Evita a descarga de efluentes nos corpos hídricos;
- Aumento da produção agrícola;

Porém, quando o reuso agrícola não é bem planejado e executado, pode acabar acarretando em alguns problemas, dentre os quais se destacam o comprometimento da saúde pública, a contaminação de solos e aquíferos, acúmulo de compostos químicos e o aumento significativo da salinidade no solo. (TELLES; COSTA, 2007).

Para garantir a qualidade e o sucesso da aplicação do reuso de águas residuárias na agricultura, devem-se tomar os seguintes cuidados: Utilizar o tipo de cultura adequado ao tipo de solo; quando necessário, efetuar o rodízio de culturas; controlar a presença de substâncias químicas no solo; manter as técnicas de irrigação adequadas para cada caso; aplicar um sistema adequado de drenagem do solo; utilizar técnicas adequadas para o controle de vetores e principalmente respeitar as normas de controle de saúde pública. (TELLES; COSTA, 2007).

A irrigação de culturas com águas residuárias tratadas proporciona, quando bem elaborada, proporciona não só a economia de água bruta, como serve também como uma forma de pós-tratamento dos efluentes pelo sistema solo-planta, que atua absorvendo e removendo nutrientes, poluentes e organismos patogênicos remanescentes. O sistema solo-planta funciona como um reator renovável onde os esgotos passam a ser a fonte de energia, e não mais um problema ambiental. (FLORENCIO *et. al.*, 2006).

Para realizar a irrigação com água de reuso, é necessário que se conheçam os parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente a ser utilizado assim como o tipo de irrigação e cultura. (TELLES; COSTA, 2007).

Os nutrientes presentes no esgoto podem tanto ser benéficos quanto prejudiciais às plantações, devendo sempre haver o conhecimento de suas características para avaliar a ideal utilização nas culturas. Precisa-se ter o controle das concentrações e da presença de substâncias como os sais, os

sólidos dissolvidos, os agentes tóxicos, os macronutrientes, o nitrogênio, o fósforo, etc. Os nutrientes mais importantes disponíveis na água de reuso são o nitrogênio, o fósforo, o potássio, zinco, boro e o enxofre, sendo que o nitrogênio é responsável pelo estágio inicial de germinação da planta, porém, quando em excesso, pode provocar um grande desenvolvimento indesejável do vegetal, podendo inclusive retardar o seu amadurecimento prejudicando assim a qualidade da produção. (TELLES; COSTA, 2007).

Métodos de disposição dos efluentes domésticos no solo

As águas residuárias tratadas ou não podem ser dispostas no solo pelos seguintes processos: irrigação, infiltração-percolação e escoamento superficial.

Nos processos de irrigação, o efluente doméstico é submetido aos seguintes fenômenos (GOBBI, 2010):

- Infiltração até o lençol freático;
- Incorporação pela vegetação e parcial lançamento à atmosfera através da evaporação e evapotranspiração;
- Incorporação no solo através de reações químicas;

Para cada cultura, há um método de irrigação adequado, sendo sua classificação baseada na forma de disposição da água no vegetal, tendo sua divisão em 4 categorias: por superfície, por aspersão, localizada ou subterrânea. (TELLES; COSTA, 2007).

1. Irrigação por superfície

Nesta técnica, a água é distribuída sobre a superfície do solo, possibilitando a sua infiltração, podendo também a água, permanecer acumulada ou manter-se em movimento. Este tipo de irrigação pode ser utilizado na maioria das culturas e em quase todos os tipos de solo, menos nos arenosos, porém, necessita de topografia favorável. Para este tipo de irrigação, existem três técnicas: Irrigação por sulcos; irrigação por inundação e irrigação por faixas. (TELLES; COSTA, 2007).

2. Irrigação por aspersão

Neste caso, a irrigação é feita por um dispositivo chamado aspersor, cujo orifício lança a água de maneira fracionada, com pressão adequada, para cima e para os lados, distribuindo pequenas gotas uniformemente sobre uma

área circular do terreno. Esse tipo de irrigação é dividido em dois grupos: aspersão convencional e aspersão mecanizada. (TELLES; COSTA, 2007).

3. Irrigação localizada

Este tipo de irrigação tem como princípio não molhar as áreas que não possuem cultura e/ou áreas desnecessárias, mantendo a aplicação da água apenas na área do solo ocupada pelo sistema radicular das plantas, evitando gastos indevidos de água. Além do que, propicia menores riscos à saúde, tanto dos trabalhadores rurais quanto dos usuários. O sistema constitui-se de uma extensa rede de tubulações funcionando em baixa pressão conduzindo a água até a parte inferior do caule das plantas. Possui também um sistema de filtragem e permite a passagem de pequena vazão em orifícios de pequeno diâmetro localizados rente à superfície do solo, sempre direcionados à parte inferior do caule das plantas, de forma a irrigar apenas os sistemas radiculares. (TELLES; COSTA, 2007).

Esse tipo de irrigação é utilizado nas seguintes culturas: abacate, abacaxi, acerola, ameixa, banana, cacau, café, cana-de-açúcar, caqui, coco, crisântemo, ervilha, figo, flores, goiaba, graviola, horticultura, laranja, limão, maçã, mamão, maracujá, melão, morango, nectarina, pera, pêssigo, pimentado-reino, tomate e uva. (TELLES; COSTA, 2007).

Este sistema possui três variações: Irrigação localizada por gotejamento, irrigação localizada por microaspersão e irrigação localizada por tubos perfurados. (TELLES; COSTA, 2007).

4. Irrigação subterrânea

É baseada na introdução de água no interior do solo através de dois processos: elevação do nível do lençol freático ou aplicação de água no interior do solo. (TELLES; COSTA, 2007).

Vale ressaltar que em cada método de irrigação é necessário avaliar a qualidade da água necessária, assim como os seus diferentes riscos à saúde pública. Ao analisar a qualidade da água a ser aplicada na agricultura, é necessário avaliar as seguintes condições: A relação da água com seu efeito no solo e o desenvolvimento das culturas como, a toxicidade, a salinidade, etc.; os efeitos sobre a saúde e controle da exposição humana; os efeitos sobre os

equipamentos; as recomendações e critérios legais e os cuidados com a saúde dos trabalhadores do plantio. (TELLES; COSTA, 2007).

Exemplos da aplicação de reuso na agricultura

Um dos locais pioneiros na utilização de água de reuso na agricultura é a Califórnia – EUA. A maior parte da água de reuso (78%) é usada no Vale Central e na região litoral Sul. O efluente é utilizado em pelo menos 20 culturas diferentes. (PESCOD, 1992). A tabela 19 apresenta as principais culturas irrigadas com água de reuso na Califórnia.

Tabela 19. Principais culturas irrigadas com água de reuso na Califórnia

Culturas para fins alimentícios		Outras culturas
Maça	Uva	Alfafa
Aspargo	Alface	Pinheiro
Abacate	Milho	Trevo
Cevada	Pêssego	Algodão
Feijão	Pimentão	Eucalipto
Brócolis	Pistache	Feno
Repolho	Ameixa	Gramma
Couve-flor	Abóbora	
Aipo	Beterraba	
Trigo		

Fonte: Adaptado de PESCOD, 1992.

O Departamento de Reutilização de Água do Estado da Califórnia reconhece quatro níveis de tratamento além do tratamento primário, com base nos processos unitários e sobre a utilização dos efluentes na agricultura (PESCOD, 1992):

- Tratamento secundário em lagoas de estabilização, incluindo a desinfecção ou;
- Tratamento secundário pelo processo de lodos ativados incluindo a desinfecção com:
- Tratamento terciário utilizando filtração e outros processos destinados a cumprir as exigências legais.
- Tratamento terciário composto por oxidação, coagulação, clarificação e filtração. Ou o efluente do tratamento secundário é tratado por filtração direta, ou seja, coagulação seguida de filtração.

Todas as estações de tratamento de efluentes realizam algum tipo de tratamento em nível terciário, sendo que algumas ainda incluíam em seus tratamentos processos de adsorção, desinfecção, desnitrificação e osmose reversa. Essas aplicações ocorriam de acordo com a necessidade da cultura a ser irrigada.

Há outro exemplo de aplicação de água de reuso na agricultura em Monterrey. A agência de estudos de recuperação de águas residuárias para a agricultura de Monterrey (MWRSA) investiu 7,2 milhões dólares num projeto destinado a avaliar a segurança e a viabilidade da irrigação de culturas alimentícias com água de reuso. Para o estudo, foram cultivadas as seguintes culturas: brócolis, couve-flor, alface e aipo e foi feito um levantamento por um período de 5 anos, com início no final da década de 1980. (PESCOD, 1992).

Outros exemplos da utilização de águas de reuso são apresentados na tabela 20.

Tabela 20. Áreas irrigadas com efluentes de estações de tratamento; culturas desenvolvidas e parâmetros de qualidade de água

Local	Área Irrigada (ha)	Principais culturas	pH	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Na (meq/L)	K (meq/L)	Cl (meq/L)	Obs.
Fresno (EUA)	1625	Milho, feijão, algodão, cevada, alfafa, videira e sorgo		7,0	2,0	8,5		2,2	Fora do período de irrigação, toda a água percola para abastecer o aquífero e posterior uso na irrigação
Braunschweig (Alemanha)	300 (aspersão)	Batata, cereais, aveia, trigo e beterraba	7,1	4,0	2,8	3,4	0,8	3,6	Não apresentam problemas
Bakersfield (EUA)	2250	Milho, cevada, alfafa, sorgo e pasto	7,0	2,3	0,4	4,7	0,7	3,0	Em áreas com alta salinidade, é cultivado o arroz inundado
Distrito Regional de Toulumne (Califórnia – EUA)	500	Pastos e outras culturas forrageiras		1,2	0,9	1,2	0,0	1,2	As águas não apresentam problemas de qualidade
Calistoga (EUA)	Por aspersão	Campo de golfe							Águas com excesso de boro. Cortes rentes da grama evitaram problemas ao gramado

Fonte: Adaptado de TELLES; COSTA, 2007.

3.6. Técnicas de filtração para aplicação no saneamento

Filtrar é passar a água através um meio poroso com o objetivo de reter partículas sólidas. Como meio poroso, pode-se utilizar inúmeros materiais, porém o mais utilizado é composto por areia, sustentada por camadas de seixos, colocados sobre um sistema de drenos. (CETESB, 1977).

No decorrer da filtração ocorre a remoção das partículas em suspensão, substâncias coloidais, microrganismos, e substâncias químicas, devido aos seguintes fenômenos:

- Ação mecânica de coagem;
- Sedimentação das partículas sobre os grãos de areia;
- Formação de película gelatinosa na superfície da areia, devido aos microrganismos em desenvolvimento.

Segundo CETESB (1977), os filtros podem ser classificados da seguinte maneira:

Material filtrante

De areia;

De areia e carvão antracito;

De terra diatomácea.

Camada filtrante

Camadas de areia com granulometria diferente superpostas;

Camadas múltiplas - areia-carvão- granada;

De carvão e areia granada, misturados.

Sentido de escoamento

Filtro de fluxo descendente (*down-flow*);

Filtro de fluxo ascendente (*up-flow*);

Filtro de escoamento nos dois sentidos (*bi-flow*).

Velocidade de filtração

Lentos;

Rápidos;

De taxas elevadas;

Pressão;

De pressão ou com a superfície sob pressão;

De gravidade.

Há diversos mecanismos responsáveis pela remoção de partículas em um sistema de filtração. Esses mecanismos são complexos e influenciados principalmente pelas características físicoquímicas das partículas, da água, do meio filtrante, da taxa de filtração e da metodologia operacional do filtro. (Di BERNARDO, L; DANTAS, A. Di BERNARDO, 2005).

As técnicas de filtração são utilizadas convencionalmente nos sistemas de tratamento de água para abastecimento público, já nos processos de tratamento de esgotos sanitários, faz parte de um processo terciário, tendo outros fatores influenciando na mesma, além dos já citados no parágrafo anterior, como por exemplo, a quantidade de sólidos, matéria orgânica e microrganismos.

Conforme dito anteriormente, os processos convencionais mais utilizados no tratamento de esgotos sanitários não são eficientes para atender a recomendação da Organização Mundial da Saúde para a utilização de águas de reuso para fins não potáveis com relação à retenção de ovos de helmintos, sendo a filtração um processo terciário eficiente na remoção destes organismos. Essa retenção se dá, principalmente pelo tamanho dos ovos, quando o sistema é bem operado e controlado.

Além disso, a filtração como pós-tratamento de esgoto sanitário para o seu reuso agrícola permite a passagem dos nutrientes que são desejáveis para essa finalidade e pode auxiliar também na remoção de cistos de protozoários, bactérias e vírus, que pode ser melhorada com a adição de compostos como os polímeros, por exemplo. (GOBBI, 2010).

Outros artifícios podem melhorar os sistemas de filtração, de modo a garantir uma eficiente retenção, otimização do tempo e economia de energia elétrica, como a aplicação de vácuo, por exemplo, que garante reduções consideráveis nos tempos de filtragem. Porém, as pressões de trabalho devem ser determinadas e controladas, pois quando se trabalha com pressões muito baixas, pode ocorrer o arraste mecânico de partículas indesejáveis para o seu efluente final.

JIMENES *et. al.* (2000) *apud* GOBBI (2010) estudou a eficiência da retenção de ovos de helmintos em um sistema de filtração por gravidade usando leitos de areia e esferas de PVC, com a finalidade de reusar o efluente

final para irrigação agrícola. A filtração foi realizada após tratamento físicoquímico do efluente doméstico proveniente da Cidade do México. Houve eficiência na retenção em ambos sistemas testados, obtendo-se efluente final com concentração média de 0,4 ovos/L para concentração média na alimentação do sistema de 22 ovos/L, adequando o efluente doméstico para irrigação segundo as recomendações da OMS.

Já GOBBI (2010) propôs um sistema apresentando a eficiência da filtração em altas concentrações de ovos de helmintos. Seu sistema foi composto por leitos granulares a gravidade em condições de operação distintas das encontradas em outros estudos. O autor utilizou diferentes meios filtrantes, como areia, carvão antracitoso e zeólitos.

3.7. Sistemas de filtração a vácuo

Nos sistemas de filtração por gravidade, tem-se basicamente atuando na ação de arraste da água através dos poros da mídia filtrante, a força peso. Com a aplicação de vácuo num sistema de filtragem, além da força peso, há a ação de uma diferença de pressão criada no sistema, que seria a pressão atmosférica menos a pressão interna aplicada no sistema. Essa diferença de pressão gera uma força muito grande atuando no arraste da água pelos poros da mídia filtrante, o que aumenta a eficiência na filtração, diminuindo os custos operacionais por filtrar certo volume de água em muito menos tempo que em um sistema por gravidade.

Um determinado volume está em vácuo quando a densidade de partículas nele existente é inferior à da atmosfera, em condições de pressões e temperaturas normais. Para medir o grau de vácuo, mede-se pressão e não a densidade de partículas. No Sistema Internacional de Unidades (S.I.) a unidade de pressão é o pascal (Pa), isto é, o Newton por metro quadrado, porém, na área da tecnologia do vácuo, também é muito utilizado o milibar (102 Pa) por ser de ordem de grandeza próxima do torr ou Torricelli que era tradicionalmente utilizado em vácuo. (DEGASPERI, 2006).

À medida que a pressão diminui, o vácuo atingido é classificado em primário, alto, muito alto e ultra-alto. (DEGASPERI, 2006).

O vácuo é introduzido nos sistemas com a utilização das bombas de vácuo. Existem no mercado diversos tipos e modelos de bombas de vácuo, dependendo da finalidade de uso. Para o presente estudo, por se tratar da utilização apenas de pré-vácuo foi utilizada uma bomba mecânica de palhetas de duplo estágio, que atendeu perfeitamente à finalidade proposta.

As bombas mecânicas que asseguram o vácuo primário são conhecidas como bombas rotativas. Funcionam como compressores que extraem os gases do sistema e os lança na atmosfera conforme representação da figura 13. Sua vedação é feita por meio de óleo que também serve como lubrificante dos componentes móveis. (DEGASPERI, 2006).

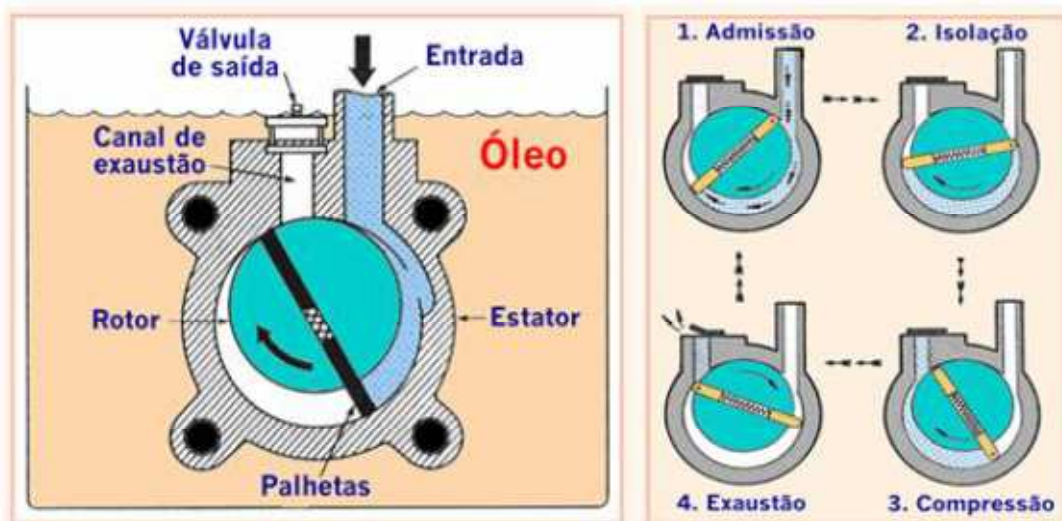


Figura 13. Ciclo de trabalho de urna bomba mecânica de duas palhetas. Fonte: DEGASPERI, 2010.

As bombas mecânicas podem ainda ter dois estágios (figura 14) que neste caso estão em série tendo o rotor do primeiro estágio trabalhando contra uma pressão bastante baixa, enquanto que o do segundo trabalha contra a atmosfera.

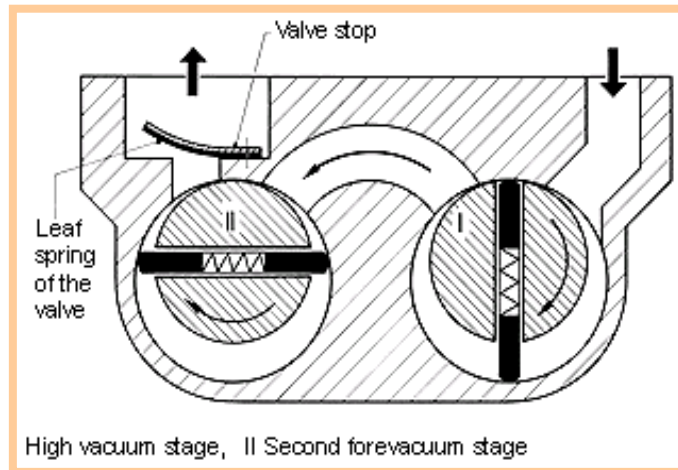


Figura 14. Bomba mecânica de duplo estágio. Fonte: UMRATH, 1998.

Na primeira fase de bombeamento, principalmente, os sistemas têm, além de gases, vapores de líquidos de tensão de vapor elevada em relação à pressão que se pretende atingir no sistema. Durante a compressão os vapores condensam-se, sendo uma parte arrastada pelo óleo, contaminando-o e obrigando, a longo prazo, à sua substituição, enquanto outra parte volta a evaporar-se e entra no ciclo seguinte, diminuindo assim a eficiência da bomba.

Para melhorar o bombeamento na presença de vapores, as bombas estão geralmente equipadas com um pré-filtro, para evitar a passagem de vapores. (DEGASPERI, 2006).

No caso deste ensaio de filtração, há ainda um primeiro pré-filtro antes da bomba, pois a amostra utilizada é água e gera altas quantidades de vapor durante o processo de bombeamento, podendo ocasionar grandes danos à bomba no caso da ausência do pré-filtro. Para grandes sistemas de filtração a vácuo onde há a grande presença de água, recomenda-se a utilização de bombas de anel líquido, que não sofrem quaisquer tipos de danos por este motivo, sendo inclusive o líquido bombeado, auxiliar do processo de bombeamento.

Quando são utilizadas bombas com vedação a óleo deve-se tomar o cuidado de se exaurir os gases bombeados para o exterior do local de trabalho porque, associada com os gases, há sempre uma percentagem de vapor de óleo que não deve ser respirado. Se a quantidade de óleo libertada for muito grande deve-se colocar um condensador na linha de escape. (DEGASPERI, 2006).

4. Materiais

4.1. Sistema de filtração

O sistema de vácuo desenvolvido para o presente estudo foi projetado e construído para esta finalidade e é composto por duas câmaras de vácuo de 150 mm de diâmetro, construídas em aço inoxidável austenítico montadas na posição vertical, conectadas entre si, conforme mostram as figuras 15 a 22. A câmara de vácuo superior contém um sistema de chuveiramento composto por cinco peneiras em série, de modo a permitir o espalhamento uniforme da amostra pelo filtro. O elemento filtrante é apoiado num funil de Buchner contendo um suporte de *nylon* desenvolvido para perfeito encaixe do papel filtro. A câmara de vácuo inferior retém a amostra filtrada em um suporte de aço inoxidável com volume de 1L, e posterior a ela há um pré-filtro de sílica gel que evita a passagem de vapores para a bomba de vácuo, pois os mesmos podem danificá-la. No flange superior da primeira câmara de vácuo é introduzida a amostra a ser filtrada. Na câmara de vácuo inferior é feito o vácuo por meio de uma bomba mecânica de palhetas de duplo estágio com velocidade de bombeamento de $8\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Para a medição da pressão foi utilizado um manômetro de coluna de mercúrio.

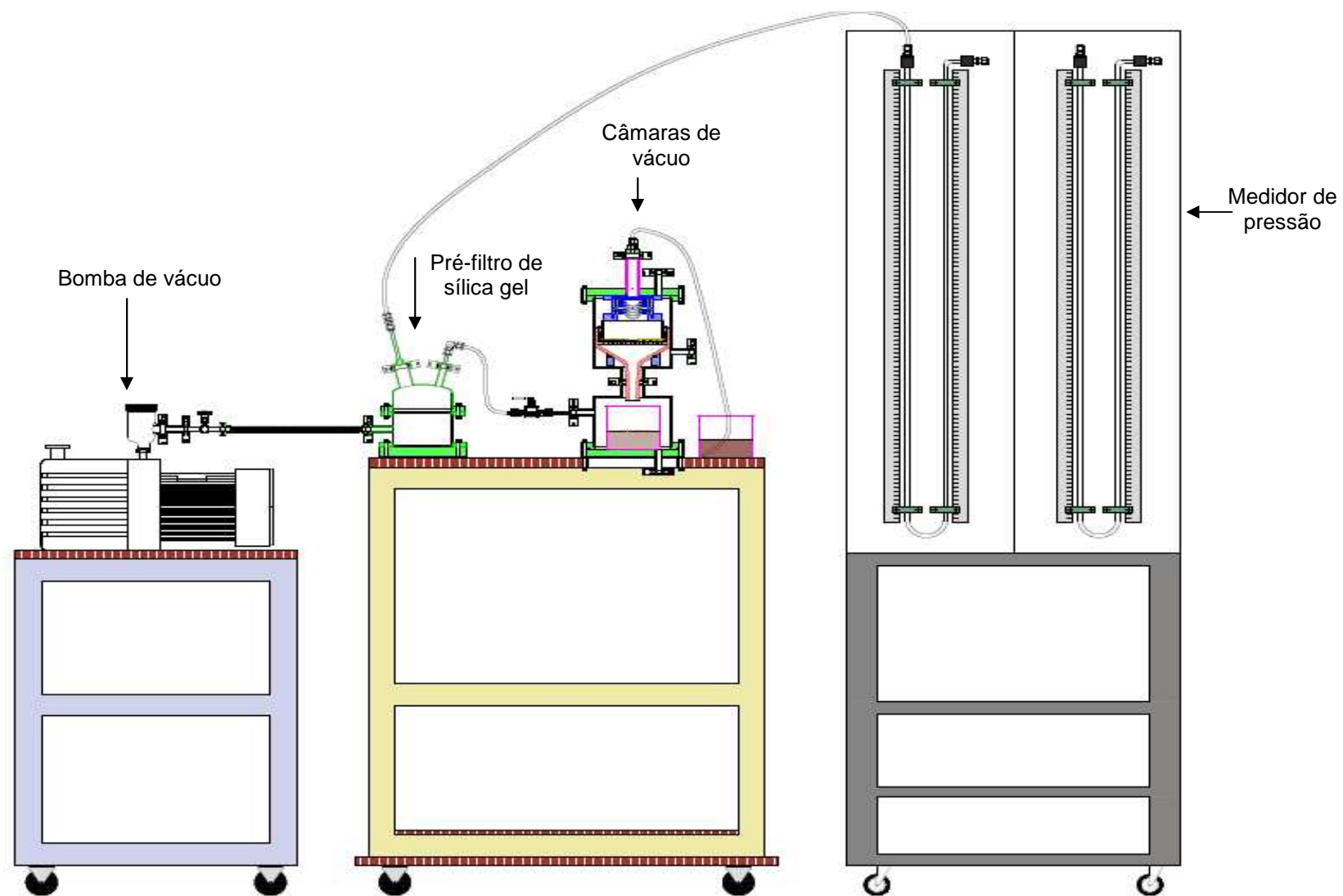


Figura 15. Vista frontal do sistema de vácuo

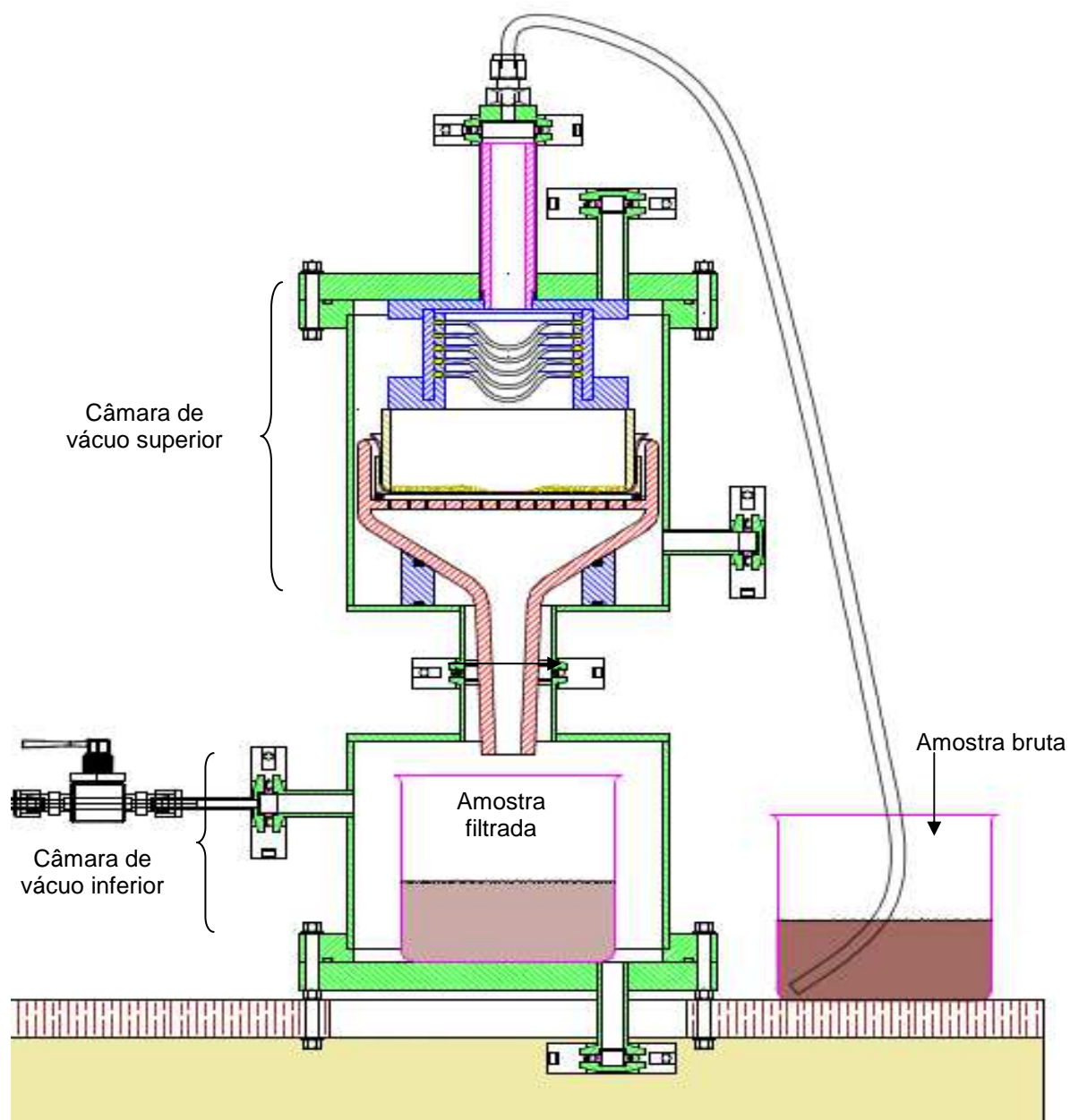


Figura 16. Vista geral das câmaras de vácuo

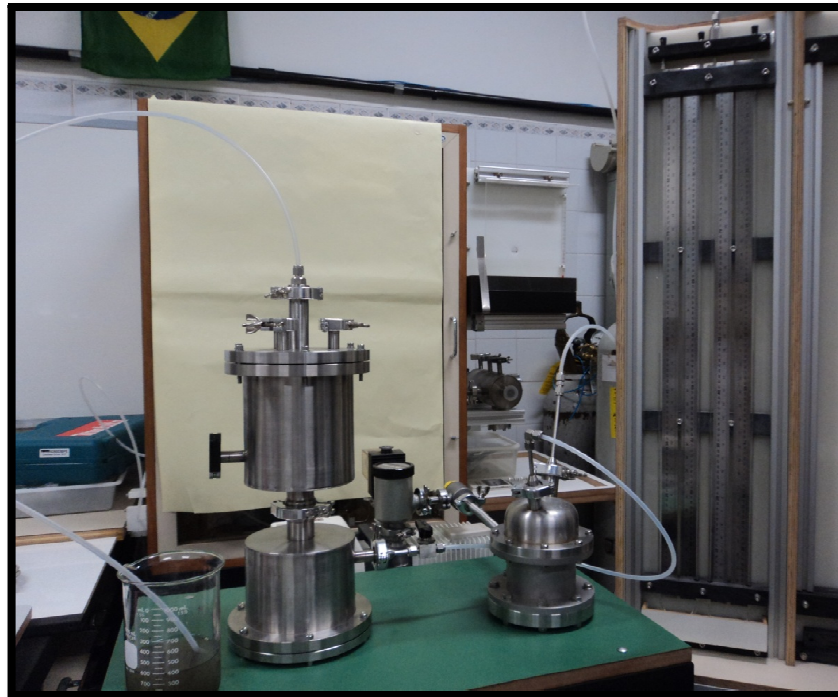


Figura 17. Vista Geral do sistema de vácuo.

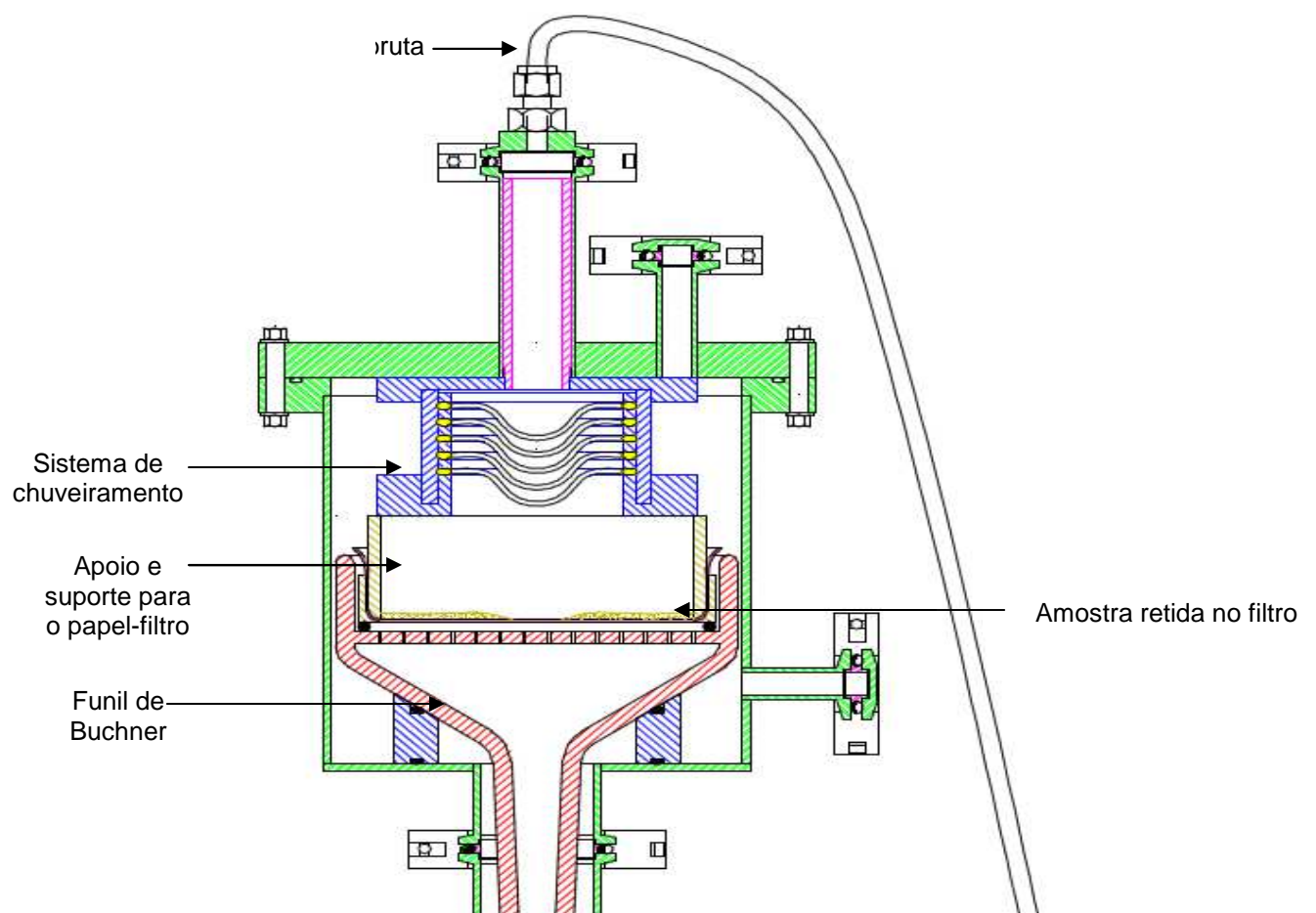


Figura 18. Detalhes da câmara de vácuo superior

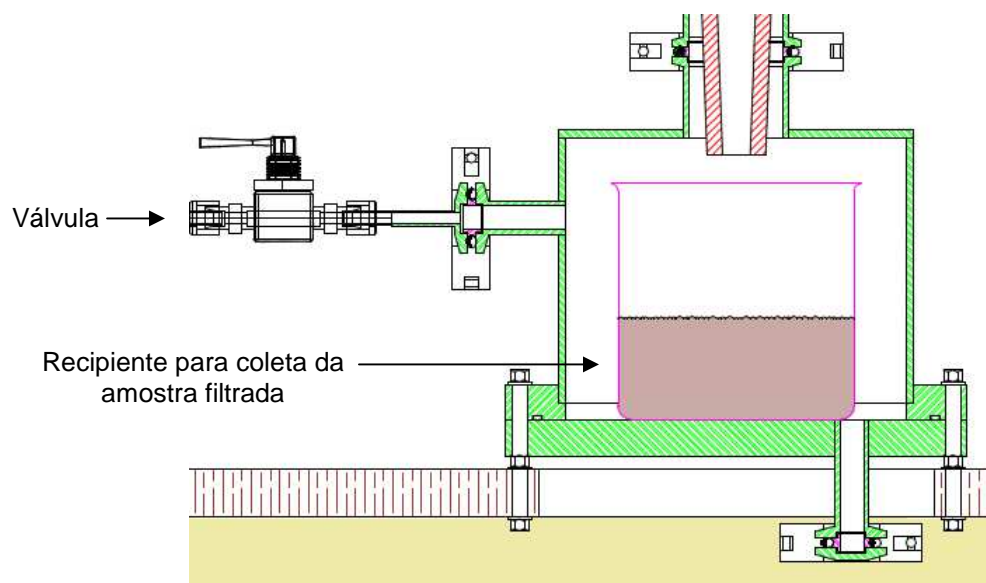


Figura 19. Detalhe da câmara de vácuo inferior

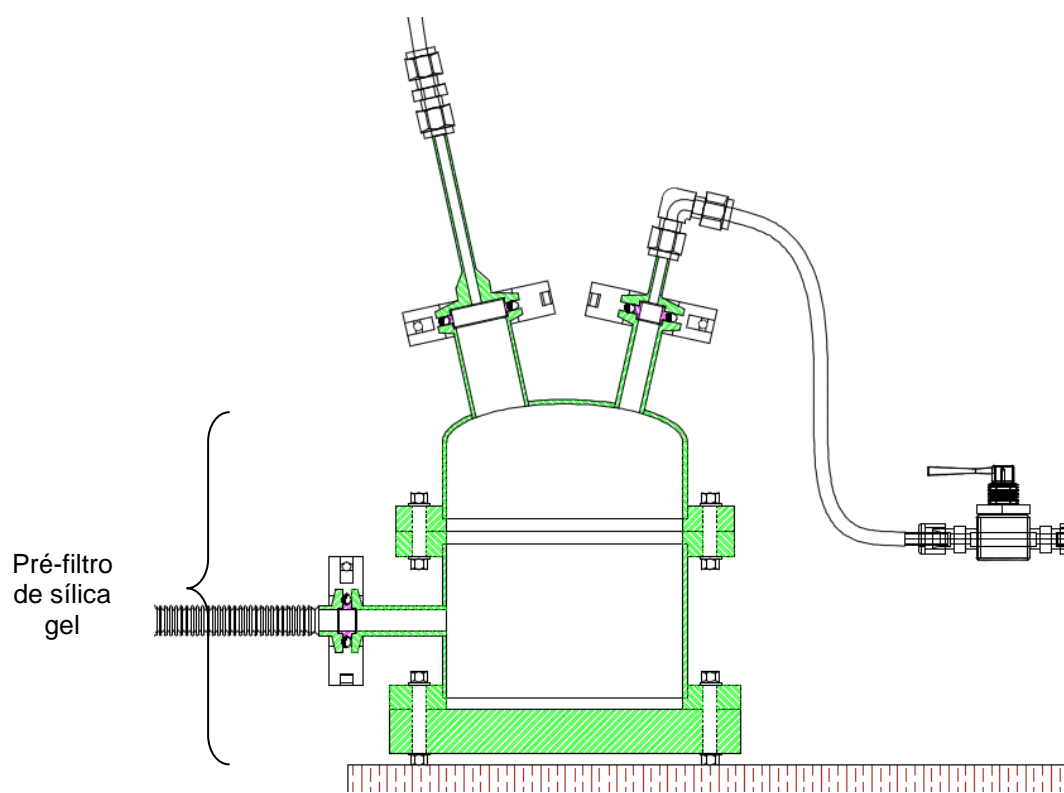


Figura 20. Detalhe do pré-filtro de sílica gel

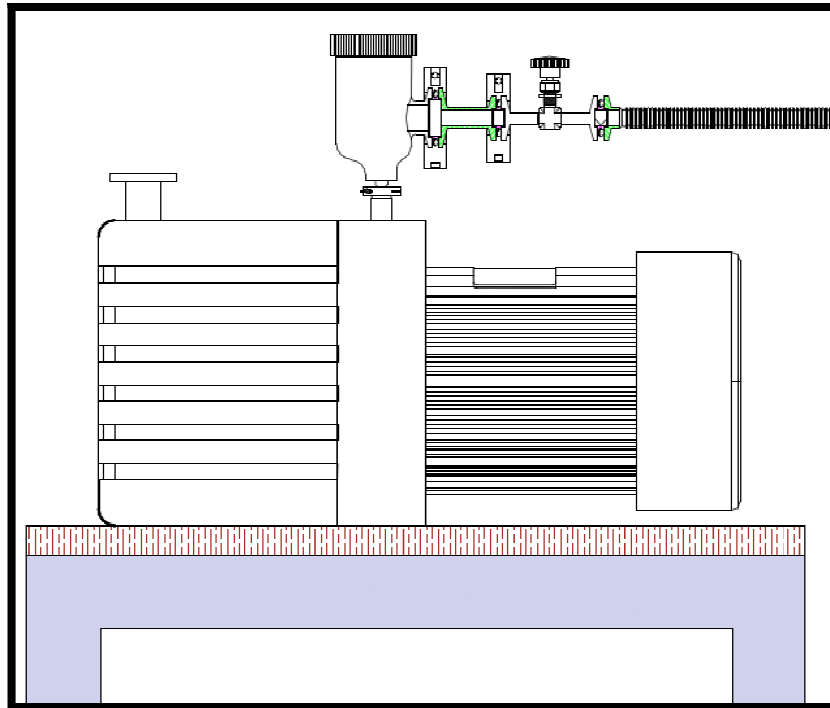


Figura 21. Detalhe da bomba de vácuo



Figura 22. Vista sistema de chuveiramento e do funil de Buchner contendo papel filtro acomodado em suporte na câmara de vácuo superior.

As mídias filtrantes utilizadas para o ensaio foram papéis-filtro com três porosidades diferentes, nomeados como papéis de filtração rápida ($7,5 \mu\text{m}$), média ($6,5 \mu\text{m}$), e lenta ($2,0 \mu\text{m}$). A escolha deste material foi feita por ele ser quantitativo, permitindo a garantia do conhecimento da porosidade utilizada assim como ser de porte laboratorial, adequado ao presente sistema.

4.2. Sistema de contagem dos ovos de helmintos

Para a realização da contagem dos ovos de helmintos foram utilizados os seguintes materiais, equipamentos e reagentes:

- Um microscópio óptico comum da marca QUIMIS, modelo Q719TK-PL;
- Centrífuga da marca FANEN Escelsa baby II modelo 206-R;
- Câmara de *Mc-master* dupla;
- Padrão aceto-acético (pH 4,5) (foram pesados 15g de acetato de sódio trihidratado, juntamente com 3,6 mL de ácido acético glacial e diluídos em água destilada até volume de 1 L);
- Solução P.A. de Éter etílico;
- Solução saturada de sulfato de zinco 33% com densidade 1,8 (foram pesados 33g de sulfato de zinco P.A. e diluído em 100mL de água destilada. Posteriormente a densidade foi ajustada até o valor de 1,8);
- Solução detergente *Tween* 80 (foi diluído 1mL do detergente em 1L de água destilada).
- Becker de polietileno de 1L;
- Provetas graduadas de volumes diversos.

5. Procedimento experimental

5.1. Metodologia dos ensaios de filtração

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia do Vácuo (LTV) da FATEC-SP, em três repetições do procedimento de filtração para cada uma das três mídias filtrantes utilizadas (filtração rápida, média e lenta) por gravidade e sob vácuo, de modo a permitir tratamento estatístico dos resultados encontrados.

Para cada ensaio, foram utilizados 2L de amostra, sendo 1L para realizar a contagem inicial dos ovos de helmintos e 1L para o ensaio de filtração. As amostras ao passarem pelo sistema de filtração foram submetidas também à contagem dos ovos, verificando-se assim, a retenção em cada repetição e em cada filtro testado.

A amostra utilizada para o ensaio foi constituída de esgoto doméstico bruto coletado no fundo do decantador primário de uma ETE do Município Águas de Lindóia, localizado no Estado de São Paulo.

Apesar de uma possível aplicação deste sistema ser para a retenção dos parasitas em água de reuso para fins não potáveis, a amostra utilizada foi o esgoto doméstico bruto, que contém altas concentrações de ovos de helmintos, o que facilita o ensaio no referido sistema de vácuo, que por se tratar de um banco de ensaio laboratorial de tamanho reduzido necessita dessa alta concentração para que a contagem dos ovos seja possível de ser realizada.

Por ensaio, 2L da amostra foram coletados. 1L dessa amostra bruta foi destinado à contagem de ovos de helmintos. O outro volume (1L) (dividiu-se esse volume em três partes para evitar a colmatação do papel filtro) foi introduzido no sistema de vácuo através do flange superior central da câmara. A amostra foi introduzida com a válvula de entrada entreaberta, pois a força de sucção é muito forte, ocasionando o rompimento do papel filtro com a entrada do primeiro jato de amostra.

Foi utilizado em cima do papel filtro, um pré-filtro constituído de 30g de sílica para evitar a colmatação rápida do papel filtro.

No momento da inoculação da amostra no sistema de vácuo foi disparado um cronômetro de modo a medir o tempo de execução de cada

ensaio (sendo considerado cada ensaio a passagem de um Litro de amostra pelo sistema).

Ao longo da execução de cada ensaio foi medida a diferença de pressão no sistema. O vácuo foi utilizado de duas formas no sistema: Após a inoculação da amostra, a válvula de entrada foi mantida aberta, permitindo a atuação da pressão atmosférica como força de arraste. Após, a válvula era fechada, de modo a obter-se maior diferença de pressão. Esse procedimento foi feito de cinco em cinco minutos até a secagem completa da amostra no papel filtro.

Foram realizadas também as filtrações por gravidade no mesmo sistema (com a bomba de vácuo desligada) para posterior comparação dos dados no item resultados e discussões.

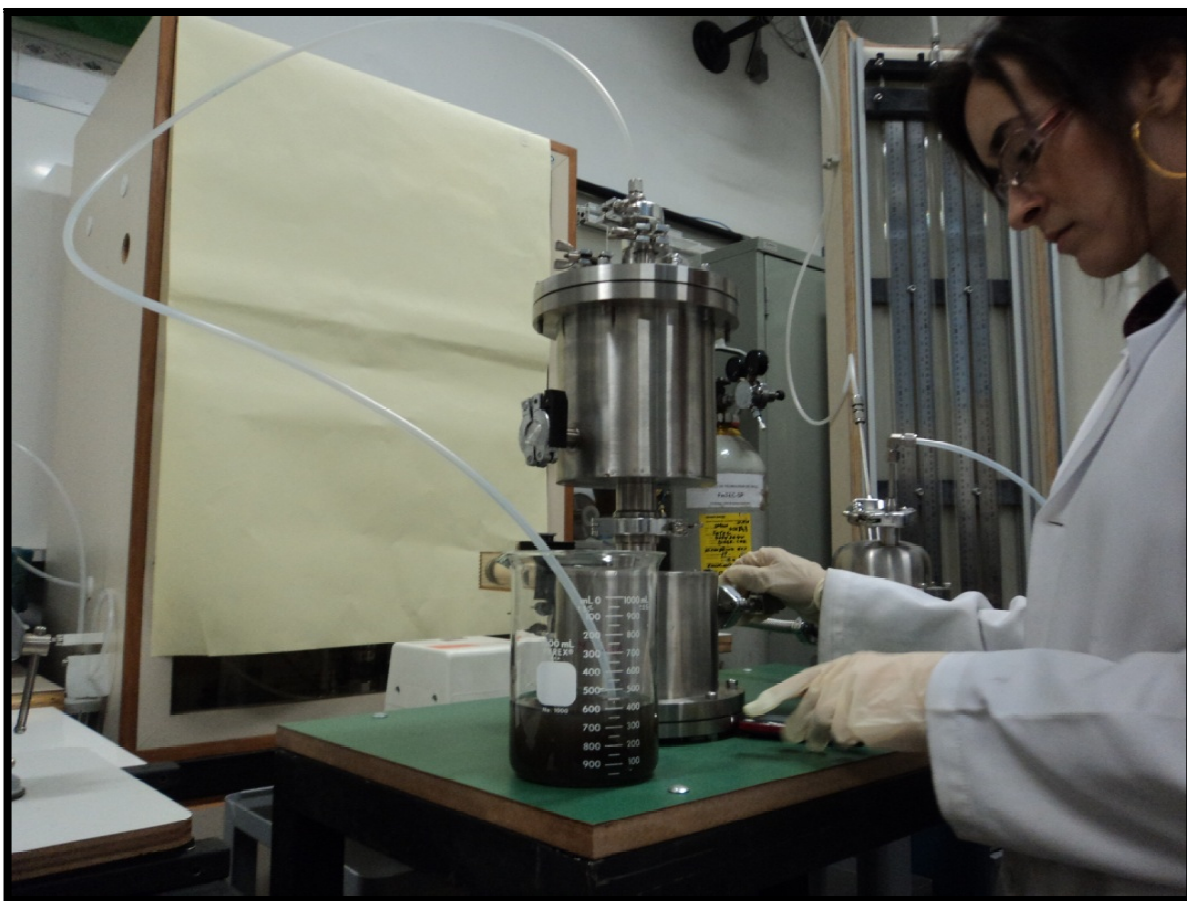


Figura 23. Detalhe da execução do procedimento experimental de filtração a vácuo (ato de inoculação da amostra no sistema).

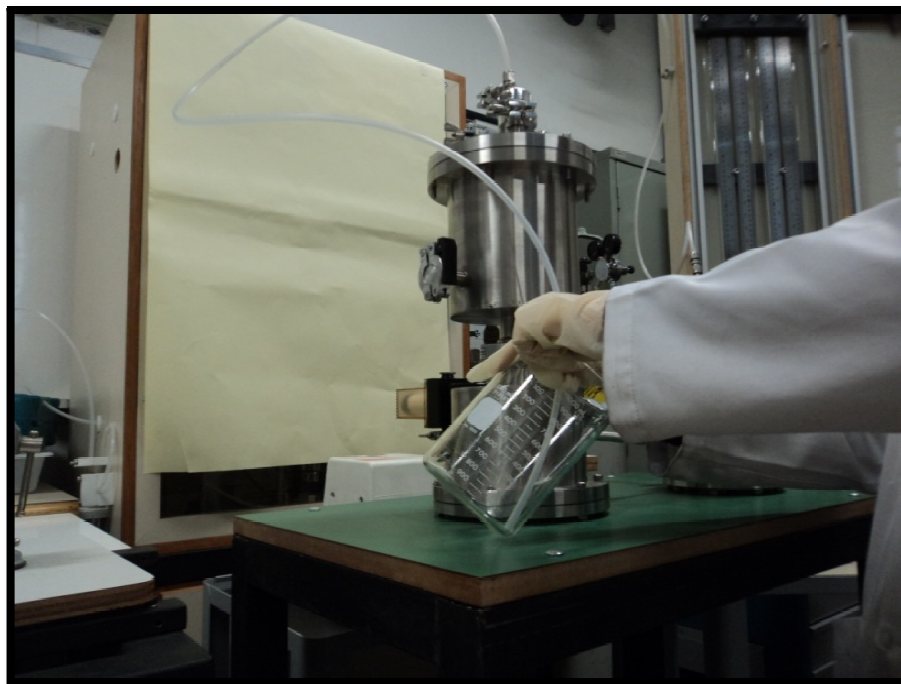


Figura 24. Detalhe do término de inoculação da amostra no sistema de vácuo.

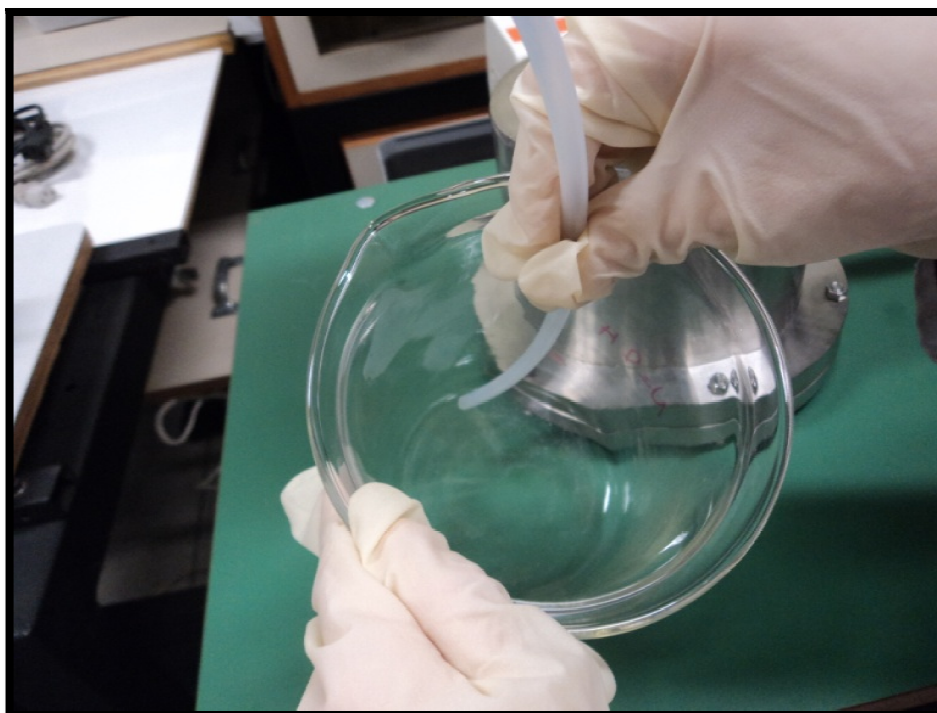


Figura 25. Vista superior do Becker após total inoculação da amostra no sistema de vácuo.

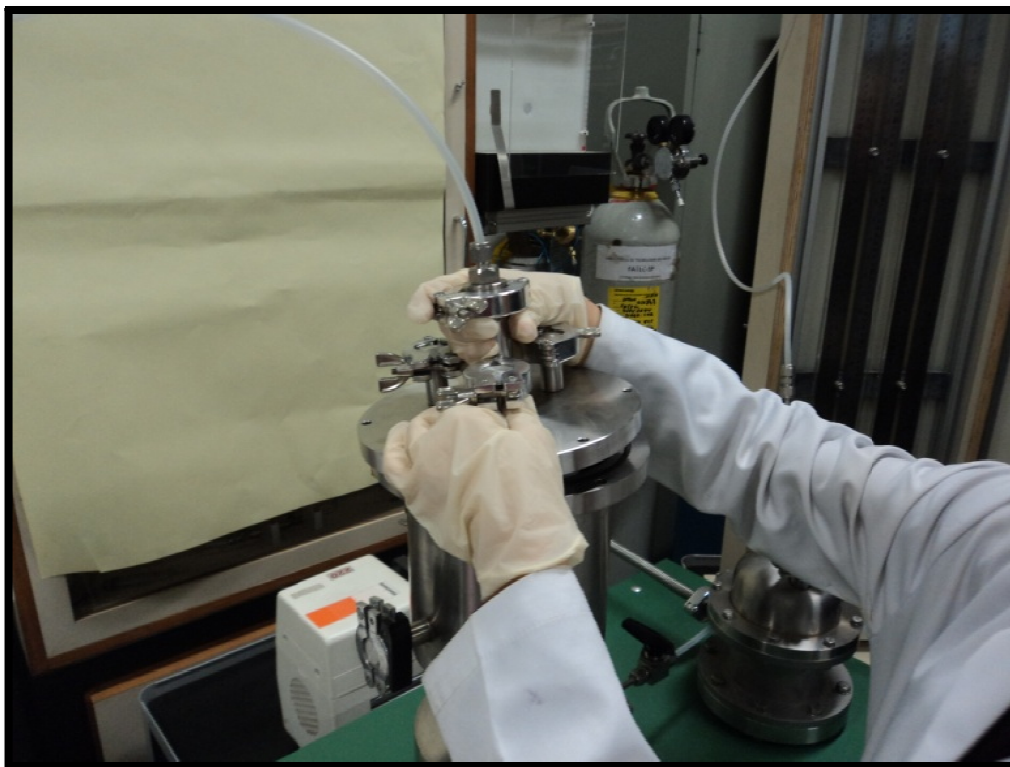


Figura 26. Procedimento de abertura do flange da câmara superior para verificar se a amostra passou por completo pelo papel filtro.

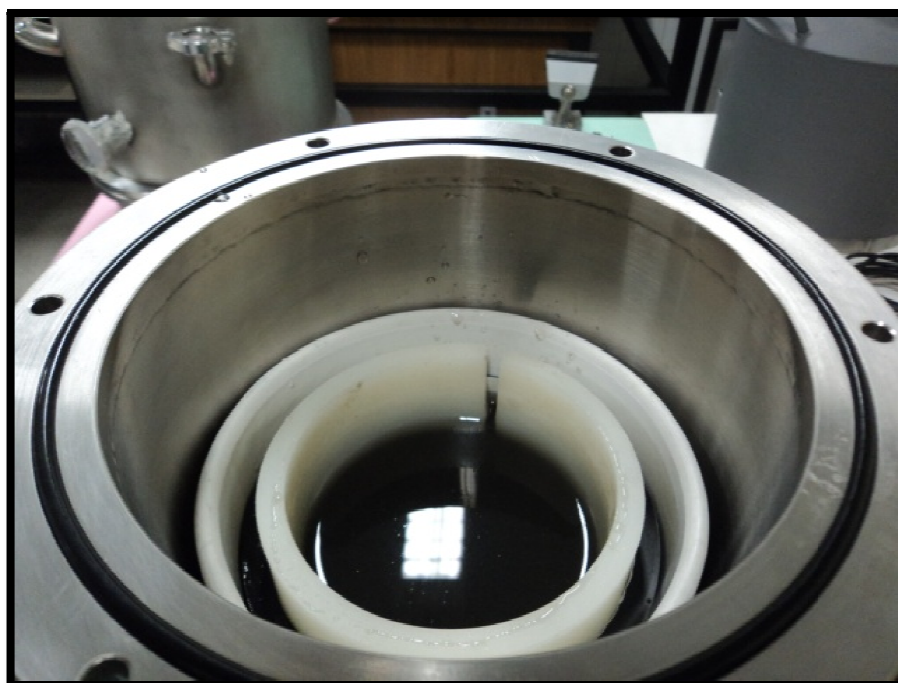


Figura 27. Papel filtro ainda contendo amostra.

5.2. Metodologia de contagem dos ovos de helmintos

A metodologia utilizada para a contagem de ovos de helmintos foi baseada em WHO (1989) *apud* WHO (2004), e foi executada da seguinte forma:

Mediu-se 1L da amostra a ser contada (tanto a bruta quanto a passada pelo sistema de filtração), deixando-a sedimentar por pelo menos 8 horas.

Após a sedimentação, foi removido o máximo de sobrenadante possível através de sifonação.

O sedimento foi disposto em quatro tubos de centrifuga, limpando as paredes do Becker onde estava a amostra com a solução detergente Tween 80 para recolher o máximo possível de sedimento para os tubos. Esse material foi centrifugado a 2500 rpm por 15min.

Após a centrifugação, foi removido o sobrenadante dos quatro tubos e o sedimento todo foi transferido para um único tubo de centrifuga, sempre recolhendo o sedimento aderido nas paredes do tubo com a solução detergente. Esse material foi centrifugado novamente a 2500 rpm por 15 min.

Em seguida, removeu-se novamente o sobrenadante e ressuspendeu-se o sedimento em igual volume de solução tampão aceto-acética. Homogeneizou-se esse volume durante cerca de 10min. Após, adicionou-se ao mesmo tubo, cerca de 2 volumes de éter etílico P. A. e centrifugou-se novamente esse material a 2500 rpm por 15 min.

Após a última centrifugação, o material se separou em três fases distintas, uma contendo os sedimentos incluindo os ovos de helmintos e cistos de protozoários, outra contendo o tampão aceto-acético e outra contendo os materiais gordurosos.

O sobrenadante foi descartado e o sedimento ressuspenso com 5 volumes da solução de sulfato de zinco 33%. Essa suspensão foi cuidadosamente homogeneizada e imediatamente removeram-se três alíquotas desse material e passaram-se os mesmos para três diferentes câmaras de Mc Master para prosseguimento da contagem. Cada câmara ficou em repouso por 5 minutos para a flutuação dos ovos. E colocou-se uma de cada vez no microscópio e procedeu-se com a contagem utilizando a objetiva de médio aumento.

O resultado da contagem é expresso pela seguinte equação:

$$N = \frac{AX}{PV}$$

Onde:

N= número de ovos por Litro

A= número de ovos contados nos dois campos da câmara de Mc Master

X= volume final da amostra (mL)

P= volume da câmara de Mc Master (0,3 mL por campo)

V= volume inicial da amostra (L)

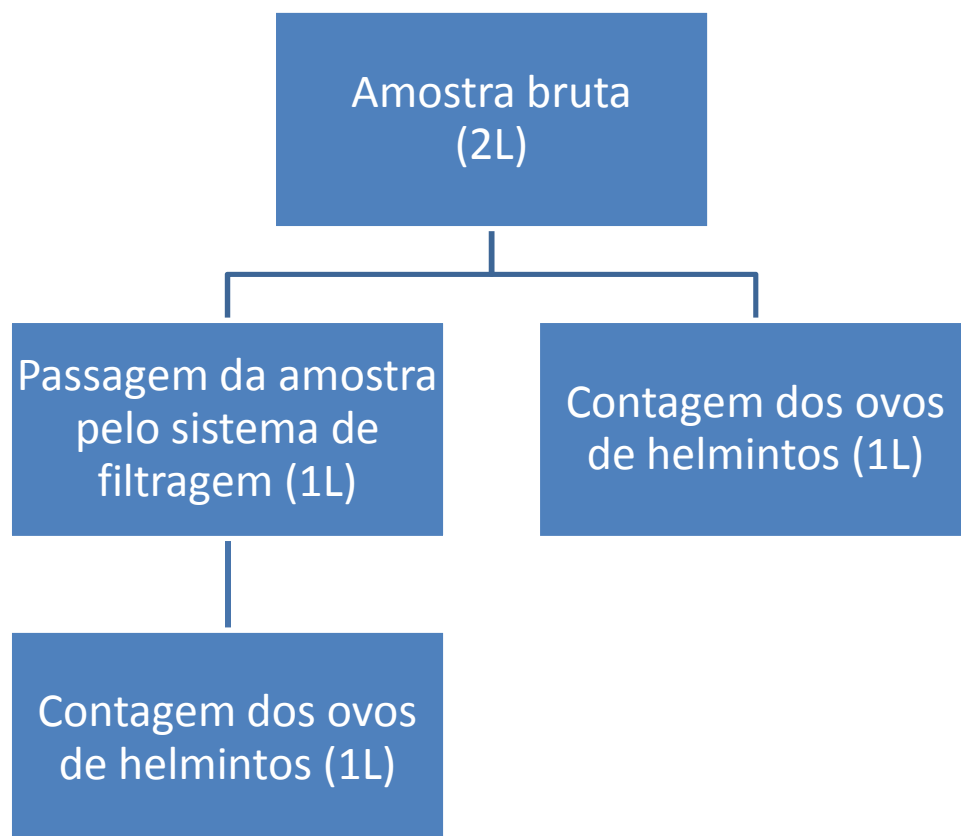


Figura 28. Fluxograma dos procedimentos experimentais

6. Resultados e discussões

6.1. Ensaio de filtração por gravidade

Tabela 21. Resultados das filtrações por gravidade utilizando o papel de filtração rápida.

Ensaio	Papel filtro	Pressão	Volume (mL)	Tempo de filtração (min.)	Média (min.)
1	Filtração rápida	Atmosférica	1000	40	41,6
2	Filtração rápida	Atmosférica	1000	45	
3	Filtração rápida	Atmosférica	1000	40	

Tabela 22. Resultados das filtrações por gravidade utilizando o papel de filtração média

Ensaio	Papel filtro	Pressão	Volume (mL)	Tempo de filtração (min.)	Média (min.)
1	Filtração média	Atmosférica	1000	82	81,6
2	Filtração média	Atmosférica	1000	80	
3	Filtração média	Atmosférica	1000	83	

Tabela 23. Resultados das filtrações por gravidade utilizando o papel de filtração lenta.

Ensaio	Papel filtro	Pressão	Volume (mL)	Tempo de filtração (min.)
1	Filtração lenta	Atmosférica	1000	*600
2	Filtração lenta	Atmosférica	1000	*600
3	Filtração lenta	Atmosférica	1000	*600

* Tempo estimado, pois em uma hora de ensaio filtrou-se apenas 100 mL, tornando-se inviável a execução completa dos ensaios.

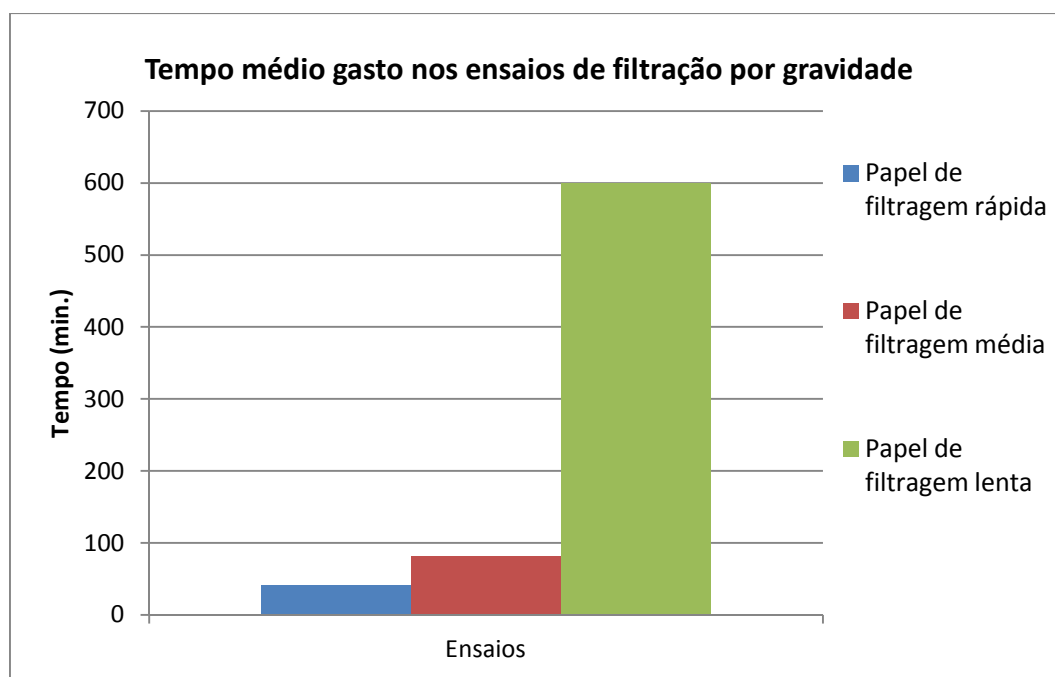


Figura 29. Comparação do tempo médio gasto nos ensaios de filtração por gravidade

Analisando o gráfico da figura 29 observa-se que o tempo de execução dos ensaios com o papel de filtração média, foi aproximadamente o dobro do tempo de execução dos ensaios com o papel de filtração rápida, porém, muito menos do que um terço do tempo de execução dos ensaios com o papel de filtração lenta.

6.2. Ensaios de filtração sob vácuo

Tabela 24. Resultados das filtrações sob vácuo utilizando o papel filtro de filtração rápida

Ensaio	Papel filtro	ΔP (mm Hg)	Volume (mL)	Tempo de filtração (min.)	Obs.
1	Filtração Rápida	416	350	10	Amostra seca
1	Filtração Rápida	408 688	300	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
1	Filtração Rápida	402	350	5	Amostra seca
			Total: 1000	Total: 25	
2	Filtração Rápida	413 679	300	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
2	Filtração Rápida	407 690	350	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
2	Filtração Rápida	403 643	350	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
			Total: 1000	Total: 30	
3	Filtração Rápida	411 688	300	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
3	Filtração Rápida	410 551	350	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
3	Filtração Rápida	413 687	350	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
			Total: 1000	Total: 30 Média: 28,3	

Tabela 25. Resultados das filtrações sob vácuo utilizando o papel filtro de filtração média

Ensaio	Papel filtro	ΔP (mm Hg)	Volume (mL)	Tempo de filtração (min.)	Obs.
1	Filtração Média	409 688	350	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
1	Filtração Média	404 681	300	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
1	Filtração Média	406 682	350	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
			Total: 1000	Total: 30	
2	Filtração Média	401 685	300	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
2	Filtração Média	399 686	300	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
2	Filtração Média	398 686	250	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
2	Filtração Média	398	150	5	Amostra seca
			Total: 1000	Total: 35	
3	Filtração Média	398 687	300	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
3	Filtração Média	398 687	300	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
3	Filtração Média	395 685	200	5 3	Presença de lâmina de água Amostra seca
3	Filtração Média	396 685	200	5 2	Presença de lâmina de água Amostra seca
			Total: 1000	Total: 35 Média: 33,3	

Tabela 26. Resultados das filtrações sob vácuo utilizando o papel de filtragem lenta

Ensaio	Papel filtro	ΔP (mm Hg)	Volume (mL)	Tempo de filtragem (min.)	Obs.
1	Pré-filtragem com papel de filtragem rápida		1000	30	
1	Filtragem Lenta	400 684	150	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
1	Filtragem Lenta	390 599	150	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
1	Filtragem Lenta	400 592	200	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
1	Filtragem Lenta	399 683	200	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
1	Filtragem Lenta	392 682	300	10 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
			Total: 1000	Total: 85	
2	Pré-filtragem com papel de filtragem rápida		1000	30	
2	Filtragem Lenta	400 685	200	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
2	Filtragem Lenta	401 686	200	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
2	Filtragem Lenta	398 688	250	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
2	Filtragem Lenta	403 690	200	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
2	Filtragem Lenta	398	150	5	Amostra seca
			Total: 1000	Total: 75	
3	Pré-filtragem com papel de filtragem rápida		1000	30	
3	Filtragem Lenta	401 690	200	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
3	Filtragem Lenta	399 687	100	5 5	Presença de lâmina de água Amostra seca
3	Filtragem Lenta	397 689	200	5 3	Presença de lâmina de água Amostra seca
3	Filtragem Lenta	396 691	100	5 2	Presença de lâmina de água Amostra seca
3	Filtragem Lenta	399 685	200	6 2	Presença de lâmina de água Amostra seca
3	Filtragem Lenta	396 683	100	7 2	Presença de lâmina de água Amostra seca
3	Filtragem Lenta	398 685	100	5 2	Presença de lâmina de água Amostra seca
			Total: 1000	Total: 89 Média: 83	

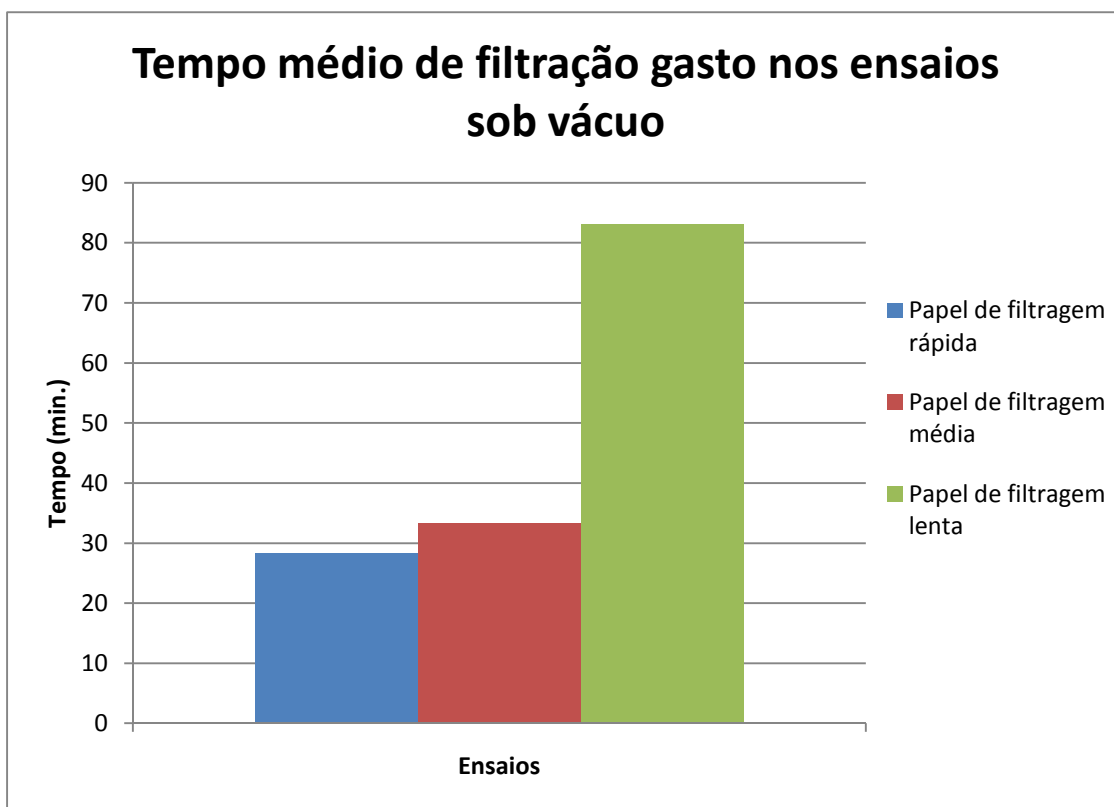


Figura 30. Comparação do tempo médio gasto nos ensaios de filtração sob vácuo

Analisando o gráfico da figura 30, observa-se que a diferença de tempo nas filtrações utilizando os papeis de filtração rápida e média foi muito pequena, quando comparada com os ensaios utilizando o papel de filtração lenta

6.3. Contagem de ovos de helmintos

6.3.1. Amostra bruta

Tabela 27. Contagem de ovos de helmintos da amostra bruta

Ensaio	Nº de ovos contados	Volume inicial (L)	Volume final (mL)	Ovos/L	Média	Média final
Amostra bruta1	11	1	30	3666,67	2333,33	1950,62
Amostra bruta1	4	1	30	1333,33		
Amostra bruta1	6	1	30	2000,00		
Amostra bruta2	6	1	35	2333,33	1685,19	
Amostra bruta2	5	1	35	1944,44		
Amostra bruta2	2	1	35	777,78		
Amostra bruta 3	3	1	33	1100,00	1833,33	
Amostra bruta 3	7	1	33	2566,67		
Amostra bruta 3	5	1	33	1833,33		

Por se tratar de uma amostra proveniente de esgoto doméstico bruto oriundo do decantador primário de uma ETE cujo tratamento é por lodos ativados convencional, pode-se observar através da tabela 27 que há uma concentração média altíssima de ovos de helmintos, o que já era esperado.

6.3.2. Amostras filtradas por gravidade

Tabela 28. Contagem de ovos de helmintos resultantes da amostra filtrada no papel de filtragem rápida por gravidade

Ensaio por gravidade	Nº de ovos contados	Volume inicial (L)	Volume final (mL)	Ovos/L	Média	Média final
Amostra filtro rápido 1	5,00	1,00	35,00	1944,44	1166,67	772,84
Amostra filtro rápido 1	1,00	1,00	35,00	388,89		
Amostra filtro rápido 1	3,00	1,00	35,00	1166,67		
Amostra filtro rápido 2	2,00	1,00	23,00	511,11	596,30	
Amostra filtro rápido 2	4,00	1,00	23,00	1022,22		
Amostra filtro rápido 2	1,00	1,00	23,00	255,56		
Amostra filtro rápido 3	0,00	1,00	30,00	0,00	555,56	
Amostra filtro rápido 3	3,00	1,00	30,00	1000,00		
Amostra filtro rápido 3	2,00	1,00	30,00	666,67		

Tabela 29. Contagem de ovos de helmintos resultantes da amostra filtrada no papel de filtragem média por gravidade

Ensaio por gravidade	Nº de ovos contados	Volume inicial (L)	Volume final (mL)	Ovos/L	Média	Média final
Amostra filtro médio 1	3,00	1,00	17,00	566,67	188,89	183,95
Amostra filtro médio 1	0,00	1,00	17,00	0,00		
Amostra filtro médio 1	0,00	1,00	17,00	0,00		
Amostra filtro médio 2	2,00	1,00	20,00	444,44	222,22	
Amostra filtro médio 2	1,00	1,00	20,00	222,22		
Amostra filtro médio 2	0,00	1,00	20,00	0,00		
Amostra filtro médio 3	1,00	1,00	19,00	211,11	140,74	
Amostra filtro médio 3	1,00	1,00	19,00	211,11		
Amostra filtro médio 3	0,00	1,00	19,00	0,00		

A contagem dos ovos de helmintos oriundos da filtração com o papel de filtragem lenta foi inviabilizada, pois o volume de amostra filtrada foi de apenas 100mL e a metodologia utilizada exige pelo menos 1000mL de amostra.

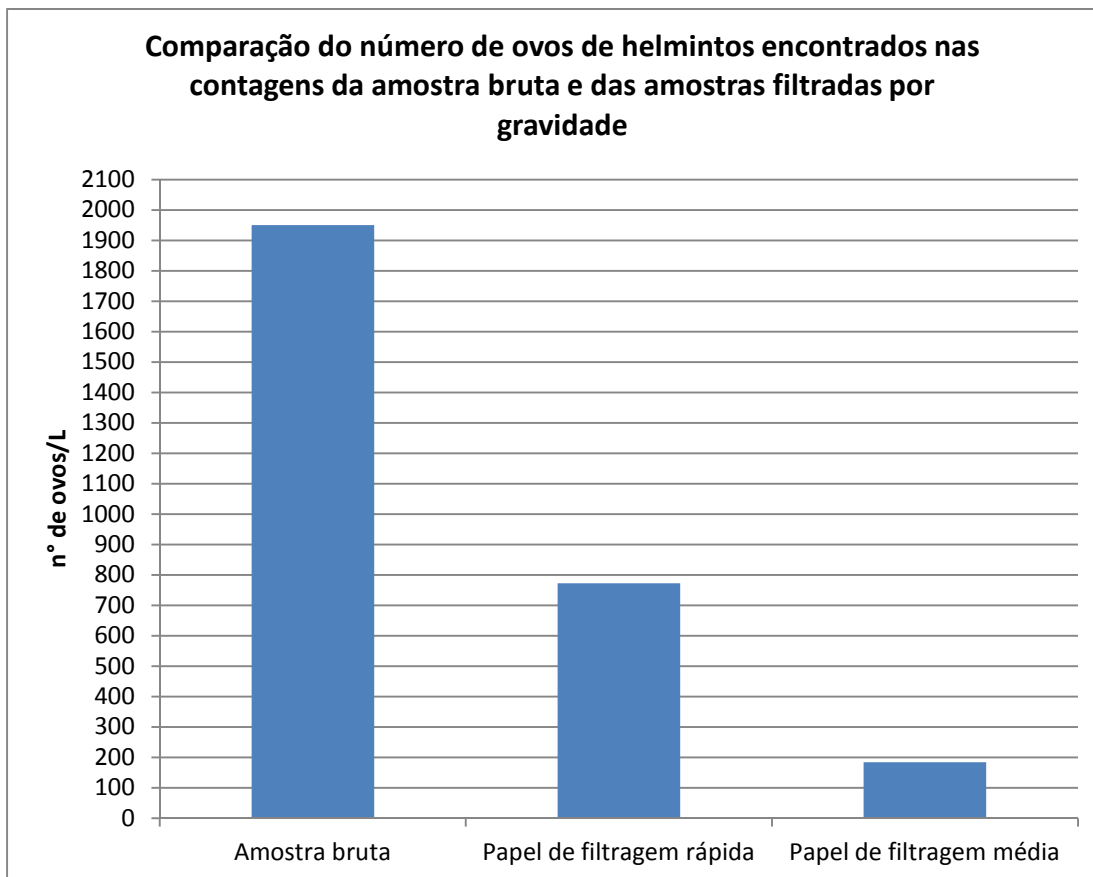


Figura 31. Resultados das contagens de ovos de helmintos na amostra bruta e nas amostras filtradas por gravidade

6.3.3. Amostras filtradas sob vácuo

Tabela 30. Contagem de ovos de helmintos resultantes da amostra filtrada no papel de filtragem rápida sob vácuo

Ensaio	Nº de ovos contados	Volume inicial (L)	Volume final (mL)	Ovos/L	Média	Média final
Amostra filtro rápido 1	6,00	1,00	33,00	2200,00	1100,00	501,23
Amostra filtro rápido 1	1,00	1,00	33,00	366,67		
Amostra filtro rápido 1	2,00	1,00	33,00	733,33		
Amostra filtro rápido 2	0,00	1,00	28,00	0,00	311,11	
Amostra filtro rápido 2	1,00	1,00	28,00	311,11		
Amostra filtro rápido 2	2,00	1,00	28,00	622,22		
Amostra filtro rápido 3	0,00	1,00	25,00	0,00	92,59	
Amostra filtro rápido 3	0,00	1,00	25,00	0,00		
Amostra filtro rápido 3	1,00	1,00	25,00	277,78		

Tabela 31. Contagem de ovos de helmintos resultantes da amostra filtrada no papel de filtragem média sob vácuo

Ensaio	Nº de ovos contados	Volume inicial (L)	Volume final (mL)	Ovos/L	Média	Média final
Amostra filtro médio 1	2,00	1,00	15,00	333,33	166,67	122,22
Amostra filtro médio 1	0,00	1,00	15,00	0,00		
Amostra filtro médio 1	1,00	1,00	15,00	166,67		
Amostra filtro médio 2	1,00	1,00	17,00	188,89	125,93	
Amostra filtro médio 2	1,00	1,00	17,00	188,89		
Amostra filtro médio 2	0,00	1,00	17,00	0,00		
Amostra filtro médio 3	0,00	1,00	20,00	0,00	74,07	
Amostra filtro médio 3	1,00	1,00	20,00	222,22		
Amostra filtro médio 3	0,00	1,00	20,00	0,00		

Tabela 32. Contagem de ovos de helmintos resultantes da amostra filtrada no papel de filtragem lenta sob vácuo

Ensaio	Nº de ovos contados	Volume inicial (L)	Volume final (mL)	Ovos/L	Média	Média final
Amostra filtro lento 1	1,00	1,00	16,00	177,78	59,26	41,98
Amostra filtro lento 1	0,00	1,00	16,00	0,00		
Amostra filtro lento 1	0,00	1,00	16,00	0,00		
Amostra filtro lento 2	0,00	1,00	20,00	0,00	0,00	
Amostra filtro lento 2	0,00	1,00	20,00	0,00		
Amostra filtro lento 2	0,00	1,00	20,00	0,00		
Amostra filtro lento 3	1,00	1,00	18,00	200,00	66,67	
Amostra filtro lento 3	0,00	1,00	18,00	0,00		
Amostra filtro lento 3	0,00	1,00	18,00	0,00		

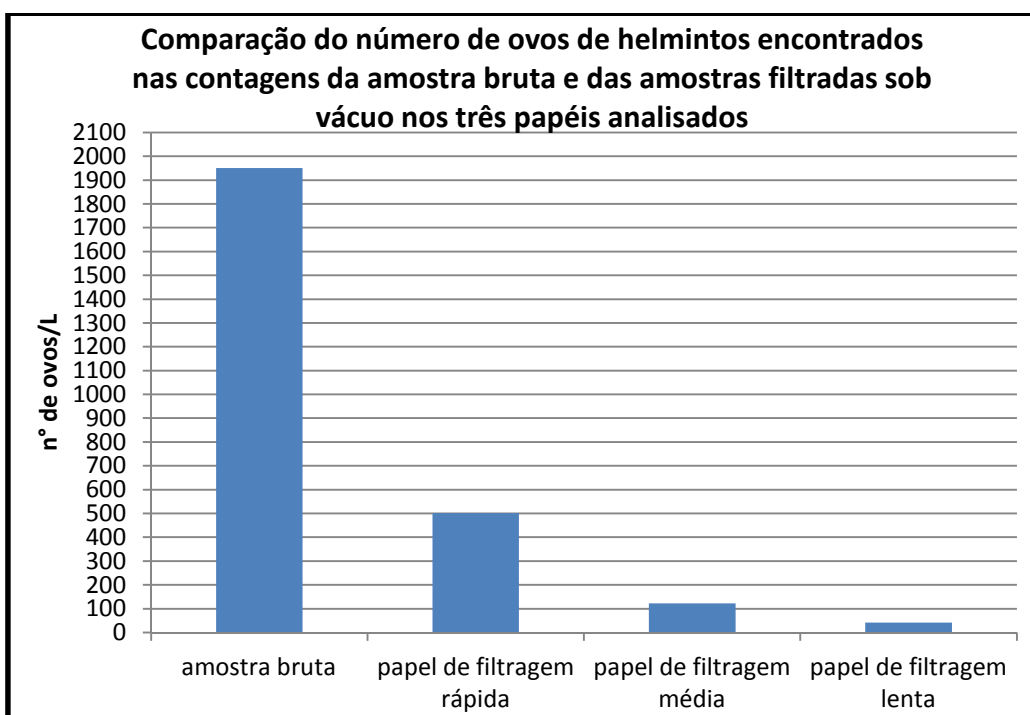


Figura 32. Resultados das contagens de ovos de helmintos na amostra bruta e nas amostras filtradas sob vácuo nos três tipos de papel analisados

Analisando os resultados encontrados no gráfico da figura 32, observa-se que a retenção dos ovos de helmintos aumentou conforme se diminuiu a porosidade dos papéis-filtro utilizados. Esse já era um resultado esperado, já que quanto menor o poro do papel, maior é a dificuldade de se transpor o mesmo.

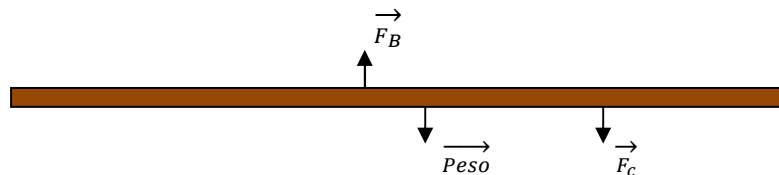
6.4. Comparações de resultados

6.4.1. Forças atuantes nos sistemas de filtração por gravidade e com a aplicação de vácuo

Para avaliar-se a força de arraste exercida no processo de filtração a vácuo no presente sistema tem-se:



No sistema esquematizado têm-se as seguintes forças atuantes:



Sendo, portanto, a força de arraste atuante no sistema:

$$F_{arraste} = Peso + F_C - F_B$$

Onde:

$$|\vec{F}_C| = P_{atm} \times A_{sup}$$

$$|\vec{F}_B| = P_{atm} \times A_{sup}$$

Portanto, essas forças se anulam.

Sendo:

P_{atm} : pressão atmosférica

A_{sup} : área superficial do papel-filtro

Num sistema de filtração por gravidade tem-se apenas a força \vec{peso} atuando, já que as forças \vec{F}_C e \vec{F}_B se anulam.

Agora, considerando a aplicação de vácuo na parte inferior do sistema, considerando uma pressão de $0,9 \times P_{atm}$ tem-se aproximadamente:

$$F_C - F_B = 0,1 \times P_{atm} \times A_{sup}$$

Considerando-se então, a pressão atmosférica na cidade de São Paulo sendo de $9 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, na amostra a ser filtrada (considerando $d=100 \text{ mm}$ ocupados

pela amostra no papel filtro) tem-se uma força resultante de $9 \times 10^3 \text{ N/m}^2$. Sendo assim, para determinar-se a força de arraste exercida no sistema de filtração com a aplicação de vácuo tem-se:

$$A_{sup} = \frac{\pi D^2}{4} \quad \therefore A_{sup} = \frac{\pi 0,1^2}{4} \quad \therefore A_{sup} \cong 8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

\therefore a força de arraste decorrente da diferença de pressão é igual a:

$$F_{arraste} = 9 \times 10^3 \times 8 \times 10^{-3} = 72 \text{ N}$$

No sistema de filtragem por gravidade tem-se somente o peso exercido pelo material que se acumula sobre o papel-filtro (cerca de 10g) atuando como força de arraste, sendo esse:

$$Peso = 0,01 \times 10 \quad \therefore Peso = 0,1 \text{ N}$$

Comparando-se então a força de arraste do sistema de filtração por gravidade com a força de arraste do sistema com aplicação de vácuo, estabelece-se a seguinte relação:

$72 \div 0,1 = 720 \text{ N}$ a mais de força no sistema de filtração a vácuo quando comparado com o sistema de filtração por gravidade. Considera-se que para obter-se de outra forma uma força como esta, teria que se utilizar uma centrífuga, por exemplo.

6.4.2. Contagem de ovos de helmintos

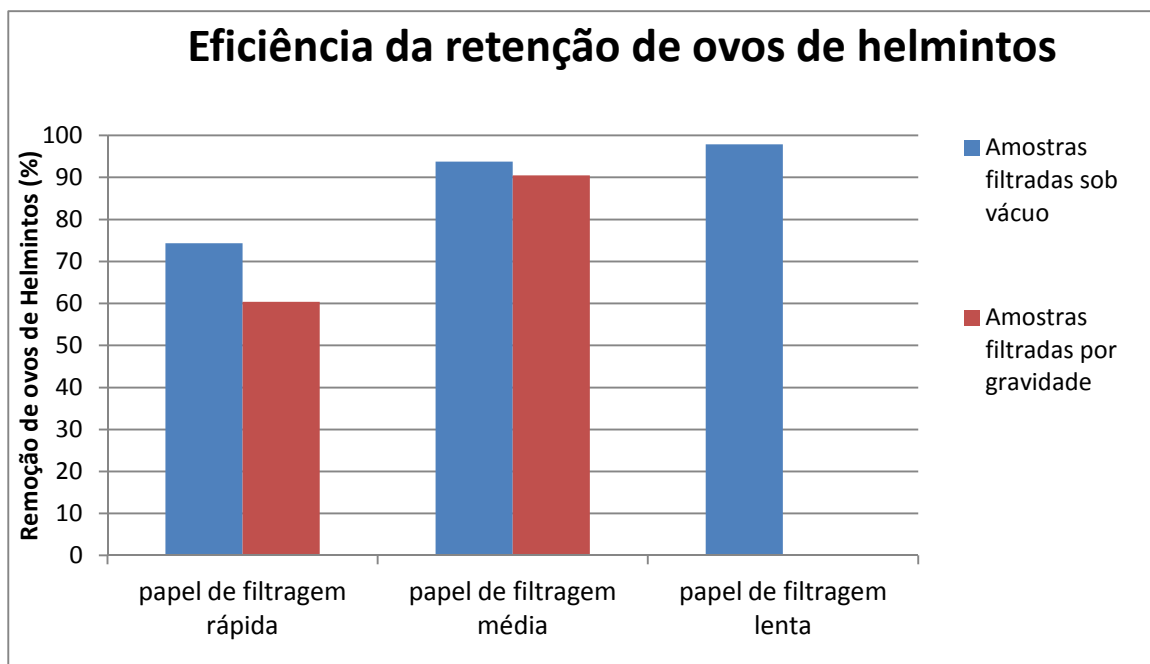


Figura 33. Eficiência da retenção de ovos de helmintos

De acordo com a figura 33, em todos os ensaios com a utilização de vácuo no sistema, a retenção de ovos de helmintos foi acima de 70% em relação à amostra bruta e sempre superior ao ensaio por gravidade. Porém, como as diferenças sempre foram pequenas, não se pode considerar que com a aplicação de vácuo no sistema houve maior retenção dos ovos de helmintos, pois como já foi dito anteriormente, o método de contagem dos ovos é impreciso e estimativo. Portanto, o ganho que se tem com a introdução de vácuo no sistema diz respeito a diminuição do tempo de filtração nos ensaios realizados. No ensaio com papel de filtragem lenta por gravidade, não foi realizada a contagem devido à demora no processo de filtração, que inviabilizou a continuidade do procedimento.

6.4.3. Tempo de filtração

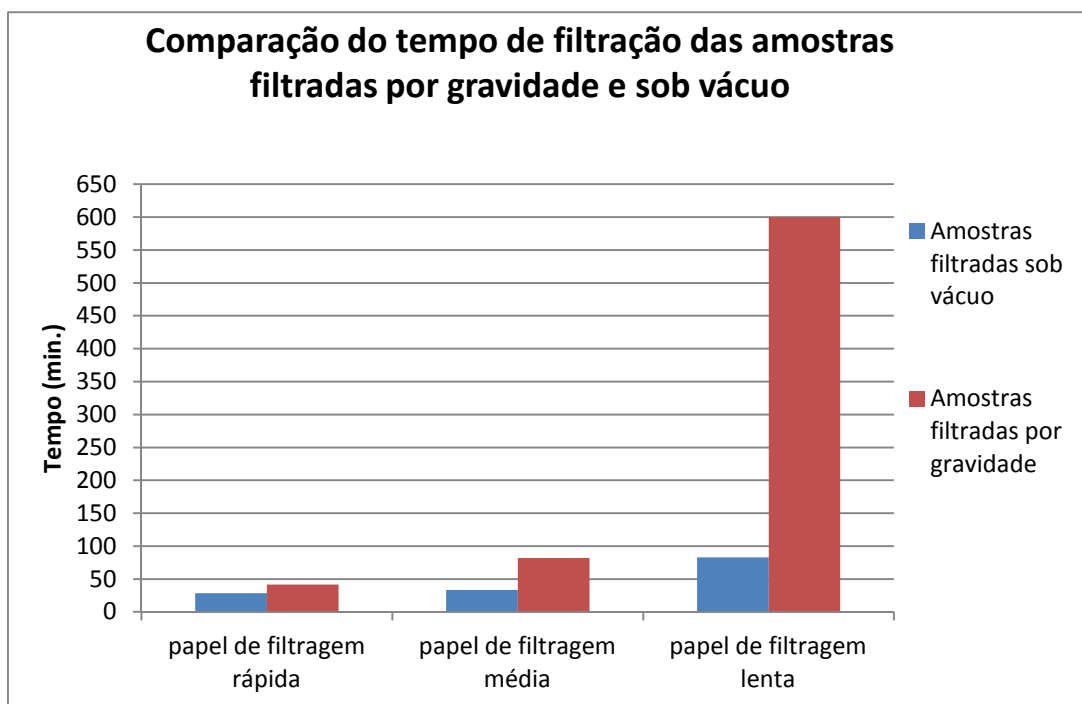


Figura 34. Comparação do tempo gasto nas filtrações por gravidade e com a utilização de vácuo.

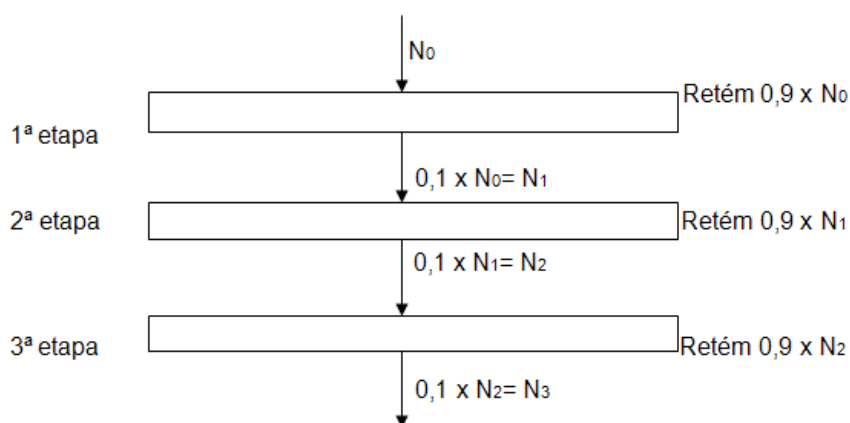
Analisando a figura 34 percebe-se que conforme se diminuiu a porosidade do papel filtro utilizado, o tempo gasto nas filtrações cresceu consideravelmente sendo que com a utilização de vácuo no sistema, esse tempo foi sempre menor do que nos ensaios de filtração por gravidade.

7. Conclusões e recomendações

Com base nos resultados apresentados pode concluir-se que dos experimentos realizados, o que obteve melhor eficiência na retenção de ovos de helmintos, foi o ensaio com papel de filtragem média sob vácuo, que obteve eficiência de mais de 90% de retenção dos ovos de helmintos com tempo de execução médio, quando comparado com os outros papéis-filtro estudados. O ensaio com o papel de filtragem rápida sob vácuo, também foi eficiente (mais de 70% de retenção de ovos de helmintos), porém não tanto quanto o ensaio com o papel de filtragem média sob vácuo, tendo só menor tempo de filtração. No caso dos ensaios com o papel de filtragem lenta, o que prejudicou a eficiência foi o tempo de filtragem, muito superior aos outros filtros estudados, porém com retenção de quase 100% dos ovos.

Com base nas diretrizes da OMS em uma única etapa de filtração, os ensaios não atingiram o valor recomendado de ≤ 1 ovo/L no efluente final para irrigação irrestrita. Mas cabe ressaltar que os ensaios foram realizados em uma única etapa de filtração, pois são ensaios laboratoriais, mas se fossem realizadas séries de filtrações, poder-se-ia ter a seguinte situação:

Um sistema de filtração contínua com diversas etapas representadas matematicamente pela seguinte hipótese:



A figura acima representa o esquema de filtração contínua em diversas etapas, com eficiência de retenção de ovos de helmintos de 90%, considerando N_0 como sendo o número de ovos/L encontrado na amostra bruta, N_1 , o número de ovos/L que passou na primeira etapa de filtração, N_2 , o número de ovos/L que passou na segunda etapa de filtração, e assim por diante, sendo a etapa M , a etapa onde se atinge o valor de ≤ 1 ovo/L..

Para estimar em qual etapa será cumprido o requisito da OMS de ≤ 1 ovo/L segue-se o seguinte raciocínio:

$$N (\text{amostra bruta}) = N_0$$

$$N (\text{etapa 1}) = 0,1 \times N_0$$

$$N (\text{etapa 2}) = 0,1 \times 0,1 \times N_0 \quad \text{até que:}$$

$$N (\text{etapa } M) = (0,1 \times 0,1 \times 0,1 \times \dots \dots \dots 0,1) \times N_0$$

que pode ser descrito como:

$$N (\text{etapa } M) = 0,1^M \times N_0$$

sendo M um número natural

Portanto, para a determinação de M , tem-se a seguinte equação:

$$N (\text{etapa } M) = N_0 \times 10^{-M}$$

Aplicando este raciocínio para os resultados de eficiência de retenção de ovos de helmintos na filtração com o papel de filtragem média, tem-se que:

$$N_0 = 1950,62$$

$$N (\text{etapa } M) = 1 \text{ ovo/L}, \text{ pois essa é a recomendação da OMS}$$

Para saber-se neste ensaio quantas etapas de filtração são necessárias para o cumprimento dessa diretriz faz-se:

$$1 \text{ ovo/L} = 1950,62 \times 10^{-M} \quad \therefore \quad \frac{1}{1950,62} = 10^{-M}$$

$$\therefore \log\left(\frac{1}{1950,62}\right) = \log(10^{-M})$$

$$\therefore \log 1 - \log 1950,62 = -M \times \log 10$$

$$\therefore 0 - \log 1950,62 = -M \times 1$$

$$\therefore -3,29 = -M \times 1$$

$$\therefore M \cong 4 \text{ etapas}$$

sendo assim, a etapa M será aproximadamente a 4ª etapa de filtração

Portanto, observa-se que se o sistema se comportar da forma com que foi descrito acima, com 4 etapas de filtração em série atinge-se o valor necessário de ≤ 1 ovo/L recomendado pela OMS para utilização da água de reuso na irrigação irrestrita.

Além do que, uma possível continuidade para o estudo seria o ensaio com um sistema em escala maior, locado em alguma ETE, onde possa ser estudada a comparação de diferentes tipos de leitos filtrantes bem como a diferença de altura das camadas de leito filtrante, que podem influenciar muito na retenção dos ovos de helmintos juntamente com a aplicação de vácuo.

GOBBI (2010) concluiu em sua pesquisa que as melhores camadas de leito filtrante com seu respectivo material, na retenção de ovos de helminto foram: 1,0m de altura de leito filtrante composto de areia e zeólito, sendo a maior eficiência encontrada com 0,35m de areia e 1,0m de carvão antracitoso num sistema de dupla camada filtrante, atendendo às diretrizes da OMS de ≤ 1 ovo/L.

Com base no estudo citado, poder-se-ia testar com essas camadas filtrantes a retenção de ovos de helmintos sob vácuo e comparar se os resultados se mostram eficientes ou não.

Cabe ressaltar que até o momento da conclusão do presente estudo não haviam sido publicados trabalhos sobre a retenção de ovos de helmintos em sistemas de filtração a vácuo com o propósito de reuso de águas residuárias para fins não potáveis, o que faz com que este estudo sirva de base para novas pesquisas e possíveis aplicações do tema proposto.

8. Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR - 9648 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

- BERNARDI, Cristina Costa. **Reuso de água para irrigação**. Brasília: ISAEFGV/ Ecobusiness School, 2003. 52p.

- BLUMENTHAL, Ursula J. *et. al.* **Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence**. Well (Water environment health at London and Loughborough). 2000.

- BRASIL – **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, 1988.

- BRASIL - Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno setorial de recursos hídricos: saneamento**. Brasília: MMA, 2006. 68 p.

- CASTRO, Gloria. Água de reuso. **Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente**. n. 61. Out./Dez. 2001.

- CETESB. **Operação e manutenção de ETA**. São Paulo: Tilibra, 1977.

- CHIEFFI, Pedro Paulo; AMATO NETO, Vicente. Vermes, verminoses e a Saúde Pública. **Ciência e cultura**. vol.55, n.1. São Paulo, Jan./Mar, 2003.

- COELHO, Wilma M.; CARVALHO, Eraldo H.; ARAÚJO, José. **Avaliação de metodologias para detecção de ovos de helmintos no lodo e determinação do percentual de recuperação**. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México, 2002. Anais.

- DA SILVA, Cleudeni Gomes; DOS SANTOS, Hudson Andrade. **Ocorrência de parasitoses intestinais da área de abrangência do Centro de Saúde Cícero Idelfonso da Regional Oeste da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, Minas gerais.** Revista de Biologia e Ciências da Terra. n.1 v.1. Belo Horizonte, 2001.

- DEGASPERI, F. T. **Contribuições para Análise, Cálculo e Modelagem de Sistemas de Vácuo.** FEEC - UNICAMP. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas. 2006.

- DEGASPERI, F. T. **Bombas mecânicas.** Notas de aula da disciplina Tecnologia do vácuo do curso Materiais, Processos e Componentes Eletrônicos. FATEC-SP, 2010.

- Di BERNARDO, L. **Algas e Suas Influências na Qualidade das Águas e nas Tecnologias de Tratamento.** ABES, 1995.

- Di BERNARDO, L; DANTAS, A. Di BERNARDO. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2.ed. São Carlos: RiMa, 2005. 792p.

- EVANGELISTA, N.; SPERLING, V.M.; CHERNICHARO, C.A.L. **Modelagem Matemática da Remoção Bacteriana e de Ovos de Helminhos em um Sistema Reator UASB/ Lagoa Facultativa, em Escala Real.** In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México, 2002. Anais.

- FLORENCIO, Lourdinha. *et. al.* (coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

- GAMA, Sergio. **Introdução a Ciência e Tecnologia de Vácuo.** Ago.2002.20f. IFGW Unicamp.2002.

- GELDREICH, E.E. **La amenaza mundial de los agentes patógenos transmitidos por el agua.** In: La Calidad del agua potable em América Latina. Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química. ILSI Argentina. OPS/OMS, 1996.

- GOBBI, Sidnei Antonio. **Remoção de ovos de helmintos de esgotos secundários, por meio de filtros rápidos de areia, carvão antracitoso e zeólito para reuso agrícola e urbano não potável.** Universidade de São Paulo – Escola Politécnica. Dissertação (mestrado). São Paulo, 2010.

- HESPANHOL, I; GONÇALVES, O M. (Coord.). **Manual de Conservação e Reuso de Água para a indústria.** Federação e Centro das Indústrias do estado de São Paulo – FIESP/CIESP. v.1. 2004.

- HESPANHOL, I. **Wastewater as a resource.** In: Water pollution control. a guide to the use of water quality management principles. WHO/UNEP, 1997.

- MOUTINHO, A.; SILVA, M. E.; CUNHA, M. A. **Tecnologia de vácuo.** 1. Ed. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.1980.

- NEVES, David. P. **Parasitologia Humana.** 11.ed. São Paulo. Editora Atheneu, 2010.

- NUVOLARI, A (coord.). **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** São Paulo: Edgard Blucher, 520p., 2003.

- Organização das Nações Unidas. **Declaração Universal dos Direitos da água.** Mar, 1992. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/datas/agua/declaracao.html>>. Acesso em: 12.abr.2010.

- ORNELAS, Pedro. **Reuso de água em edifícios públicos: O caso da Escola Politécnica da UFBA.** Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e

Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, 2004.

- PÁDUA, L. (coordenador Projeto PROSAB). **Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 392p.

- PESCOD, M.B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, 1992.

- Portal Educação e Sites Associados. **Apostila do Curso de Epidemiologia e Saúde Pública**. 2009.

- REBOUÇAS, A.C. BRAGA, B; TUNDISI, J.G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

- RODRIGUES, R. S. **As dimensões legais e institucionais do reuso no Brasil: proposta de regulamentação do reuso no Brasil**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo: São Paulo, 2005.

- SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental. **Gestão participativa das águas**. Texto: Rosely Sztibe e Lúcia Bastos Ribeiro de Sena. São Paulo: SMA/CPLEA, 2004.

.- SANEPAR. **Manual de Métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem de lodo de esgoto**. Companhia de Saneamento do Paraná/ Cleverson Vitorio Andreoli (coord.), Bárbara Rocha Pinto Bonnet (coord.). Curitiba: Sanepar, 1998.

- TELLES, Dirceu D' Alkmin.; COSTA, Regina P. G. **Reuso da Água: Conceitos, Teorias e Práticas**. 1.ed. São Paulo. Editora Blücher, 2007.

- TOMPKIS, H. G. **Pumps used in vacuum technology**. AVS monographs series: The education committee American vacuum society. F.R. Shepherd Monograph editor, 1991.

- TOSETTO, Mariana de Salles. **Tratamento terciário de esgoto sanitário para fins de reuso urbano**. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Dissertação (mestrado). Campinas, SP: [s.n.], 2005.

- UMRATH, Walter (coord.). **Fundamentals of Vacuum Technology**. 1998.

- WHO Regional Centre for Environmental Health Activities. **Integrated Guide to Sanitary Parasitology**. WHO Regional Centre for Environmental Health Activities. p. 119, 2004.

- ZERBINI, Adriana M. **Identificação e Análise de Viabilidade de Ovos de Helmintos em um Sistema de Tratamento de Esgotos Domésticos Constituído de Reatores Anaeróbios e Rampas de escoamento Superficial**. 2000.143f. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

Apêndice A

Gráficos das variações de pressão nos ensaios de filtração sob vácuo

A partir da análise das pressões utilizadas nos ensaios, foram gerados os gráficos a seguir.

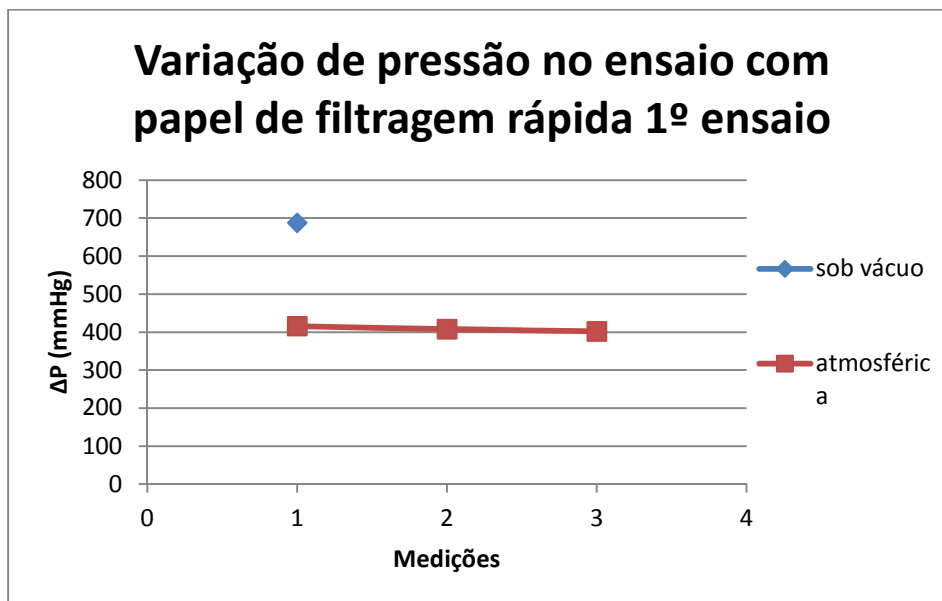


Figura 35. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do primeiro ensaio com o papel de filtragem rápida

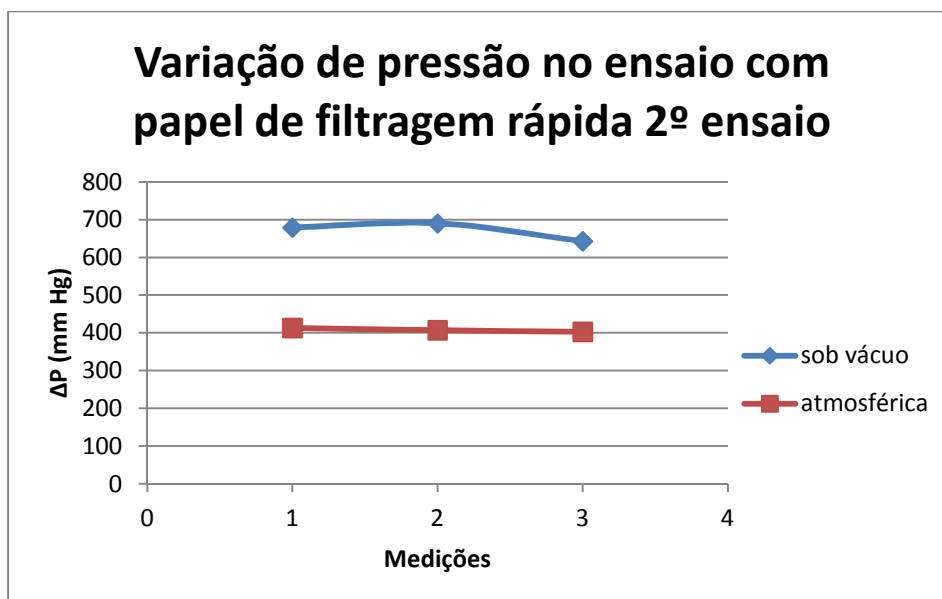


Figura 36. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do segundo ensaio com o papel de filtragem rápida

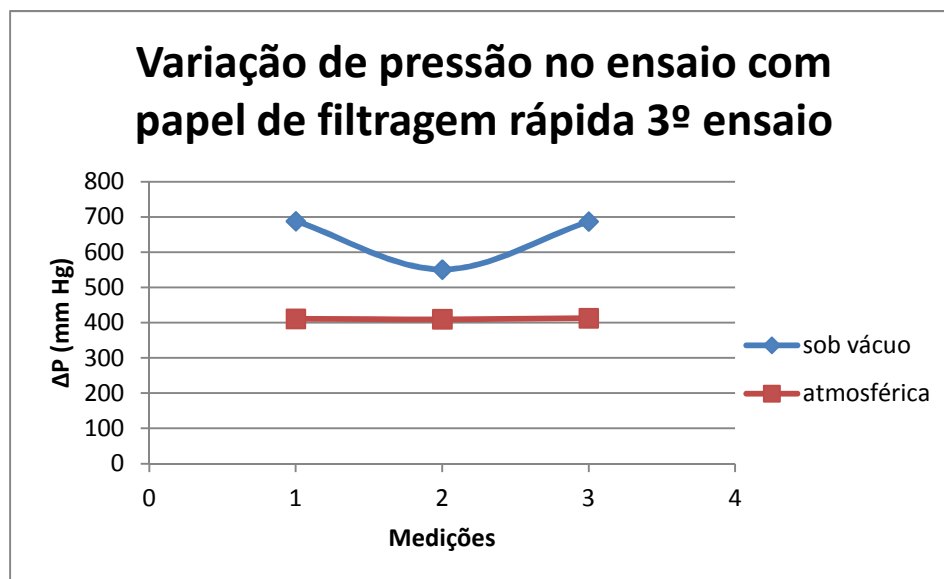


Figura 37. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do terceiro ensaio com o papel de filtragem rápida

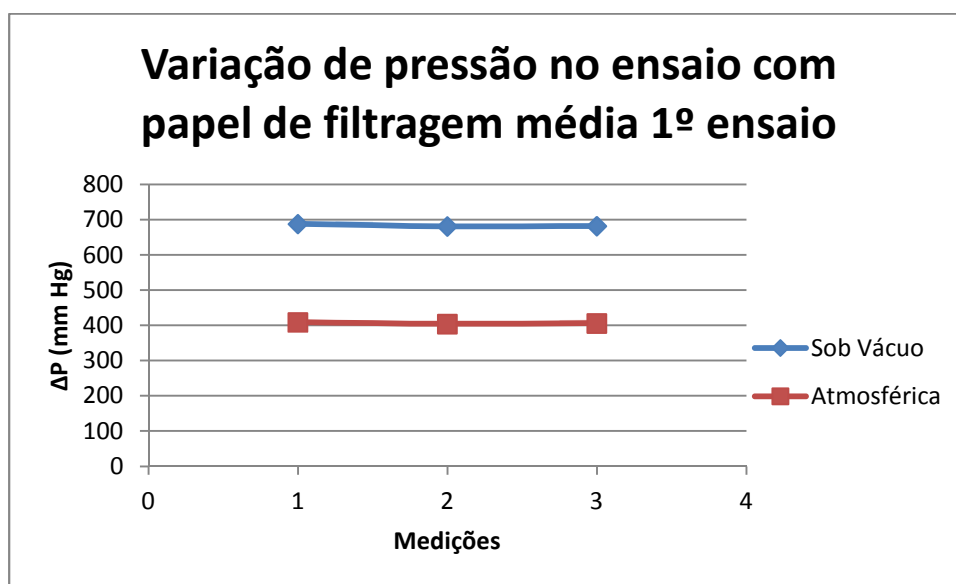


Figura 38. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do primeiro ensaio com o papel de filtragem média

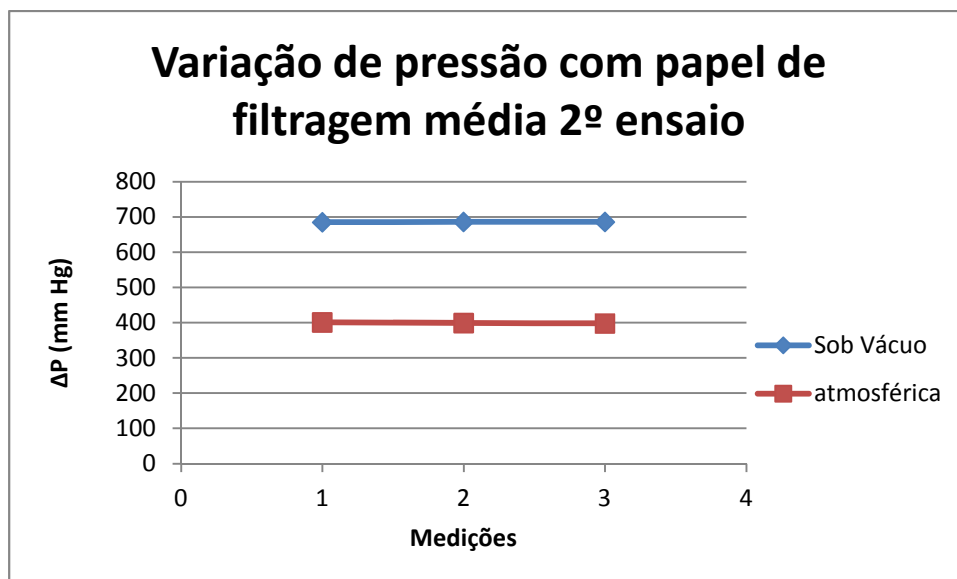


Figura 39. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do segundo ensaio com o papel de filtragem média

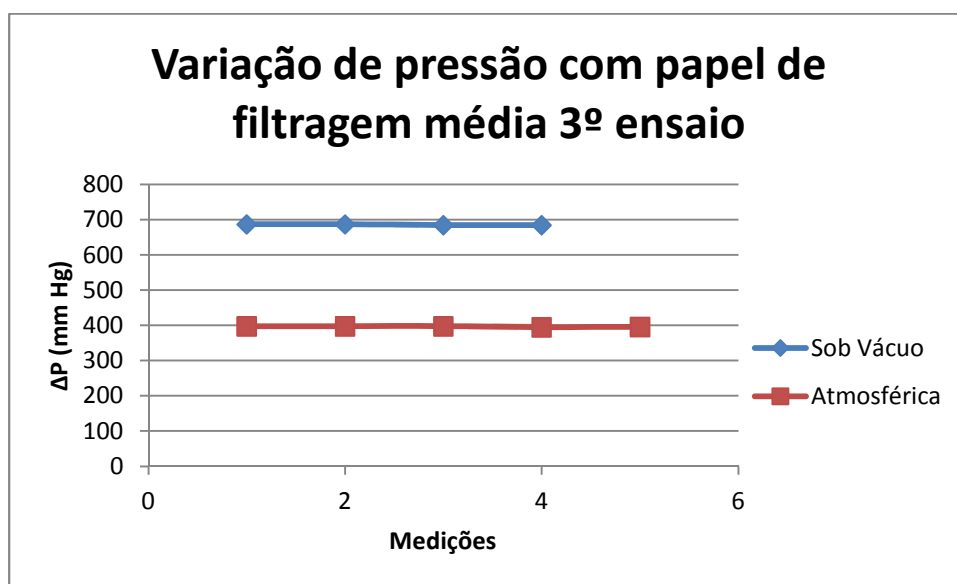


Figura 40. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do terceiro ensaio com o papel de filtragem média

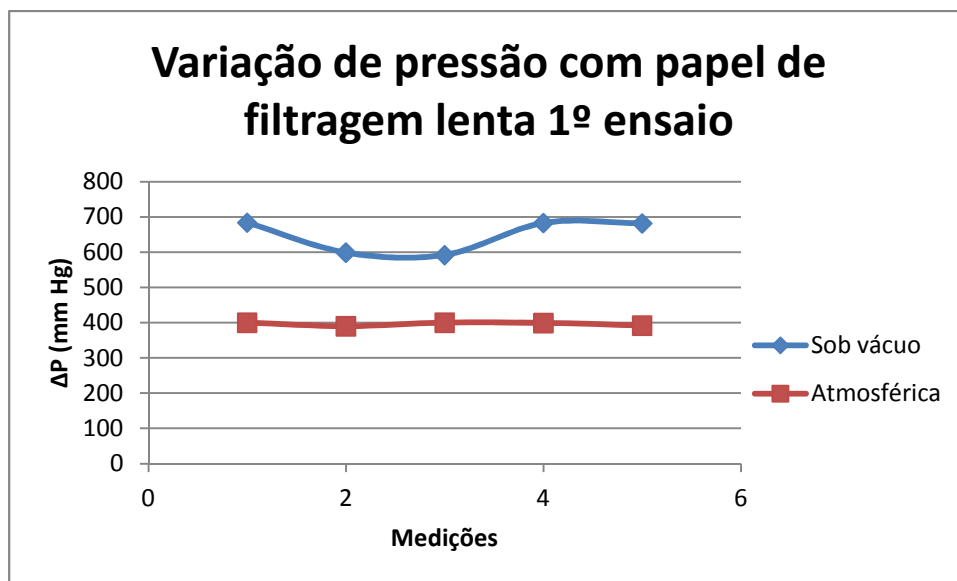


Figura 41. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do primeiro ensaio com o papel de filtragem lenta

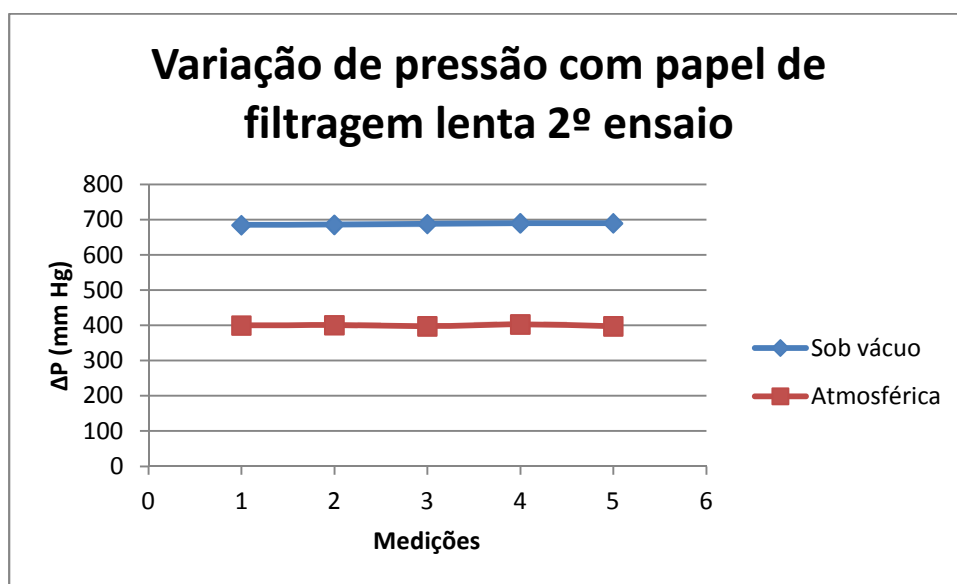


Figura 42. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do segundo ensaio com o papel de filtragem lenta

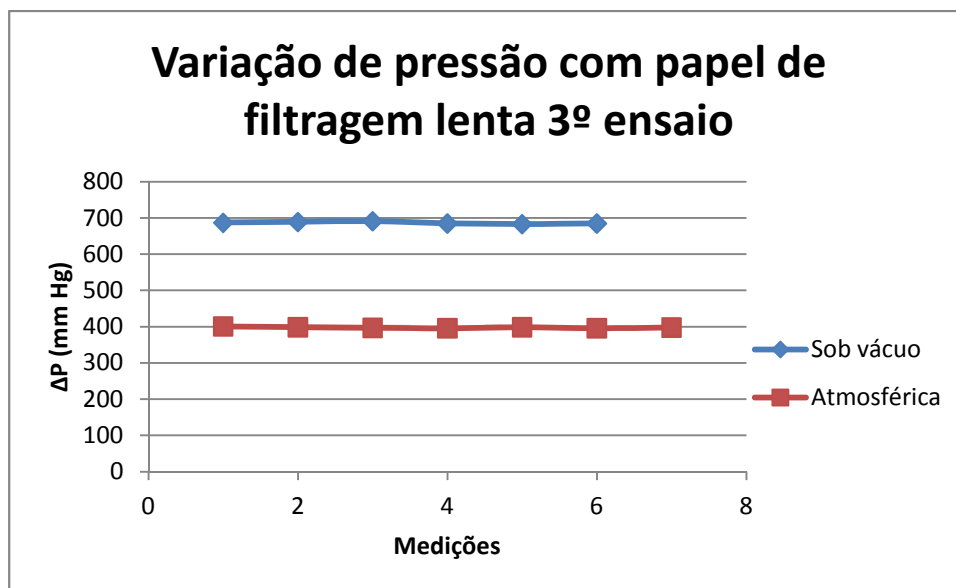


Figura 43. Variação de pressão no sistema de vácuo ao longo do terceiro ensaio com o papel de filtragem lenta

Analisando as figuras deste subitem observa-se que as variações de pressão no sistema de vácuo ao longo dos ensaios efetuados foram constantes, o que praticamente descarta a presença de vazamentos significativos, o que mostra a estanqueidade do referido sistema de vácuo. Essa variação ao longo dos ensaios ocorreu devido às aberturas da câmara de vácuo para verificar se a amostra já havia sido totalmente filtrada, onde a amostra era submetida ao arraste mecânico da pressão atmosférica.