

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Leo Kem Dorfman

**PISCINAS BIOLÓGICAS: AVALIAÇÃO DE UM
SISTEMA NATURAL DE CONTROLE DE QUALIDADE
DA ÁGUA**

Porto Alegre
Julho 2017

LEO KEM DORFMAN

**PISCINAS BIOLÓGICAS: AVALIAÇÃO DE UM
SISTEMA NATURAL DE CONTROLE DE QUALIDADE
DA ÁGUA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: David Manuel Lelinho da Motta Marques

Porto Alegre
Julho 2017

LEO KEM DORFMAN

**PISCINAS BIOLÓGICAS: AVALIAÇÃO DE UM
SISTEMA NATURAL DE CONTROLE DE QUALIDADE
DA ÁGUA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a
obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo
Professor Orientador da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2017

Prof. David Manuel Lelinho da Motta Marques
Dr. em Engenharia Ambiental pelo Imperial College of Science, Technology and
Medicine
Orientador

Prof. Dieter Wartchow
Dr. Engenharia Sanitária e Ambiental pela Stuttgart Universität
Revisor

BANCA EXAMINADORA

Prof. David Manuel Lelinho da Motta Marques (UFRGS)
PhD/DIC, Imperial College of Science, Technology and Medicine

Prof. Dieter Wartchow (UFRGS)
Dr., Stuttgart Universität

Profa. Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues (UFRGS)
Dra., Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS

Dedicado ao Bento e todas as pessoas que estiveram ao meu lado neste final de curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor David Marques por orientar meu trabalho de graduação e por todo conhecimento transmitido. Agradeço também por sua boa vontade ao se oferecer para adquirir os manuais estrangeiros em piscinas biológicas, cujas informações foram essenciais à elaboração deste trabalho. E pela exigência em sua disciplina eletiva de Ecotecnologia; que foi um abrir de olhos em relação à sustentabilidade no espaço construído.

Agradeço à alguns professores que considero importantes em meu caminho na graduação e que contribuíram para minha formação: Cecilia Gravina da Rocha, Nilo Cesar Consoli, Lucas Festugato, Miguel Aloísio Sattler, Luis Carlos Bonin, Roberto Rios, Tiago Filomena, Maestri, Dieter Wartchow, Fernando Fan e Ana Paula Passuelo. Não posso deixar de mencionar os professores Ruy Menezes e Felipe Schaedler de Almeida por serem rigorosos, e considerados por muitos, inclusive eu anteriormente, como carrascos. Hoje entendo totalmente o porquê do rigor e os agradeço por isso.

Agradeço aos engenheiros Rodrigo Beck Saldanha e Thais de Paula pelo coleguismo e aprendizado nos períodos em que participei de suas pesquisas quando realizei iniciação científica.

Agradeço as seguintes pessoas que me auxiliaram por e-mail elucidando dúvidas: Luis Pereira da Bionatare, Alice Stahl da FLL, David Butler da Organic Pools UK e Udo Schwarzer da IOB.

Agradeço ao amigo expatriado Luis Otávio que desde a Alemanha me auxiliou buscando material ou traduzindo termos do alemão.

Agradeço à todos os amigos que fiz durante a faculdade, pela parceria, trabalhos em equipe e materiais emprestados. Em especial ao Jairo Garcez e Joel Blanco por serem amigos de todas as horas e grandes camaradas.

Aos meus tios Maria Emília e Gabriel pelo auxílio com traduções do alemão. E pelos conselhos ao longo de minha penosa vida acadêmica.

Aos ex-vizinhos de porta, João Rovati e Bettina Becker, por me emprestarem seu escritório doméstico durante a elaboração deste trabalho e tolerarem minha presença

até altas horas da madrugada. Especialmente agradeço à Bettina pelas sugestões em traduções e pelo trabalho de revisão textual que realizou. Sem o apoio e companhia diária dos dois nunca teria conseguido terminar este trabalho.

Agradeço ao Esmejor e o Salama da Prot Consultoria em Segurança pela camaradagem e flexibilidade ao permitirem que eu me ausentasse do serviço para me dedicar ao TCC.

Agradeço aos meus pais, Eliezer e Maria Elza Dorfman, pelo apoio e compreensão incondicional durante meu hiato acadêmico e em todo este longo período que levei para terminar a faculdade.

Eu estava na piscina!

George Costanza

RESUMO

O lazer e os esportes aquáticos são extremamente populares. Tanto em corpos d'água naturais, quanto artificiais, é nítida a atração do ser humano pela água. Somado a isso, muitas pessoas também utilizam piscinas como um meio de aliviar o calor em meses de verão. Entretanto, estas atividades não estão livres de riscos. Além dos perigos ligados a lesões, afogamentos, etc., a piscina pode ser uma fonte de transmissão de doenças, se sua água não for corretamente tratada. O método convencional de tratamento se constitui de filtragem, recirculação e adição de produtos químicos depurantes, sendo o mais usual deles o cloro. Entretanto, estes produtos químicos não são completamente seguros, podendo causar acidentes em sua cadeia de produção e distribuição, efeitos colaterais adversos aos usuários devido a subprodutos de desinfecção potencialmente cancerígenos, além de atacar componentes construtivos e causar impacto ambiental. Uma solução possível para este problema são as piscinas biológicas, que utilizam plantas para depuração da água, seguindo os mesmos princípios do tratamento de água usados em banhados construídos. Além de mimetizar um processo que ocorre na natureza e, portanto, sem aporte químico, as piscinas biológicas possuem um grande valor paisagístico. Neste trabalho, foi realizado o dimensionamento de piscinas biológicas e foi feita uma comparação entre o sistema convencional e o biológico de tratamento de piscinas para duas situações: piscina residencial privativa e piscina residencial coletiva. Ao final, chegou-se às conclusões que o sistema biológico pode atender às necessidades de tratamento das duas situações apresentadas e que seus custos iniciais mais elevados são compensados, no longo prazo, pelo impacto quase nulo ao meio ambiente e à saúde dos usuários, pela menor complexidade de manutenção e operação e pela ausência de gastos com produtos químicos.

Palavras-chave: Piscinas Biológicas, Biopiscinas, Piscinas Ecológicas, Macrófitas, Subprodutos de desinfecção

ABSTRACT

Water leisure activities and sports are extremely popular. In addition to their attraction to both natural and artificial waterbodies, many people also use swimming pools as a means of alleviate the heat sensation during the summer. However, these activities are not free from risks. In addition to the hazards associated with injuries, drowning, etc., swimming pools can be sources of disease transmission if their water is not properly treated. The conventional method of treatment consists of filtration, recirculation, and addition of purifying chemicals, typically chlorine. However, these chemicals are not completely safe and can cause accidents during their production and distribution, have adverse side effects to the users due to their potentially carcinogenic byproducts, and may also affect constructive components and the environment. A possible solution to this problem is the natural swimming pool, which uses plants for water purification, following the same principles of water treatment applied in constructed wetlands. In addition to mimicking a process that occurs in nature and therefore, without chemical input, natural swimming pools have an extraordinary landscape value. In this study, natural swimming pools were designed, and the conventional and the biological treatments systems of swimming pools were compared under two situations: private residential swimming pool and collective residential swimming pool. It was concluded that the biological system can meet the treatment needs under both situations, and that its higher initial costs are offset in the long term by the almost insignificant impact on the environment and the health of users, by its lower maintenance and operation complexity, and the absence of expenses with chemicals.

Keywords: Natural Swimming Pools, NSP, Biological water treatment, Disinfection by-products

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Piscina Natural em Porto de Galinhas/RN.....	23
Figura 2 – Piscina Biológica no Condomínio Ecológico Vale do Tinguá, Nova Iguaçu, RJ	24
Figura 3 – Diagrama de delineamento da pesquisa	28
Figura 4 – Potenciais riscos microbiológicos em piscinas	30
Figura 5 – Sistema hidráulico de uma piscina convencional.....	41
Figura 6 – Número de acidentes com produtos químicos entre 2006 e 2010 no Brasil.....	45
Figura 7 – Ciclo de vida externo do criptosporídeo	46
Figura 8 – Relação entre risco e gravidade relativos de ocorrências em piscinas.....	47
Figura 9 – Animal selvagem consumindo água de uma piscina no Mole Hotel, Gana	52
Figura 10 – Primeira piscina biológica.....	55
Figura 11 – Falta de integração paisagística de piscinas convencionais na Ilha dos Marinheiros, região metropolitana de Porto Alegre	57
Figura 12 - Representação simplificada da piscina biológica	58
Figura 13 – Piscina biológica em Araras, Petrópolis, RJ	59
Figura 14 – Esquema de uma piscina biológica	60
Figura 15 – Organização dos tipos de <i>wetlands</i>	61
Figura 16 – Aspecto de infestação de algas filamentosas em aquário.....	75
Figura 17 - Caso piscina residencial privativa	79
Figura 18 – Proposta de piscina privativa	80
Figura 19 - Caso piscina residencial coletiva	82
Figura 20 – Proposta para piscina coletiva.....	83
Figura 21 – Modelos de banhados construídos	109
Figura 22 – Topologia I.....	111
Figura 23 – Topologia II.....	111
Figura 24 – Topologia IIIa.....	112
Figura 25 – Topologia IIIb	112
Figura 26 – Topologia IV	113
Figura 27 – Topologia V	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Meios de transmissão de doenças por meio aquático	31
Quadro 2 – Classificação de piscinas segundo norma brasileira.....	39
Quadro 3 – Riscos à saúde resultados da exposição ao cloro e/ou DBP em piscinas	48
Quadro 4 – Soluções alternativas para tratamento de piscinas.....	54
Quadro 5 – Mecanismos de remoção de poluentes em <i>wetlands</i>	62
Quadro 6 – Topologias piscinas residenciais privadas.....	69
Quadro 7 – Ações de manutenção e periodicidade.....	71
Quadro 8 – TCPO para estrutura e tanque da piscina.....	105
Quadro 9 – TCPO para bomba	105
Quadro 10 – TCPO para tubos e conexões em PVC	105
Quadro 11 – Lista de DBP encontrados em piscinas.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios para classificação das condições de balneabilidade no Brasil	34
Tabela 2 – Área mínima por banhista.....	40
Tabela 3 – Tempo máximo de recirculação.....	40
Tabela 4 – Critérios de contaminação para vida aquática	51
Tabela 5 – Requisitos químicos da água de enchimento	64
Tabela 6 – Requisitos químicos da ZN e água de qualidade pura	64
Tabela 7 – Valores máximos de parâmetros microbiológicos sanitários	65
Tabela 8 – Padrões de qualidade para águas Classe 1	103
Tabela 9 – Requisitos técnico-estruturais dos sistemas de depuração.....	115

LISTA DE SIGLAS

AEC – Antes da Era Comum

Ca(ClO)₂ – Hipoclorito de cálcio

CST – Corrosão sob tensão

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DBP – Subprodutos de desinfecção da água

FLL – *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.* - Sociedade de Pesquisa para o Desenvolvimento e Construção Paisagísticos (tradução nossa)

GIABN – Grupo Ibérico de Águas de Banho Naturalizadas

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IOB – *Internationale Organisation für naturnahe Badegewässer* - Organização Internacional para Águas Balneáveis Naturais (tradução nossa)

N – Nitrogênio

NaClO – Hipoclorito de sódio

NBR – Norma Brasileira

OD – Oxigênio Dissolvido

OMS – Organização Mundial da Saúde

P – Fósforo

pH – Potencial de Hidrogênio

TCPO – Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos

THM – Trihalometanos

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UV – Radiação Ultravioleta

ZN – Zona de nado ou natação

ZR – Zona de regeneração.

LISTA DE SÍMBOLOS

- C_0 – Concentração inicial de substância ou microrganismo
- C_B – Carga de entrada de substância ou microrganismo por banhista
- $C_{Q \text{ não-diluído}}$ – Concentração de substância ou microrganismo na vazão de enchimento (mg/m^3 ou UFC/m^3)
- e – Número de Euler (2,71828)
- E_A – Evaporação da superfície da água (mm/dia)
- $E_{\text{li}_{\text{dep-i}}}$ – Taxa de eliminação do sistema de depuração exp – Fórmula 2
- $E_{\text{li}_{\text{zoo}}}$ – Taxa de eliminação por zooplâncton, baseado na substância examinada
- $f(v)$ – Função da velocidade do vento
- n_B – Número de banhistas por dia
- $pS(T_{SA})$ – Pressão de saturação da temperatura da superfície da água (hPa)
- p_v – Pressão de vapor do ar (hPa)
- $Q_{\text{dep-i}}$ – Vazão de purificação examinada (m^3/dia)
- Q_e – Vazão de entrada da água de enchimento (m^3/dia)
- Q_{zoo} – Vazão de filtrada pelo zooplâncton (m^3/dia)
- V_p – Volume da piscina (L ou m^3)
- $T_{\text{red,dep}}$ – Tempo em que a redução da substância pelo sistema de depuração deve ocorrer (h)
- $T_{\text{red,zoo}}$ – Tempo em que a redução da substância por zooplâncton deve ocorrer (h)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 APRESENTAÇÃO	20
1.2 JUSTIFICATIVA	24
1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO	26
1.3.1 Objetivo principal.....	26
1.3.2 Objetivos secundários	26
1.4 METODOLOGIA	27
1.5 DELIMITAÇÕES	27
1.6 LIMITAÇÕES	27
1.7 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	28
2 CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RECREATIVAS	29
2.1 FONTES DE CONTAMINAÇÃO	29
2.2 REQUISITOS DE NORMA E RESOLUÇÕES	32
2.3 ÍNDICES DE CONTAMINAÇÃO POR BANHISTA	36
3 PISCINA CONVENCIONAL	37
3.1 CARACTERIZAÇÃO	37
3.2 PROBLEMAS ASSOCIADOS AO USO DO CLORO	42
3.2.1 Materiais construtivos.....	42
3.2.2 Riscos associados à saúde humana.....	44
3.2.3 Impacto ambiental.....	49
3.3 ALTERNATIVAS	53
4 PISCINA BIOLÓGICA	55
4.1 CARACTERIZAÇÃO	57
4.1.1 Tratamento.....	59
4.1.2 Requisitos de qualidade de água	63
4.1.2.1 Físicos.....	63
4.1.2.2 Químicos.....	63
4.1.2.3 Biológicos.....	64
4.1.2.4 Sanitários	65
4.1.3 Implementação.....	65
4.1.3.1 Piscinas privadas	65
4.1.3.2 Piscinas coletivas.....	68
4.1.4 Operação e manutenção.....	70
4.2 PROBLEMAS ASSOCIADOS	72
4.2.1 Riscos biológicos	72
4.2.2 Custos iniciais.....	75
4.2.3 Operação e manutenção do sistema	76
5 APLICAÇÃO	78
5.1 PISCINA RESIDENCIAL PRIVATIVA	78
5.1.1 Situação existente.....	78
5.1.2 Piscina biológica proposta	79
5.2 PISCINA RESIDENCIAL COLETIVA	81
5.2.1 Situação existente.....	81
5.2.2 Piscina biológica proposta	82
6 COMPARAÇÃO DOS CASOS.....	85
6.1 IMPACTO AMBIENTAL	85
6.2 EFEITOS COLATERAIS PARA BANHISTAS	85
6.3 CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	86

6.4 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	86
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
REFERÊNCIAS	91
ANEXO A – PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA ÁGUAS CLASSE 1 SEGUNDO A RESOLUÇÃO 274 DO CONAMA	102
ANEXO B – COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DE EXECUÇÃO DE PISCINA.....	104
ANEXO C – LISTA DE DBP IDENTIFICADOS EM PISCINAS TRATADAS COM CLORO E OUTROS AGENTES QUÍMICOS	106
ANEXO D – MODELOS ESQUEMÁTICOS DE BANHADOS CONSTRUÍDOS	108
ANEXO E – PLANTAS ESQUEMÁTICAS DAS 5 TOPOLOGIAS DE PISCINA DA FLL	110
ANEXO F – REQUISITOS TÉCNICO-ESTRUTURAIS DOS SISTEMAS DE DEPURAÇÃO.....	114
ANEXO G – EQUACIONAMENTO DA PERDA DE ÁGUA POR EVAPORAÇÃO	116
ANEXO H – CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO DO CASO PISCINA COLETIVA	118

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Em tempos de crise ambiental global, a escassez hídrica tem ocupado cada vez mais espaço na mídia, na academia e no cotidiano. A água, uma necessidade básica para nossa vida, também está presente nas nossas atividades de lazer. Esportes e recreação aquáticos são atividades populares. Entretanto, este lazer possui um aspecto pouco comentado e que pode ter graves consequências: o sistema convencional de tratamento da água de piscina causa impacto ambiental e riscos à saúde de seus usuários. Portanto, avaliar alternativas a este sistema é uma necessidade.

O conceito mais antigo de piscina registrado na História remonta aos banhos sagrados da civilização do Vale do Indo ao redor de 3.000 AEC. Na civilização helênica, os ginásios olímpicos contavam com piscinas e na Israel Antiga, o banho judaico ritualístico e de purificação era realizado em piscinas chamadas *Mikve*. Os Romanos levaram a cultura dos banhos públicos, com piscinas para natação e lazer, águas termais e saunas através de seu império. Posteriormente, a construção de locais de piscina declinou no ocidente com a queda do Império Romano, mas continuaram populares no Oriente entre as civilizações da Turquia, Índia, Sri Lanka e Japão (GABRIELSEN, 1969).

Passando a épocas mais recentes, a Era Vitoriana proporcionou uma melhora das condições de vida para milhões de pessoas através de avanços sem precedentes nos campos da medicina, ciências, infraestrutura pública e tecnologias industriais. Mesmo assim, na Europa e Estados Unidos da América (EUA), a medicina ainda era incapaz de prevenir pandemias como cólera, febre tifoide e disenteria (OLSEN, 2007). As suspeitas da fonte de tais moléstias variavam, incluindo a hipótese de que teria origem em vapores exalados pela falta de higiene da população mais pobre dos centros urbanos. Naquela época, as águas sem tratamento das piscinas públicas da época também geravam suspeita de serem vetores de moléstias (FIELDS, 2014). Contudo, estas suspeitas foram confirmadas somente com pesquisas científicas publicadas no ano de 1915, pelo bacteriologista Wallace Maheimer da Universidade de Columbia nos EUA. Maheimer descobriu que a gonorreia, a disenteria, a otite, a conjuntivite e a

febre tifoide eram facilmente transmissíveis em piscinas. Para combater o problema, recomendou que a água da piscina fosse circulada através de um filtro e que recebesse regularmente tratamento com hipoclorito de cálcio, $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, conhecido popularmente como alvejante em pó, ou utilizando cloro anidro, AHCl (WILTSE, 2010). Incorporados à água, estes ácidos combatem os agentes microbiológicos nocivos à saúde através de um processo de oxidação que destrói a parede celular microbial. Sucessivamente, com o uso de armas químicas na Primeira Guerra Mundial, a demanda por substâncias alcalinas, entre elas o cloro de piscina, aumentou exponencialmente. Com o fim do conflito, a vasta experiência da indústria do cloro na produção, manuseio e transporte dessa substância resultou em redução de custos e permitiu a popularização do cloro como agente de tratamento de água de piscinas e desinfetante universal (OLSEN, 2007).

A carga de contaminantes de uma piscina tem uma origem principal: **as pessoas**. O corpo humano é um microbioma, onde vivem bactérias, protozoários, vírus e fungos. Além disso, existe a deposição involuntária, ou não, de urina, suor, sangue, supurações, fezes, diarreias e vômitos. Ao entrar na água com o organismo desequilibrado – em outras palavras, doente – a água tibia da piscina proporciona o ambiente ideal para o desenvolvimento e transmissão de patógenos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006). Para que a piscina seja livre de riscos à saúde, é necessário que a água apresente equilíbrio delicado entre pH e cloro. Se a água da piscina está ácida, com pH menor do que 7,0, apresenta risco aos banhistas por causar lesões nos tecidos frágeis dos olhos, nariz, boca e pulmões. Se a água da piscina está alcalina, com pH maior que 7,0, a água torna-se cáustica, inibindo a ação do cloro, e a piscina torna-se um caldo de patógenos (BONNICK, 2006). Entretanto, esta solução de descontaminação pode causar danos à saúde e desconfortos como esverdeamento e ressecamento do cabelo, envelhecimento precoce da pele, ressecamento da pele, urticária, problemas respiratórios, sintomas de resfriado, problemas digestivos e subprodutos cancerígenos da reação do cloro com matéria orgânica ou com cosméticos presentes na pele dos banhistas (FIELDS, 2014). Além disso, quando a água clorada da piscina atinge lagoas, lagos, rios e mares, a alta concentração de cloro é comprovadamente prejudicial aos peixes e outros organismos de vida aquática. Mesmo concentrações baixas, da ordem de 0,011 ppm, já são suficientes para afetar

alguns organismos aquáticos (KLARICH, 2006). Diferentemente de corpos d'água naturais, a piscina é um corpo isolado e não está sob influência hidrológica de vazões de entrada e saída. Por isso, é necessário também mimetizar os processos que ocorrem na natureza. A água deve se fazer circular por bombas ou tanques, emulando o ciclo hidrológico, e filtrada por filtros de areia, emulando o solo dos lagos, plantas aquáticas e plâncton (FIELDS, 2014).

Na busca por um sistema de piscina mais saudável e não agressivo ao meio-ambiente, foi desenvolvido na Europa, a partir dos anos 80, o conceito de piscinas biológicas. A piscina biológica é um sistema muito similar à piscina convencional, mas a principal diferença é a total ausência de produtos químicos. O tratamento da água é realizado através de filtros e plantas macrófitas localizadas em uma área específica, a zona de regeneração (ZR), (OLSEN, 2007; FIELDS, 2014).

Neste trabalho, a piscina biológica é discutida no contexto da construção civil, particularmente a viabilidade de sua implementação com base no dimensionamento de sistemas de controle da qualidade de água com plantas. Para tanto, são utilizados conceitos da Ecotecnologia¹.

Por possuir uma configuração mais próxima à encontrada na natureza, pelo uso de plantas em seu entorno e pela tradução literal da denominação em inglês *Natural Swimming Pool*, a Piscina Biológica é também conhecida por Piscina Natural na literatura brasileira informal. Entretanto, esta denominação também inclui piscinas que surgem na natureza por ação geológica, como os recifes que formam piscinas de águas claras e mornas, muito comuns no Nordeste brasileiro.

¹ Ecotecnologia: Ciência aplicada, que integra os campos da engenharia e da ecologia, reproduzindo os processos naturais com o intuito de minimizar os impactos provenientes da ação humana no meio ambiente. Também conhecida por Biomimetismo e Tecnologias Ambientalmente Sustentáveis (TAS).

Figura 1 - Piscina Natural em Porto de Galinhas/RN



(fonte: <http://eloim.tur.br>)

A Norma Brasileira (NBR) 9819 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989), também inclui a especificação Natural em sua norma de classificação de piscinas. Entretanto, esta classificação diz respeito apenas à utilização de recursos naturais para a construção de piscinas, como pedras ou rochas por exemplo. Desta maneira, buscando uma denominação mais adequada, o termo utilizado para o sistema de tratamento de água de piscina com plantas será designado por Piscina Biológica².

² Este posicionamento segue a denominação portuguesa. Desde 1995, já são construídas piscinas biológicas em Portugal e atualmente o país ocupa o quinto lugar no ranking mundial dos países com piscinas biológicas. Segundo o Grupo Ibérico de Águas de Banho Naturalizadas (GIABN), existem cerca de 200 unidades em Portugal, das quais 50 são de uso turístico.

Figura 2 – Piscina Biológica no Condomínio Ecológico Vale do Tinguá, Nova Iguaçu, RJ



(fonte: executado por BIONATARE, 2012)

1.2 JUSTIFICATIVA

O estudo de piscinas biológicas no contexto brasileiro também é justificado pelo interesse da população nacional por piscinas em geral. No atual mercado imobiliário brasileiro, as áreas comuns e de lazer com piscinas são cada vez mais valorizadas e procuradas por clientes em potencial (MACEDO, 2013 *apud* SANT'ANA, 2006). Segundo levantamento da Associação Nacional dos Fabricantes, Construtores de Piscina e Produtos Afins (ANAPP), o Brasil ocupa a segunda posição mundial no ranking de piscinas por país: cerca de 2 milhões de unidades, ficando atrás apenas dos EUA. Trata-se de um mercado em expansão, com cerca de 70 mil novas unidades ao ano, gerando R\$ 4,5 bilhões por ano entre implementação e manutenção (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES, CONSTRUTORES DE PISCINA E PRODUTOS AFINS, 2014).

As piscinas biológicas proporcionam bem-estar, possuem grande apelo paisagístico e têm impacto ambiental reduzido e, portanto, podem agregar muito valor a projetos de piscina para incorporadoras e clientes interessados (MACEDO, 2013). Nesta esfera da construção civil e paisagismo, ao final do trabalho espera-se encontrar resultados que

forneçam informações para sustentar a tomada de decisão em implementar uma piscina biológica ao invés de uma piscina convencional.

Na esfera acadêmica, espera-se que este trabalho estimule a pesquisa e a discussão desta modalidade de tratamento de água de piscinas, especialmente no âmbito nacional. Uma busca do termo “piscina biológica” no portal de periódicos Capes retorna apenas uma dezena de resultados relevantes, sendo todos por pesquisadores portugueses e, até a entrega deste trabalho, apenas um resultado de publicação nacional, mas apenas como parte de um trabalho de avaliação de uma ecovila que possuía uma piscina biológica (CAPES, 2017). Internacionalmente, a maioria dos artigos acadêmicos sobre piscinas biológicas trata da qualidade sanitária da água, enquanto que alguns apresentam estudos de caso e conceitos de piscina biológica e poucos trabalhos abordam questões de projeto.

Além dos artigos publicados em periódicos acadêmicos e em anais de conferências científicas, as referências confiáveis sobre o tema provêm de textos de empresas europeias com longa experiência de implementação e manuais de projeto, construção e operação, baseados em normas europeias, ou artigos publicados por organizações e associações estrangeiras. No entanto, a maioria dos textos sobre piscinas biológicas não possui embasamento científico e dão maior destaque ao seu valor paisagístico, enquanto que a dimensionamento de filtros biológicos é abordada apenas superficialmente, o que pode levar a resultados práticos insatisfatórios.

Um exemplo de informação errônea é o caso do único artigo sobre piscinas biológicas na página da ANAPP na internet. No artigo, entre os itens citados como “fundamentais” na construção de piscinas biológicas estão peixes (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES, CONSTRUTORES DE PISCINA E PRODUTOS AFINS, 2016). Esta indicação vai totalmente contra as orientações da alemã *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.* (FLL) ou Sociedade de Pesquisa para o Desenvolvimento e Construção Paisagísticos (tradução nossa). Esta organização, cujos manuais são referência internacional para construção de piscinas biológicas, é enfaticamente contra a utilização de peixes e recomenda sua remoção imediata quando visualizados, pois suas excreções pioram a qualidade da

água e seu consumo de zooplâncton prejudica o equilíbrio do ecossistema fechado de uma piscina biológica (FLL, 2007).

Comparativamente, a literatura científica sobre sobre banhados construídos³, ou *wetlands*, é numerosa, inclusive no âmbito nacional. Apesar de utilizarem o mesmo princípio de ecotecnologia de depuração por plantas macrófitas, os sistemas de banhados construídos e piscinas biológicas estão sujeitos a parâmetros de entrada e saída bastante distintos. Portanto, há uma lacuna de conhecimento no âmbito de projeto de piscinas biológicas.

Observando este contexto, foram elaborados os objetivos do trabalho que pretendem atender estas necessidades através do estudo de dois casos.

1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.3.1 Objetivo principal

Avaliar o dimensionamento de duas piscinas biológicas: uma privativa unifamiliar residencial e uma privativa coletiva para condomínio vertical.

1.3.2 Objetivos secundários

Verificar se a implementação de uma piscina biológica apresenta vantagens em comparação a uma piscina de tratamento convencional com cloro, avaliando os parâmetros:

- Custos de implementação;
- Operação e Manutenção;
- Impacto ambiental;
- Efeitos colaterais para banhistas.

³Sistema de tratamento de efluentes que utiliza plantas macrófitas e filtros para depuração da água.

1.4 METODOLOGIA

Será realizado um projeto aplicado, com estudo de caso baseado em dados existentes e literatura científica. Os dados levantados na revisão de bibliografia serão utilizados para dimensionar piscinas biológicas para um condomínio e para uma residência existentes, as quais possuem piscinas com tratamento convencional com cloro. Após dimensionamento será feita uma comparação entre as piscinas propostas e as existentes; nos aspectos ambientais, efeitos colaterais na saúde dos usuários, custos de implementação e operação e manutenção.

1.5 DELIMITAÇÕES

Serão elaborados dois projetos de piscina biológica: uma piscina unifamiliar, de menor área possível para quatro usuários, e uma piscina condominial coletiva para um condomínio multifamiliar vertical ou horizontal. As piscinas serão de ambiente externo, localizadas na região urbana de Porto Alegre e que, conseqüentemente, estarão sujeitas às condições climáticas locais, e com a utilização de espécies vegetais locais. Os parâmetros de verificação da qualidade de água e os parâmetros mínimos de projeto serão consultados na norma brasileira, resolução Conama de balneabilidade e em manuais estrangeiros específicos para piscinas biológicas, baseados nas normas dos respectivos países. A composição de custos de materiais e mão-de-obra serão verificados em TCPO atualizado, empresas locais e estrangeiras que executam piscinas convencionais e empresas locais e estrangeiras que executam piscinas biológicas.

1.6 LIMITAÇÕES

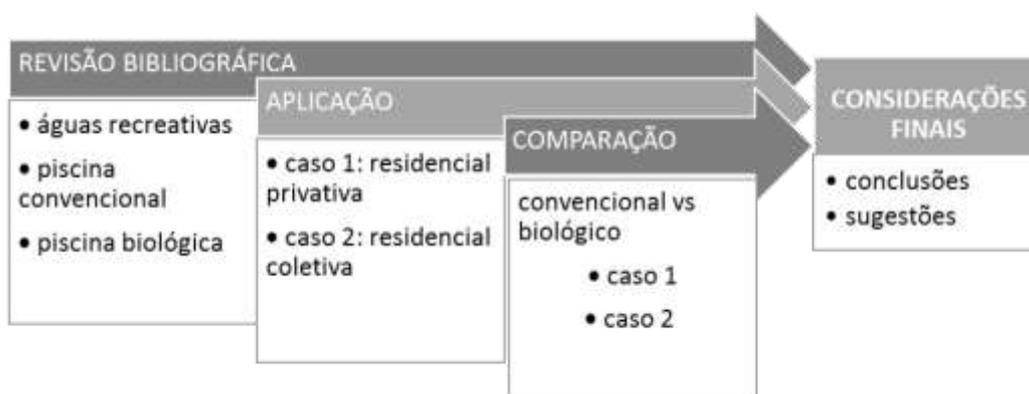
Não estão incluídas piscinas públicas, de hospedarias, esportivas e internas ou piscinas de água salgada. Não serão abordados riscos à saúde provenientes de falhas de projeto, como lesões (p. ex, escorregões, sucção de cabelo, etc.) ou riscos físicos (p. ex, queimadura solar, lesões por mergulhos indevidos, etc.) ou falhas de projeto ou execução que resulte em recalques do solo, infiltrações, descolamento de revestimentos, entre outras, a que piscinas estão sujeitas comumente. Não haverá

construção de um modelo para verificação de resultados. Não haverá medição dos parâmetros de controle de qualidade de água, tanto de entrada como de saída, em uma piscina biológica real.

1.7 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho inicia com a revisão bibliográfica no assunto em artigos, livros, páginas da internet de especialistas e empresas reconhecidas do ramo, normas estrangeiras e nacionais, resoluções brasileiras e manuais de implementação. Esta parte do trabalho está dividida em três capítulos. No capítulo 2, são apresentados os requisitos de qualidade das águas recreativas e os parâmetros de contaminação a que estão submetidos. No capítulo 3, é apresentado o sistema convencional de tratamento de piscina utilizando cloro e suas implicações. No capítulo 4, que apresenta o tema principal do trabalho, será abordado o tratamento de piscinas biológicas, as topologias recomendadas e suas vantagens e desvantagens. No capítulo 5 do trabalho, é descrita a aplicação do projeto de piscina biológica, conforme os critérios da revisão bibliográfica, para dois casos distintos: piscina residencial privativa e piscina residencial coletiva. No capítulo 6, o sistema convencional e o sistema biológico são comparados para os dois casos. Por fim, no capítulo 7, de considerações, são apresentadas as conclusões baseadas nas comparações do capítulo anterior e são feitas sugestões para futuras pesquisas sobre o tema e de contribuições às normas brasileiras vigentes para piscinas.

Figura 3 – Diagrama de delineamento da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

2 CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RECREATIVAS

Nesta etapa do trabalho, são apresentadas as características e tipos de contaminação de águas recreativas. São também apresentados os padrões mínimos de qualidade de água segundo normas brasileiras e exigências do Ministério do Meio Ambiente.

2.1 FONTES DE CONTAMINAÇÃO

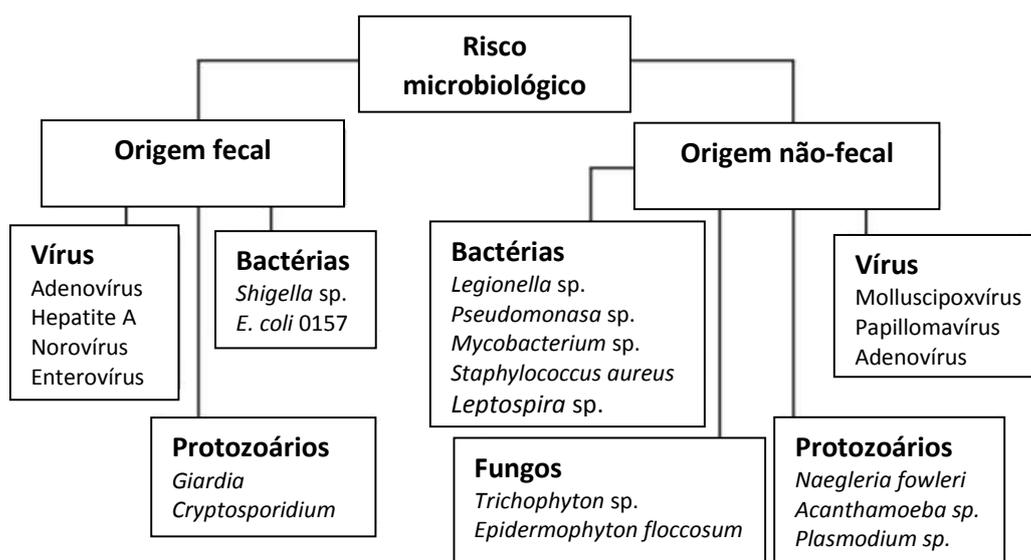
O uso de piscinas e ambientes similares de águas recreativas está associado a benefícios para a saúde e o bem-estar. Entretanto, para que o maior número possível de pessoas obtenha máximo benefício deste uso, é necessário controlar a qualidade da água (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006). Esta qualidade depende da composição da fonte de água, da transformação desta água (p. ex., processos de desinfecção) e das ações na piscina (p. ex., número de banhistas) (FLORENTIN et al., 2011).

Como mencionado na introdução, a principal fonte de contaminação da água de piscina é de origem humana. As pessoas albergam naturalmente microrganismos, que são componentes da **flora normal** humana (PELCZAR et al., 1997). No entanto, microrganismos patogênicos podem utilizar o meio aquático para contaminar banhistas imunodeprimidos ou mesmo saudáveis, dependendo do patógeno (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006; NNAJI et al., 2011). A contaminação microbiológica da piscina pode ocorrer através de animais, como insetos, aves ou roedores, e através de germes que normalmente são arrastados pelo vento, carregados pela chuva ou que estão presentes na poeira ou folhas. (CENTER FOR DISEASE CONTROL, 2001; EDUARDO; GOMES, 2016). A OMS classifica os riscos microbiológicos de piscinas, indicados na Figura 4, de acordo com sua origem fecal ou não-fecal (*human shedding*⁴). Entretanto, esta lista não inclui outros microrganismos potencialmente perigosos. Pessoas contaminadas podem ser vetores de helmintos,

⁴ Human shedding: todo o material de origem humana excretado não fecal (vômito, urina, suor, saliva, secreções, etc.) e por descamação (células mortas da pele, pelos, etc.).

classificados na categoria de origem fecal (HORNINK et al., 2013), e a má conservação da piscina pode levar à floração de cianobactérias, gerando toxinas potencialmente fatais, classificados na categoria Origem Não Fecal (LOPES et al., 2013).

Figura 4 – Potenciais riscos microbiológicos em piscinas



(fonte: adaptado de WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006, tradução nossa)

Os meios de transmissão destes patógenos pela água estão descritos no quadro 1.

Quadro 1 – Meios de transmissão de doenças por meio aquático

Tipo de transmissão	Causa	Doenças relacionadas
Ingestão	Ingestão direta de água contaminada	Cólera, febre tifoide, hepatite A e doenças diarreicas agudas de várias etiologias: bactérias (<i>Shigella</i> , <i>Escherichia coli</i>); vírus (Rotavírus, Norovírus e Poliovírus); e parasitas (Ameba, Giárdia, Cryptosporídeo, Cyclospora). Helmintíases: ascariíase (<i>Ascaris lumbricoides</i> , adquirida através da ingestão de ovos do parasita), ou outras verminoses, cujos parasitas podem ser carregados para água.
Contato com pele/mucosas	Contato da pele ou mucosas com água contaminada na qual o patógeno tem etapa aquática em seu ciclo de vida externo	Verminoses transmitidas pela pele (água ou solo contaminados), esquistossomose (água contaminada e presença de determinadas espécies de caramujo no seu ciclo de transmissão) e leptospirose (águas, principalmente de enchentes, solo úmido ou vegetação, contaminados pela urina de rato).
Falta de higiene	Práticas precárias de higiene pessoal das pessoas*	Tracoma devido à <i>Chlamydia trachomatis</i> , doença conhecida por não se lavar o rosto/olhos; piolhos** ou escabiose crostosa (sarna norueguesa)
Insetos/Vetores	Transmitida por insetos/vetores que se desenvolvem na água e/ou que picam perto da água	Dengue, febre amarela, filariose, malária, algumas encefalites

*Ocorrências mais associadas a crianças ou pessoas sujeitas à baixas condições socioeconômicas e ambientais. **Canyon e Speare (2007) realizaram experimentos que refutam a transmissão na piscina.

(fonte: elaborado pelo autor, baseado em TATE, ARNOLD, 1990; SÃO PAULO, 2009)

Assim como no processo de tratamento de água para distribuição, o tratamento correto da água de piscina utiliza marcadores biológicos para verificação de contaminação. É o caso da contagem de *Escherichia coli*, bactéria usada como indicador de contaminação fecal porque é naturalmente excretada nas fezes de animais de sangue quente (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006). Sua presença não é necessariamente patogênica, mas confirma a contaminação da água por fezes, que é um veículo de patógenos. A detecção de patógenos específicos é utilizada apenas em casos de surtos, pois os métodos tradicionais utilizados para sua análise são caros, trabalhosos e demorados (HAMZA, 2011).

Como indica o Quadro 1, muitas doenças têm origem na ingestão da água da piscina. O padrão de ingestão de águas recreativas adotado pela OMS é de 100 a 200 mL/h (LOPES, 2013 *apud* WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003). Um estudo de

2006 aponta que indivíduos do sexo masculino ingerem mais água do que os do sexo feminino e que crianças ingerem mais água do que adultos (DUFOUR et al., 2006). Allen et al. (1982) verificaram que nadadores atletas ingerem cerca de 128 mL em uma sessão de treino de 45 minutos, o que corresponde a 170 mL/h. Considerando a ingestão de água e os riscos microbiológicos a que banhistas estão expostos, White (1972) recomendava que a água da piscina tivesse a mesma qualidade que a água potável, sugerindo para isso a utilização de processos de tratamento, como coagulação, filtração, diluição com água potável e desinfecção por cloração, ozonização e desinfecção ultravioleta. Entretanto, os tratamentos indicados por White (1972) à época, mostra-se hoje com potencial de causar males à saúde.

Outro tipo de contaminação provocada pelos usuários da piscina é proveniente da reação dos agentes químicos desinfetantes com a matéria orgânica, os chamados subprodutos de desinfecção ou DBP⁵. Este tipo de contaminação será explicado na próxima seção, no item 3.2.2, pois se relaciona aos riscos associados à saúde humana por conta do tratamento convencional utilizando cloro como agente de descontaminação.

2.2 REQUISITOS DE NORMA E RESOLUÇÕES

Existem três regimentos que padronizam as características mínimas para qualidade de água de piscinas no Brasil: as resoluções 274 e 357 do Conama e a NBR 10818.

Segundo a classificação brasileira, as piscinas devem ser consideradas água de contato primário. O Conama define na resolução 357 a água de recreação de contato primário como “contato direto e prolongado com a água (tais como natação, mergulho, esqui-aquático) na qual a possibilidade do banhista ingerir água é elevada” (BRASIL, 2005). No artigo 14 desta resolução, estão descritas as condições e padrões de qualidade de água que devem ser observados. A lista completa com valores dos padrões está presente no anexo A deste trabalho.

I - Condições de qualidade de água:

⁵ DBP: do inglês *disinfection byproducts*.

- a) não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido.
- b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;
- c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;
- e) corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;
- f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;
- g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA no 274, de 2000. [...]
- h) DBO 5 dias a 20°C até 3 mg/L O₂;
- i) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O₂;
- j) turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);
- l) cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L; e
- m) pH: 6,0 a 9,0.

O pH é outro parâmetro avaliado, devido ao risco de irritação dos olhos e da pele decorrentes da exposição a águas com níveis extremos de pH. Apesar da recomendação brasileira de que a recreação ocorra em águas com pH entre 6,0 e 9,0, algumas publicações apontam que não há riscos significativos para a recreação de contato primário em águas de pH consideravelmente baixo, como o de Basu et al. (1984), que não verificaram efeitos adversos nos olhos de banhistas em contato com águas em dois lagos no Canadá, cujos níveis de pH eram entre 4,5 e 6,5. Por outro lado, nos casos de valores altos de pH (> 10,0), o contato prolongado com estas águas pode causar graves descamações de pele (VON SPERLING, 2010). Segundo o *Center*

for Disease Control dos EUA (2012), a faixa de pH ideal de piscinas para o conforto ocular e eficiência da desinfecção por cloro está entre 7,2 e 7,7. O valor ideal de pH para as águas de uso recreativo seria o mais próximo possível de 7,4, tendo em vista que o valor de pH do fluido lacrimal do olho humano é de aproximadamente 7,4 (LOPES et al., 2013).

A resolução 274/2001 do Conama determina os requisitos mínimos de balneabilidade das águas de contato primário e as classifica como **impróprias** ou **próprias** para o banho, que são subdivididas ainda em três subcategorias: excelente, muito boa e satisfatória (BRASIL, 2001).

Tabela 1 – Critérios para classificação das condições de balneabilidade no Brasil

Categoria		Padrões para o corpo d'água
Própria	Excelente	Máximo de 250 coliformes termotolerantes/ 100mL ou 200 <i>E. coli</i> / 100mL ou 25 <i>Enterococcus</i> / 100mL em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
	Muito Boa	Máximo de 500 coliformes termotolerantes/100mL ou 400 <i>E.coli</i> /100mL ou 50 <i>Enterococcus</i> / 100mL em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
	Satisfatória	Máximo de 1000 coliformes termotolerantes/ 100mL ou 800 <i>E.coli</i> / 100mL ou 100 <i>Enterococcus</i> / 100mL em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
Imprópria		Não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias.
		Incidência elevada ou anormal, na região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicadas pelas autoridades sanitárias.
		Valor obtido na última amostragem superior a 2500 coliformes termotolerantes/ 100mL ou 2000 <i>E.coli</i> / 100mL ou 400 <i>Enterococcus</i> / 100mL.
		Presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer risco à saúde ou tornar desagradável à recreação.
		pH < 6,0 ou pH > 9,0 (águas doces), à exceção das condições naturais.
		Floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana.
	Outros fatores que contra indiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.	

Nota - os padrões referentes aos *Enterococcus* aplicam-se somente às águas marinhas

(fonte: LOPES, 2013, adaptado de VON SPERLING, 2006)

A norma NBR 10818 estabelece os requisitos mínimos de qualidade biológica, física, química e físico-química da água a fim de garantir que a utilização da água da piscina seja feita de maneira segura, sem causar prejuízo à saúde e ao bem-estar do usuário (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016). Os requisitos são organizados segundo os critérios:

Qualidade biológica;

Ausência de bactérias do grupo coliforme e/ou *Staphylococcus aureus*;

Evitar a proliferação de algas;

Na ocasião de epidemias, verificar a ausência de patógenos relacionados a infecções de olhos e ouvido e micoses;

Qualidades físicas, químicas e físico-químicas;

A limpidez da água deve ser tal que permita a perfeita visibilidade da parte mais profunda da piscina;

A superfície da água deve estar livre de matérias flutuantes, estranhas à piscina e livre de detritos;

O pH da água deve ser mantido entre 7,2 e 7,8;

A concentração de cloro na água da piscina deve ser mantida entre 0,8 mg/L a 3,0 mg/L de cloro livre. Em água de lava-pés deve ficar acima de 3,0 mg/L de cloro livre;

Na ocasião de corrosão ou formação de depósitos, coloração anormal ou falta de limpidez, recomenda-se verificar teor de sólidos dissolvidos, alcalinidade total, dureza e metais contidos na água (ferro, cobre, manganês ou outros);

Água de suprimento;

Deve atender às prerrogativas biológicas, químicas, físicas e físico-químicas;

Se a piscina for suprida pela rede de distribuição de água, a tubulação de abastecimento deverá ser separada verticalmente e sem obstáculos do nível máximo de transborde da piscina. A separação deve ter duas vezes o diâmetro da tubulação utilizada e ser maior que 0,20 m.

A NBR 10818 ainda possui uma seção específica para produtos químicos, desinfetantes e sistemas de tratamento onde fica clara a preocupação com a toxicidade dos produtos utilizados no tratamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016):

[...] não podem conter ou introduzir substâncias tóxicas ou nocivas ao usuário ou ao meio ambiente nos teores de utilização, devendo adequar a qualidade da água aos requisitos exigidos nesta Norma.

2.3 ÍNDICES DE CONTAMINAÇÃO POR BANHISTA

Segundo Perkins (1988), se o tanque de uma piscina for cheio com água limpa e pura, o primeiro usuário que entrar na água irá contaminá-la, mesmo que esteja saudável e tenha tomado uma ducha antes de entrar na água. Este tipo de contaminação é relevante, pois permite projetar o método de tratamento de acordo com o número de banhistas que irá receber.

A ureia é um dos produtos finais do metabolismo humano e, conseqüentemente, o composto nitrogenado mais introduzido em piscinas por banhistas, correspondendo de 0,8 g a 1,5 g de ureia/pessoa (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006). A ureia é o principal componente da urina, cuja deposição por banhista é entre 22 mL e 77 mL (DE LAAT, 2011; PERKINS, 1989 *apud* HEINZ, 1975; KANAN e KARANFIL, 2011), assim como do suor, com deposição entre 200 mL e 1000 mL (DE LAAT, 2011). A ureia também pode ser introduzida pela camada mais externa da pele, a epiderme, que contém cerca de 8 µg de ureia/cm² (DE LAAT, 2011 *apud* JACOBI, 1971). Outros contaminantes significativos são o fósforo e a *E. coli*, com 74 mg/pessoa e 120.000 UFC/pessoa⁶, respectivamente (FLL, 2007 *apud* BRÜDERN et al., 2003). O nitrogênio e o fósforo são elementos essenciais para a nutrição e o desenvolvimento de plantas (METCALF e EDDY, 2006; VON SPERLING, 1996) e, portanto, parâmetros importantes para o dimensionamento de piscinas biológicas, que será apresentado no quarto capítulo do trabalho.

Fechando este capítulo, fica clara a importância de normas e resoluções para garantir a segurança dos usuários que utilizam piscinas, tanto do ponto de vista microbiológico, quanto ambiental. Entretanto, os tratamentos químicos convencionais utilizados para a depuração da água possuem efeitos colaterais e podem provocar riscos à saúde comprovados cientificamente. No capítulo seguinte, são apresentadas evidências que comprovam a indução a patologias dos componentes construtivos, os riscos à saúde e os impactos ambientais relacionados à utilização do cloro.

⁶ UFC (Unidade formadora de colônia): contagem de unidades formadoras de colônia de bactérias em placas obtidas pela técnica de membrana filtrante.

3 PISCINA CONVENCIONAL

A NBR de terminologia de piscinas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987) define piscina como o “conjunto de instalações destinadas às atividades aquáticas, compreendendo o tanque e demais componentes relacionados com o seu uso e funcionamento”.

Ao contrário dos corpos d’água naturais, a piscina não está inserida em um contexto hidrológico; portanto, sua água é estanque e sujeita à deterioração se não receber o tratamento adequado (FIELDS, 2014). Como mencionado anteriormente, a piscina deve receber tratamento para combater a deterioração da água e a proliferação de patógenos de origem humana (OLSEN, 2007).

Estabelecidas estas considerações, este capítulo de revisão bibliográfica busca descrever a piscina com tratamento convencional de água utilizando cloro de acordo com as normas da ABNT e a literatura técnica correspondentes. Também são descritos os problemas associados ao uso do cloro para banhistas, meio-ambiente e materiais de construção. Ao final, são apresentadas alternativas ao uso de cloro para depuração da água.

3.1 CARACTERIZAÇÃO

A ABNT possui oito normas específicas para piscinas, cujo objetivo geral é garantir os critérios mínimos de construção, qualidade da água e segurança dos banhistas.

- a) NBR 9816/1987: Piscina – Terminologia;
- b) NBR 9818/1987: Projeto e execução de piscina – Tanque e área circundante;
- c) NBR 9819/1987: Piscina – Classificação;
- d) NBR 10339/1988: Projeto e execução de piscina – Sistema de recirculação e tratamento;
- e) NBR 10818/2016: Qualidade de água de piscina – Procedimento;

f) NBR 10819/1989: Projeto e execução de piscina – Casa de máquinas, vestiários e banheiros;

g) NBR 11238/1990: Segurança e higiene de piscinas;

h) NBR 11239/1990: Projeto e execução de piscina: equipamentos para a borda do tanque.

Estes critérios foram classificados em quatro categorias gerais de normatização que posteriormente auxiliaram a determinar o dimensionamento da piscina biológica neste trabalho:

a) Propriedades: 9816 e 9819;

b) Projeto e execução: 9818, 10339, 10819 e 11239;

c) Procedimentos: 11238;

d) Qualidade da água: 10818.

A NBR 9819 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987) classifica as piscinas em sete categorias compiladas no quadro 2.

Quadro 2 – Classificação de piscinas segundo norma brasileira

1. USO	públicas: uso público em geral (centros comunitários);
	coletivas: uso exclusivo dos associados de uma entidade (clube, escola ou associações);
	de hospedaria: uso de hóspedes (hotel, motel, casas de banho);
	residenciais coletivas: uso de residentes permanentes (condomínios, asilos, penitenciárias, sanatórios);
	residenciais privativas: uso de famílias.
2. SUPRIMENTO DE ÁGUA	recirculação com tratamento: equipada com sistema de recirculação e tratamento de água;
	renovação contínua com tratamento: alimentação contínua com água de boa qualidade, com tratamento adequado;
	renovação contínua sem tratamento: alimentação contínua com água de boa qualidade;
	encher e esvaziar: com renovação programada de água.
3. FINALIDADE	desportivas: destinadas principalmente às competições, deve possuir reconhecimento oficial;
	recreativas: destinadas à recreação e/ou prática de natação;
	mistas: com áreas específicas para competição e recreação;
	infantis: com profundidade máxima de 0,60m;
	especiais: para fins específicos que não à recreação e/ou competição.
4. CONDICIONAMENTO DE TEMPERATURA	água com condicionamento;
	água sem condicionamento.
5. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA ÁGUA	água doce;
	água medicinal;
	água salgada.
6. RECINTO	abertas: ao ar livre;
	cobertas-abertas: com cobertura e sem fechamento lateral;
	cobertas-fechadas: com cobertura e com fechamento lateral
7. CONSTRUÇÃO	naturais: com aproveitamento de recursos naturais);
	artificiais: sem aproveitamento de recursos naturais).

(fonte: elaborado pelo autor, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987)

Na categoria de projeto, a norma 9818 para tanque e área circundante (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987) determina a área mínima necessária por banhista, com uma profundidade padrão de 1,5 m.

Tabela 2 – Área mínima por banhista

Proporção entre a área pavimentada circundante ao tanque e a área da superfície de água	Área mínima da superfície da água (m ²) por banhista presente simultaneamente na piscina	
	Partes do tanque com profundidade máxima de 1,50 m	Parte do tanque com profundidade superior a 1,50 m
< 1	1,4	1,9
≥ 1	1,1	1,4
≥ 2	0,7	0,9

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987, p. 2)

Ainda na categoria de projeto, a norma 10339 para sistema de recirculação e tratamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988) estabelece o tempo necessário para a filtração de um volume de água igual ao volume do tanque através do sistema de recirculação e tratamento.

Tabela 3 – Tempo máximo de recirculação

Profundidade do tanque (m)	Classe de piscinas	
	Públicas, coletivas, de hospedarias, residenciais coletivas	Residenciais privadas
Profundidade máxima ≤ 0,6 m	2 h	6 h
Profundidade mínima inferior a 0,60 m e profundidade máxima superior a 0,60 m	4 h	6 h
Profundidade mínima entre 0,60 m e 1,80 m	6 h	8 h
Profundidade mínima superior a 1,80 m	8 h	12 h

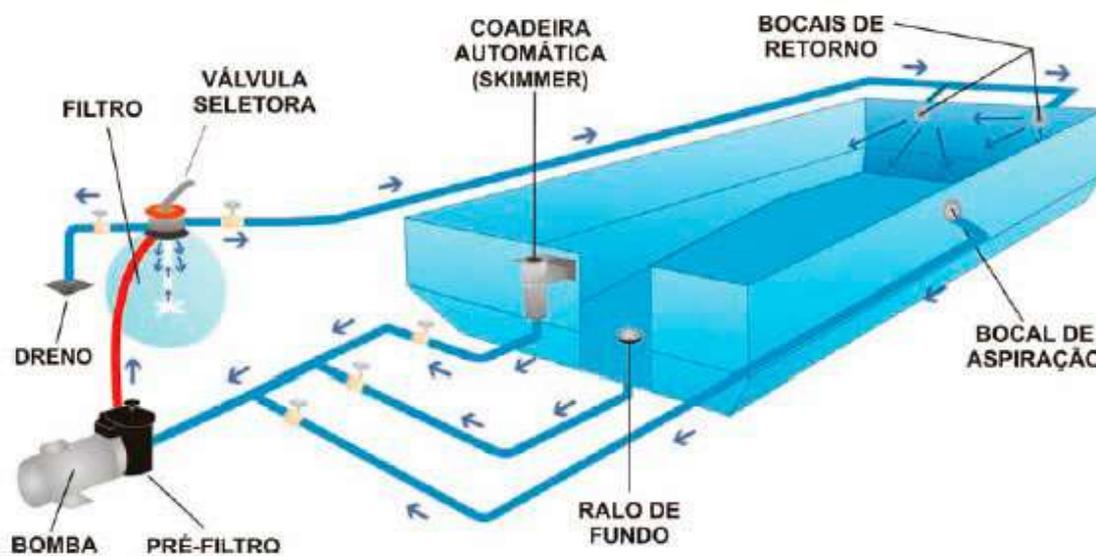
(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 2)

A NBR 10339 ainda traz as especificações para filtros (areia, diatomita, diversos), bombas de recirculação, pré-filtro (para retenção de impurezas), equipamentos de saída e retorno de água ao tanque (ralos de fundo, coadeiras e bocais de retorno), medidor de vazão, visor de lavagem, bocal de aspiração, aparelhos para tratamento químico e desinfecção de água e tubulações. O anexo B deste trabalho apresenta a composição de serviços e materiais para executar uma piscina baseado no TCPO.

Já a norma 11238, relativa à segurança e à higiene de piscinas, estabelece as condições para prevenção de acidentes e transmissão de doenças. Estabelece os pré-requisitos mínimos, responsabilidades e procedimentos de um operador de piscina, cuidados básicos no manuseio e armazenamento dos produtos químicos, condições de salvavidas e instalações de pronto-atendimento e orientações às restrições de usuários (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990).

Resumidamente, o tratamento convencional da piscina utiliza o cloro como agente principal desinfetante para depurar a água do tanque de microrganismos. Quando a bomba está ligada, a água é aspirada pelas tubulações de saída de água por meio de seus dispositivos (bocal de aspiração, coadeira e ralo de fundo), passando por filtros que capturaram matéria orgânica, como pelos, pele e sujeira, que normalmente já foram oxidados pelo cloro, e retorna ao tanque ou é descartada (DOS REIS, 2014; VILLANUEVA, et al. 2007).

Figura 5 – Sistema hidráulico de uma piscina convencional



(fonte: DOS REIS, 2014)

3.2 PROBLEMAS ASSOCIADOS AO USO DO CLORO

A NBR 9816 de terminologia para piscinas define os seguintes produtos químicos utilizados no tratamento da água (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987):

- a) 3.11 Cloro combinado: cloro presente na água na forma de cloraminas
- b) 3.12 Cloro livre: cloro presente na água, na forma de ácido hipocloroso e/ou íon hipoclorito.

O cloro livre é aquele que ainda não está combinado com outras substâncias e, portanto, estando pronto para aderir a qualquer material orgânico (DOS REIS, 2016). Tem poder desinfetante, não tem odor desagradável e não é prejudicial à pele, mucosas e olhos (MAIERÁ, 2014). Ao aderir a substâncias orgânicas, a molécula de cloro livre inicia o processo de oxidação, reduzindo sua massa, sendo então classificado como cloro combinado ou cloramina (DOS REIS, 2016). O cloro combinado tem baixíssimo poder desinfetante e é responsável pelo odor pungente característico de cloro e é prejudicial à pele, mucosas e olhos (MAIERÁ, 2014).

Este equilíbrio químico é flutuante, pois depende do número de banhistas na piscina, responsáveis pela carga orgânica e bactérias depositadas na água, e do pH. Desta maneira, cloração insuficiente pode acarretar doenças de origem microbiológica, enquanto que a cloração excessiva causar efeitos diretos nos usuários na forma de irritação nos olhos, nariz e garganta e corrosão dos materiais da piscina (PERKINS, 1988).

Nas três seções seguintes, são discutidos em mais detalhes os efeitos nocivos do cloro.

3.2.1 Materiais construtivos

A ficha de informação de segurança de produto químico (FISPQ) de um cloro multiuso alerta que não é permitido o contato com produtos químicos, ácidos, materiais inorgânicos, compostos nitrogenados, extintores de incêndio de pó químico (que contenham fosfato de amônia), oxidantes, todos os líquidos corrosivos, materiais

combustíveis ou inflamáveis, hipoclorito de cálcio e hipoclorito de sódio (HIDROAZUL, 2015). Dependendo da concentração na água, o cloro pode acelerar a corrosão de materiais, mesmo daqueles que teoricamente resistiriam a ambientes agressivos. Os efeitos negativos do cloro nos tanques, tubulações e demais peças por onde este circula junto com a água demandam menores intervalos das manutenções periódicas e causam degradação do funcionamento geral de parte das instalações (FERREIRA, 2015).

Os materiais podem ser danificados mesmo sem haver contato direto ou proximidade com o cloro ou a água clorada. É o caso específico da corrosão sob tensão por cloreto⁷ (CST), que pode afetar locais não diretamente conectados com a piscina ou na parte superior do ambiente de uma piscina (OLDFIELD, 1991). Em 1985 na Suíça, o teto de concreto armado, suportado por tirantes de aço inoxidável, de uma piscina coberta caiu, levando a óbito 12 pessoas e ferindo mais cinco (LA TIMES, 1985). À época, se desconhecia o motivo da falha, mas poucos anos mais tarde, devido a outras ocorrências semelhantes, pesquisadores confirmaram a ruína nos componentes de suporte da estrutura da cobertura devido à CST (OLDFIELD, 1991).

Especificamente no caso de concreto e argamassas, o cloro poderá atacar estes materiais na forma de hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) e hipoclorito de sódio (NaClO), ambos utilizados no tratamento de piscinas. Segundo Perkins (1988), o $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ é um sólido que, quando misturado à água, fornece cloro, resultando em uma solução alcalina e, em baixas concentrações, não apresentam riscos a concretos de boa qualidade. Sua solução apresenta cerca de 5% de cloro disponível. O NaClO , é líquido, alcalino e contém em torno de 14% de cloro disponível; é mais fácil de utilizar que o $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, porque não necessita ser diluído. Em sua forma mais concentrada, o NaClO pode atacar lentamente o concreto, mas estas concentrações mais elevadas não são utilizadas em piscinas. No ambiente de piscinas, este ataque acontecerá somente se houver derramamento em lajes ou outros componentes estruturais.

⁷ Corrosão por tensão por cloreto, ou *Stress corrosion cracking*: é uma forma de corrosão localizada, caracterizada por fissuras finas que podem propagar-se rapidamente levando à ruína do componente metálico e conseqüentemente à ruína da estrutura associada.

3.2.2 Riscos associados à saúde humana

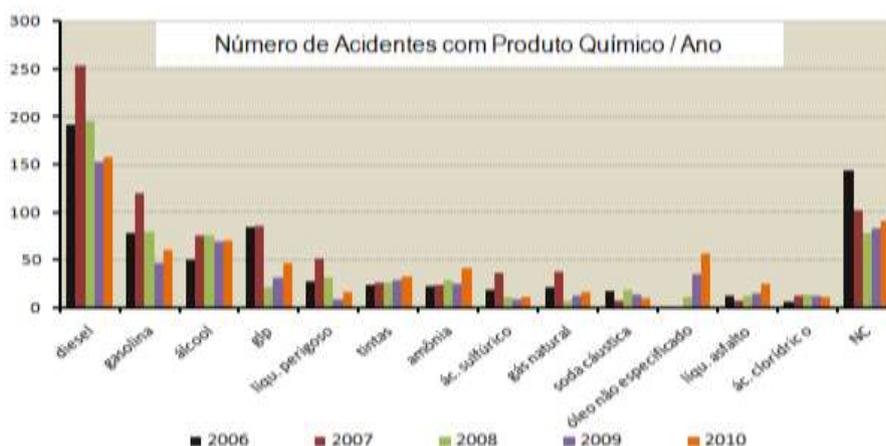
Conforme a Organização Mundial de Saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006), existem riscos associados ao uso do cloro que vão além da dosagem incorreta. O cloro, antes de sua aplicação, apresenta riscos nas etapas de transporte e armazenamento, possuindo perigo de contaminação química e de explosão. Se não houver cautela no manuseio, o contato direto com a pele e a ingestão podem ser fatais. A substância é corrosiva à pele e tecidos, principalmente devido ao seu poder oxidante e à sua alcalinidade (HIDROAZUL, 2015; HIDROMAR, 2016). Segundo a Arch Química Brasil (2015, destaque nosso): “[...] O contato prolongado com o sólido **ou soluções**⁸ causará danos severos e possivelmente irreversíveis aos olhos como ulceração da córnea e até perda da visão”. Na etapa de uso, ao reagir com os contaminantes da água, o cloro gera subprodutos cancerígenos e, além disso, é ineficiente na remoção de alguns microrganismos patogênicos (FIELDS, 2014; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006).

Toda a cadeia de utilização do cloro está sujeita a acidentes ou contaminações, desde a produção até a destinação das embalagens. É o caso do operário de uma grande empresa de produção de produtos químicos de desinfecção que faleceu por inalar vapores de cloro em Nova Santa Rita, interior do Rio Grande do Sul (ZERO HORA, 2011), fazendo deste um incidente que remete ao antigo uso bélico da substância na Primeira Guerra Mundial (OLSEN, 2007). Já nos Estados Unidos, durante a década de 1980, o Centro de Controle de Envenenamento do Departamento de Saúde da cidade de Nova York recebia frequentes chamadas a cada verão devido ao uso inadequado de produtos químicos para piscinas. As pessoas sofriam com respingos do cloro em seus olhos, sufocavam com os vapores ao misturarem os produtos em suas casas e queimavam suas pernas por ficarem dentro da piscina enquanto adicionavam o cloro na água (NEW YORK TIMES, 1993). Segundo dados oficiais, o número de acidentes relacionados a cloro ainda é baixo no Brasil em relação a outros produtos químicos. Entretanto, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) sugere cautela ao analisar os dados, porque são contabilizados apenas os registros de acidentes de grande

⁸ Neste caso, a combinação de cloro granular com a água também é uma solução. Isto leva a indagação sobre até que ponto é seguro nadar em uma piscina clorada sem óculos de proteção.

relevância⁹ e nem todos os órgãos e unidades da federação fornecem as informações necessárias para elaboração do levantamento (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

Figura 6 – Número de acidentes com produtos químicos entre 2006 e 2010 no Brasil



(fonte: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE¹⁰, 2011)

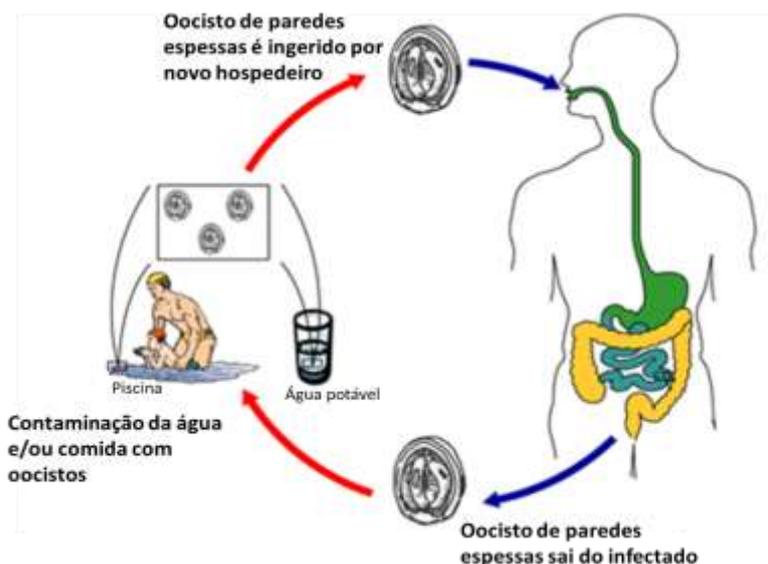
Mesmo sendo um poderoso desinfetante, o cloro não é infalível no combate a todos microrganismos patogênicos. As bactérias *Mycobacterium* spp., que podem causar infecções de pele, problemas respiratórios e sintomas de gripe, são bastante resistentes à desinfecção, sendo eliminadas somente com altas doses de cloro¹¹ ou aquecendo a água a 70° C (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006). Os protozoários *Cryptosporidium parvum* e *Giardia lamblia* também são bastante resistentes ao cloro (ZWEINER et al., 2007). Segundo Guerreiro (2007), estes protozoários podem causar gastroenterites e diarreias graves em indivíduos tanto imunocompetentes quanto imunodeficientes. A transmissão por meio aquático destas protozoonoses é a considerada a mais significativa, sendo a elas atribuídas mais de cem surtos de gastroenterite na Europa, Canadá e EUA entre as décadas de 1970 e 2000.

⁹ Vazamentos de volumes consideráveis, ocorrência de explosões, incêndios e os acidentes envolvendo substâncias de alta toxicidade.

¹⁰ Referências indicadas pelo Ministério do Meio Ambiente: Órgãos Estaduais de Meio Ambiente, Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, Polícia Rodoviária Federal, Ibama, Polícia Ambiental, Empresas de atendimento Emergencial, ABIQ.

¹¹ Técnica do tratamento de choque na piscina ou supercloração. Também utilizado quando há: contaminação da água por animais mortos ou fezes; grande número de banhistas frequentando a piscina diariamente; chuvas intensas; água verde e sinais de crescimento de algas; queixas de ardência nos olhos ou forte odor de cloro; odor desagradável na piscina; excesso de matéria orgânica na água e; água da piscina muito suja por qualquer outro motivo. A concentração de choque varia de acordo com orientações de cada fabricante e do produto utilizado.

Figura 7 – Ciclo de vida externo do criptosporídeo

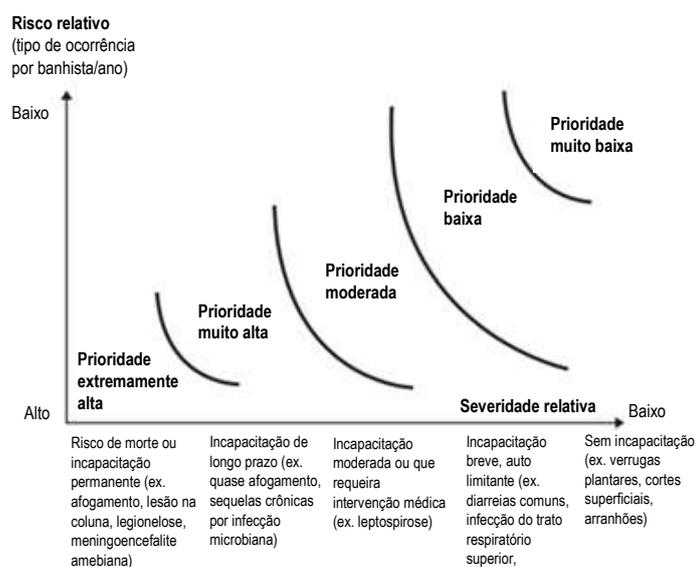


(fonte: adaptado de CENTER FOR DISEASE CONTROL, 2016, tradução nossa)

Conforme mencionado no capítulo anterior, o processo de depuração com cloro origina subprodutos de desinfecção tóxicos, que são resultado da reação do cloro com os microrganismos, material orgânico de origem humana, urina, matéria orgânica depositada na água da piscina (p. ex, folhas), os produtos químicos presentes na formulação de cosméticos e protetores solares e, finalmente, com a própria água de abastecimento da piscina (PEREIRA, 2007; ZWEINER et al., 2007, KANAN; KARENFIL, 2011). Muitos destes subprodutos são tóxicos, carcinogênicos e podem até mesmo causar efeitos negativos na reprodução humana, incluindo aborto espontâneo (RICHARDSON et al., 2003). A necessidade de desinfecção da piscina aumenta com o número de usuários, resultando em maior concentração de DBP, que pode provocar contaminação por inalação, ingestão e por contato dérmico (ZARZOSO et al., 2010). A concentração de DBP também é afetada pelo pH da água e temperatura do ambiente (LIAN et al., 2014). Durante a cloração da água, os DBP gerados em maior proporção são os trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos, cloraminas e, em menores proporção, os haloacetoneitrilos, haloacetonas, halocloropicrinas, entre outros organohalogenados (PAUL; BARRON, 2004). No anexo C deste trabalho são apresentadas tabelas com possíveis DBP do sistema de desinfecção da água com produtos químicos.

No quadro 3 foi elaborada uma compilação de doenças e efeitos colaterais negativos relacionados com a utilização do cloro como agente desinfetante em piscinas, investigados em publicações da área médica e engenharia ambiental. A classificação de gravidade relativa das moléstias seguiu **empiricamente** as classes do gráfico apresentado na Figura 8, adaptado do Guia de Diretrizes para Ambientes de Água Recreativas Seguras (tradução nossa), da OMS.

Figura 8 – Relação entre risco e gravidade relativos de ocorrências em piscinas



(fonte: adaptado de WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006, tradução nossa)

Quadro 3 – Riscos à saúde resultados da exposição ao cloro e/ou DBP em piscinas

Causado por cloro ou DBP	Classificação empírica de gravidade	Referência
Asma adulta	longo prazo de incapacitação	Helenius e Haahtela, 2000 Thickett et al., 2002
Asma infantil	longo prazo de incapacitação	Nickmilder e Bernard, 2007
Bronquiolite	moderada incapacitação	Massin et al., 1998 Helenius e Haahtela, 2000 Voisin et al., 2010
Cabelo sem brilho	sem incapacitação	Li et al., 2015
Câncer de bexiga	risco de morte	Villanueva et al., 2007 Zweiner et al., 2007
Câncer de fígado	risco de morte	Melnick et al., 2007
Cancerígeno geral	risco de morte	Nikolaou et al., 2001 Kogevinas et al., 2010
Congestão nasal	sem incapacitação	Jacobs et al., 2007
Dano ao sistema nervoso central	longo prazo de incapacitação	Lian et al., 2014 apud NIOSH, 2011
Dano cardíaco	longo prazo de incapacitação	Lian et al., 2014 apud NIOSH, 2011
Dano pulmonar*	longo prazo de incapacitação	Li et al., 2015
Dermatite atópica	sem incapacitação	Mood, 1953 Lewis-Jones, 2006 Kiken e Silverberg, 2006
Dermatite de contato	sem incapacitação	Pardo et al., 2007
Diminuição qualidade esperma	moderada incapacitação	Melnick et al., 2007
Dor de garganta	sem incapacitação	Lévesque et al., 2006 Jacobs et al., 2007
Erosão do esmalte dental	curto prazo de incapacitação	Dawes e Boroditsky, 2008
Espirros	sem incapacitação	Jacobs et al., 2007
Estresse oxidativo	longo prazo de incapacitação	Varraso et al., 2002
Esverdeamento do cabelo**	sem incapacitação	Basler et al., 2000
Interferência no desenvolvimento de embriões	risco de morte	Andrews et al., 2004
Irritação nasal	curto prazo de incapacitação	Massin et al., 1998 Li et al., 2015
Irritação nos olhos	curto prazo de incapacitação	Mood, 1953 Massin et al., 1998 Erdinger et al., 2004 Lévesque et al., 2006 Jacobs et al., 2007 Li et al., 2015
Manchas nos dentes	sem incapacitação	Escartín et al.,
Melanoma***	risco de morte	Nelemans et al., 1994
Otite externa (ouvido de nadador)	moderada incapacitação	Lévesque et al., 2006
Pele seca (xerose)	sem incapacitação	Freiman et al., 2004
Perda de cabelo	curto prazo de incapacitação	Li et al., 2015
Permeabilidade do eptélio pulmonar	longo prazo de incapacitação	Carbonelle et al., 2002 Bernard et al., 2003 Lagerkvist et al., 2004
Problemas respiratórios	sem incapacitação	Lévesque et al., 2006
Resfriado crônico	curto prazo de incapacitação	Jacobs et al., 2007
Rinite alérgica	sem incapacitação	Helenius e Haahtela, 2000 Jacobs et al., 2007
Rugas	sem incapacitação	Gardinier, 2009
Sinusite	curto prazo de incapacitação	Jacobs et al., 2007
Tosse	sem incapacitação	Lévesque et al., 2006

*Referência sugere que afogamentos breves, intensidade do treino e frequência do treino podem ser os principais causadores de dano pulmonar.

Combinação de fatores: descoloração do cabelo pelo cloro e pigmentação esverdeada por íons de cobre presentes em algicidas. *Referência sugere que os DPB são um fator agravante no risco de melanoma ao observar a incidência da doença em nadadores.

(fonte: elaborado pelo autor)

Segundo Zarzoso et al. (2010) e Thickett et al. (2002), entre outros autores, estão sujeitos a estas moléstias todas as pessoas em contato com o ambiente de piscina, seja

ela ao ar livre ou em ambiente fechado: usuários recreativos, atletas de alto rendimento, atletas ocasionais, funcionários de manutenção e salva-vidas. E, em geral, crianças estão mais sujeitas a danos pulmonares e problemas respiratórios do que adultos (NICKMILDER; BERNARD, 2007; BERNARD et al., 2003).

3.2.3 Impacto ambiental

A norma brasileira para Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores, número 9897, busca estabelecer as condições para elaboração de planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos d'água receptores das águas residuais neles lançadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987). O item 7 desta norma afirma que:

Sempre que possível, deve ser pesquisada a presença de poluentes tóxicos de controle prioritário.

Na Lista de Poluentes Tóxicos de Controle Prioritário do anexo da NBR 9897, entre os 104 compostos listados, encontram-se os seguintes poluentes que podem ter origem no sistema de desinfecção da água de piscinas utilizando cloro ou bromo (ZWEINER, 2007; PAIXÃO et al., 2014):

28) Cloro;

30) Clorofenol;

31) Clorofórmio;

64) Halometanos, brometo de metila, bromofórmio, diclorobromometano, triclorofluorometano, diclorofluorometano.

Portanto, de acordo com a NBR, fica evidente que a água de piscina tratada quimicamente é um efluente que gera impacto ambiental. O cloro contamina o solo, conforme a FISPQ de um produto comercial de cloro para piscinas (HIDROAZUL, 2015):

EMISSÃO EM TERRA: PERIGO!

Todos os vazamentos devem ser tratados como contaminados.
[...]

Na FISPQ de outro produto comercial, o alerta de contaminação do solo é mais detalhado (ARCH QUÍMICA BRASIL, 2015):

[...] **Solo:** retire as camadas de terra contaminada até atingir o solo não contaminado, recolha esse material e coloque em um recipiente lacrado e devidamente identificado. [...]

Consultando a FISPQ de outros produtos comerciais de cloro, as evidências dos riscos associados ao uso do cloro são mais específicas. A empresa Hidromar (2016) recomenda que se impeça que o gás disperso atinja cursos d'água e rede de esgotos e afirma especificamente que produto é considerado poluente marinho e muito tóxico para os organismos aquáticos. Segundo Scott Klarich, do setor de proteção ambiental do Departamento de Saúde Pública e Controle de Qualidade da Água do Estado do Colorado nos EUA, quando a água clorada da piscina escoar para corpos d'água fluviais e marítimos, a alta concentração de cloro pode ser prejudicial aos peixes e outras espécies aquáticas (OLSEN, 2007 *apud* KLARICH, 2006).

Os efeitos do cloro no bioma aquático são amplamente investigados há muitas décadas. A toxicidade do cloro para a vida aquática não depende da quantidade de cloro adicionado, mas sim da concentração de cloro residual e das quantidades relativas de cloro livre e cloraminas (MERKENS, 1958). Estudos também concluíram que o cloro livre é mais tóxico do que as cloraminas e que o cloro residual é mais tóxico em pH mais baixo (6,3 versus 7,0), porque mais cloro livre está presente em pH mais baixo (MERKENS, 1958; ROSENBERGER, 1971). Os efeitos da ecotoxicidade podem ser avaliados através organismos indicadores biológicos, como peixes, invertebrados aquáticos e fitoplâncton (HIDROMAR, 2002). Nos peixes, o cloro causa danos severos às guelras, resultando no bloqueio da respiração, e lesões hepáticas, podendo determinar necrose do tecido (BASS et al., 1977). Em uma revisão bibliográfica, Brungs (1973) criou a tabela 4 com os critérios de contaminação da vida aquática em ambientes contaminados por cloro.

Tabela 4 – Critérios de contaminação para vida aquática

Contaminação por cloro	Concentração de cloro total residual	Grau de proteção
Contínua	$\leq 0,01$ mg/L	Esta concentração não protege trutas e salmões e outras fontes importantes de alimentos ícteos; pode ser letal em estágios de vida delicados de espécies de peixe sensíveis.
	$\leq 0,002$ mg/L	Esta concentração deve proteger a maioria dos organismos aquáticos
Intermitente	Por um período de 2h/dia e $\leq 0,02$ mg/L	Esta concentração não protege trutas e salmões
	Por um período de 2h/dia e $\leq 0,04$ mg/L	Esta concentração deve proteger a maioria das espécies de peixes

(fonte: adaptado de BRUNGS, 1973, tradução nossa)

As NBR para a normatização de piscinas não trazem uma orientação específica para a destinação da água clorada da piscina. A NBR 9818 de projeto de tanque e área circundante possui um subitem sobre o sistema de drenagem, no qual determina que “O sistema de drenagem da área circundante ao tanque se destina exclusivamente ao recolhimento e condução das águas pluviais e da água derramada da piscina, não sendo permitida sua interconexão com a rede de esgoto sanitário [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987). Conseqüentemente, a norma afirma que a água clorada deve ser eliminada junto com a água da chuva; entretanto, em muitas localidades, o esgoto pluvial é direcionado a mananciais sem nenhum tratamento. A água clorada e seus subprodutos são poluentes tóxicos, segundo a NBR 9897 já mencionada, o que indica que esta destinação causa impacto ambiental. Além disso, a FISPQ de uma marca de cloro granulado (ARCH QUÍMICA BRASIL, 2015) afirma que se deve “evitar a contaminação dos cursos d’água vedando a entrada de galerias de águas pluviais (boca de lobo). Evitar que resíduos do produto derramado atinjam coleções de água”, e ainda enfatiza:

“Prevenção de perigos secundários: evitar que o produto contamine riachos, lagos, fontes de água, poços, esgotos pluviais e efluentes.”

Por fim, outra questão importante à cerca do impacto ambiental é o caso de animais domésticos, silvestres ou selvagens que consomem ou buscam refúgio na piscina. Piscinas localizadas em ambientes externos desprotegidos são fontes de água de fácil acesso. Levando em consideração as referências apresentadas anteriormente relativas

aos efeitos do cloro e dos DBP na saúde humana, é coerente inferir empiricamente que animais, principalmente os mamíferos, também possam sofrer estes efeitos. Entretanto, até a finalização deste trabalho, não foi encontrada nenhuma publicação científica sobre este tema; apenas pesquisas que realizaram experimentos com ratos para observação dos efeitos colaterais da natação e sensibilidade a DBP em água tratada com cloro (LI et al., 2015), e uma FISPQ de um produto comercial com dados de toxicidade para ratos e coelhos (ARCH QUÍMICA BRASIL, 2015).

Figura 9 – Animal selvagem consumindo água de uma piscina no Mole Hotel, Gana



(fonte: Google Imagens)

Em páginas sobre assuntos veterinários na internet, especialistas alertam sobre os riscos aos animais domésticos. A veterinária Dubal (2015) afirma que a presença de produtos químicos na piscina torna a água totalmente imprópria para o consumo animal. Segundo ela, após a ingestão da água da piscina, cães estão sujeitos a queimaduras na boca e garganta com inchaço do local e dificuldade respiratória; lesões no estômago que geram vômitos, muitas vezes com sangue vivo ou sangue digerido; dores abdominais; fraqueza; desmaios e insuficiência hepática e cirrose, especialmente em cães que ingerem água da piscina em pequenas quantidades ao longo dos anos. Ainda assegura que, ao permanecerem na água por um longo período, os animais podem apresentar alterações de pele, como descamação e dermatites, e que, após entrar na piscina, devem receber um banho completo, com shampoo ou sabão, para retirada de todo o cloro.

3.3 ALTERNATIVAS

Existem alternativas químicas e físico-químicas ao cloro para tratamento da água de piscinas. Segundo Perkins (1988, tradução nossa), para que um determinado método de tratamento de água seja satisfatório, todos ou a maioria dos seguintes fatores devem ser considerados:

- 1) substâncias ou elementos químicos utilizados devem possuir propriedades germicidas potentes e realizar uma desinfecção geral rapidamente.
- 2) o método deve ser competitivo em termos de custos de implementação e manutenção em relação a outros métodos utilizados. Todos os aspectos devem ser levados em conta ao fazer a comparação de custos.
- 3) o efeito germicida deve ser mantido por um tempo razoável, de maneira que novas contaminações introduzidas na piscina por usuários sejam efetivamente neutralizadas.
- 4) a dosagem deve ser facilmente controlada.
- 5) não deve causar irritação à pele dos usuários e não deve provocar odores desagradáveis à água ou ao ar acima da superfície da água.
- 6) é uma vantagem, mas não essencial, que testes simples e rápidos possam ser executados para verificar a presença do componente ativo na água, ou verificar seu efeito.

A OMS sugere os métodos de tratamento listados no quadro 4. Entretanto, alguns destes métodos comprovadamente apresentam efeitos colaterais, como é o caso do ozônio, do dióxido de cloro, do bromo e da bromoclorodimetilhidantoína, que geram DBP tóxicos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006). A biguanida pode escurecer a água e manchar o tanque da piscina se não aplicada corretamente, enquanto que a ionização pode ser totalmente ineficaz ou causar manchas no tanque se utilizada fora de uma faixa ideal, além de ter um custo elevado (ABCPISCINAS, 2017). O tratamento por radiação ultravioleta (UV) é muito eficaz para a eliminação de patógenos, mas não é um sistema completo pois tem apenas efeito de reação: elimina as bactérias, mas não previne o seu aparecimento, uma vez que o aparelho irradiador não fica em contato com os agentes contaminantes, isto é, as pessoas. Desta

forma, há uma defasagem entre a contaminação da água no tanque e sua recirculação pelo equipamento UV. Isto torna necessário um tratamento auxiliar, comumente utilizando cloro ou bromo, que permanecem em contato com os agentes contaminantes (KING, 1988).

Quadro 4 – Soluções alternativas para tratamento de piscinas

Desinfetantes usados em piscinas grandes e com muitos usuários	Desinfetantes usados em piscinas médias e jacuzzis	Desinfetantes usados em piscinas pequenas e domésticas
Cloro · gás · $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ e NaClO · geração eletrolítica de NaClO · isocianuretos clorados Bromoclorodimetilhidantoína Dióxido de cloro * Ozônio * UV *	Bromo · bromo líquido · brometo de sódio + hipoclorito Hipoclorito de lítio	Brometo/hipoclorito UV * UV-ozônio * Iodo Água Oxigenada Íons de prata/cobre Biguanida
* usualmente utilizados com desinfetantes residuais (ex. cloro ou bromo)		

(fonte: adaptado de WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006, tradução nossa)

Tendo em vista os problemas de ataque aos componentes construtivos, os riscos à saúde humana e animal e o impacto ambiental associados aos métodos convencionais de tratamento de água de piscinas, companhias europeias criaram um sistema de tratamento de água alternativo para piscinas baseado na limnologia¹² e na ecotecnologia: as piscinas biológicas. A qualidade de água neste sistema ecológico comprovadamente cumpriu com regulamentos rigorosos de saneamento, apresentando raros ou mesmo nenhum risco à saúde e meio ambiente (FIELDS, 2016), atendendo às exigências de Perkins (1988). No próximo capítulo serão apresentados os conceitos e distintas soluções de piscinas biológicas.

¹² Limnologia: Estudo científico dos ecossistemas das águas interiores (todas as águas não oceânicas), como lagos, lagoas, rios, nascentes, riachos, banhados e mares totalmente cercados.

4 PISCINA BIOLÓGICA

Inspirados em sistemas aquáticos naturais em equilíbrio, juntamente a uma crescente preocupação ambiental nos países desenvolvidos, em 1983 foi implementada na Áustria a primeira piscina biológica¹³ por Werner Gamerith (MOURÃO, 2007).

Figura 10 – Primeira piscina biológica



(fonte: BIONOVA, 2013)

A piscina biológica é um sistema natural de tratamento, que funciona sem produtos químicos. A água é tratada, através de meios biológicos e mecânicos, para atingir e manter a qualidade de acordo com as normas de balneabilidade. As piscinas podem variar de pequenas instalações privadas de 30 metros quadrados ou menos, até grandes complexos de natação públicos, com até 3.000 banhistas por dia e excelente qualidade da água (IOB, 2013). Como não são usados produtos químicos para tratamento de água, as piscinas biológicas não apresentam perigo para o meio ambiente, risco sanitário ou causam os conhecidos efeitos colaterais imediatos de piscinas cloradas

¹³ Em alemão, língua do criador das piscinas biológicas, há uma distinção etimológica entre os tipos de piscinas biológicas. A piscina original de Gamerith foi denominada por *Schwimmteich*, literalmente “lagoa de natação”, que corresponde à uma piscina biológica que não utiliza equipamentos de recirculação de água. A piscina biológica que utiliza equipamentos é chamada de *Naturpool*. Em países de língua inglesa, se faz a distinção entre *Natural Swimming Pond* (lagoa) e *Natural Swimming Pool* (piscina), ambos denominados pela sigla genérica NSP. Em português, ambas configurações são denominadas por Piscina Biológica.

como ardência nos olhos, coceiras na pele e cabelo ressequido (FIELDS, 2014). Além disso, o sistema biológico é de fácil manutenção e seus custos de implementação e operação podem ser mais baixos do que os custos de uma piscina convencional, dependendo da topologia de piscina biológica escolhida (MOURÃO, 2007; BUTLER, 2013). Somente no continente europeu, há cerca de 20.000 piscinas biológicas entre públicas e privadas, cerca de 100 unidades nos EUA e cerca de 15 no Brasil (FIELDS, 2014; PEREIRA, 2017).

Um dos grandes atributos das piscinas biológicas é seu valor paisagístico. Em uma época em que cada vez mais são valorizados os atributos naturais e sustentáveis em construções, as piscinas biológicas têm muito a oferecer. O agrônomo Godoy (DALE, 2016 *apud* GODOY, 2016) afirma que a ideia da piscina biológica é integrar paisagismo com área de lazer e que o interesse por este sistema é uma evolução do mercado de paisagismo de piscinas no Brasil, já que inicialmente utilizavam pastilhas esverdeadas e depois, os formatos mais orgânicos de tanque viraram moda. A paisagista Tilli (DALE, 2016 *apud* TILLI, 2016) afirma que:

“A piscina natural integra a arquitetura ao espaço, como se a natureza estivesse ali intocada. O homem descobriu, tardiamente, que ele também faz parte da natureza. E vivemos um momento em que, cada vez mais, o ser urbano sente a necessidade de estar em contato com ele mesmo, com o natural, com a essência, mesmo estando no meio da cidade.”

Na opinião de Littlewood (2001), citando o pai da Permacultura¹⁴ Bill Mollison, sugere que as piscinas convencionais, quando vistas do ar ou local alto, destoam do cenário tanto em ambientes rurais como urbanos, como se o terreno sofresse de brotoejas azuis. “[...] A cor é artificial, como o corante azul dos desinfetantes em privadas imita as ondas do oceano. [...]” (LITTLEWOOD, 2001 *apud* MOLLISON, 1988, tradução nossa). Na figura seguinte, é possível observar um exemplo da falta de integração paisagística entre piscinas convencionais, com o ambiente e o corpo d’água ao redor, tal como a “brotoeja azul” de Mollison.

¹⁴Permacultura é uma filosofia, criada na década de 70, que engloba métodos holísticos para planejar, atualizar e manter sistemas de escala humana (jardins, vilas, aldeias e comunidades) ambientalmente sustentáveis, socialmente justos e financeiramente viáveis.

Figura 11 – Falta de integração paisagística de piscinas convencionais na Ilha dos Marinheiros, região metropolitana de Porto Alegre



(fonte: acervo do autor)

Neste capítulo serão apresentados as características e os atributos das piscinas biológicas. Serão descritos os parâmetros de qualidade da água, a execução da depuração pelas plantas na zona de regeneração e os requisitos mínimos para elaboração do projeto e posterior implementação de uma piscina biológica. Serão apresentadas as cinco topologias de piscina biológica residencial e ao final serão expostos os riscos associados às piscinas biológicas e as respectivas formas de correção.

4.1 CARACTERIZAÇÃO

O *International Organization for Natural Bathing Water (IOB)* é o órgão internacional dedicado à promoção de piscinas biológicas. Fundado em 2009 com sede na Alemanha, a organização conta hoje com 24 países entre membros e associados, incluindo um associado do Brasil (IOB, 2013). As diretrizes básicas de piscinas biológicas assumidas pela organização são (tradução nossa):

O uso de cloro é proibido

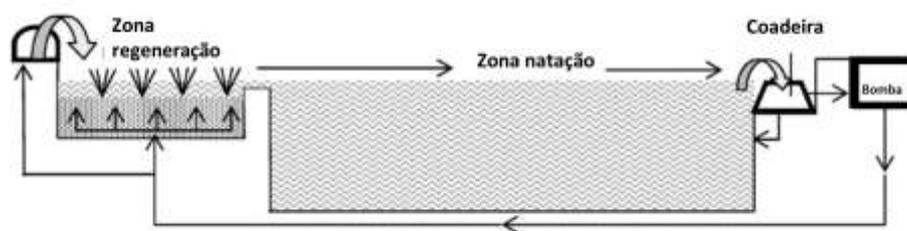
O processo biológico trabalha para evitar germes tóxicos na água

A purificação biológica da água é eficaz contra patógenos e purifica eficientemente a água

O teor de fósforo da água deve permanecer abaixo de 0,01 mg/L.

Tecnicamente, a estrutura de uma piscina biológica é muito similar à uma piscina convencional, sendo a principal diferença a ausência de desinfetantes químicos (FIELDS, 2014). A água circula por um circuito fechado e a piscina é dividida em duas áreas: zona de natação (ZN) que, como o próprio nome indica, é a área para uso, e zona de regeneração, área não utilizada pelos banhistas com plantas macrófitas e filtros responsável pela maior parte da depuração da água (MOURÃO, 2007; BUTLER, 2013).

Figura 12 - Representação simplificada da piscina biológica



(fonte: MASSANAS; BLANCH, 2013, tradução nossa)

Existem dois tipos de piscinas biológicas: a) sem nenhum tipo de equipamentos para recirculação de água, cuja aparência é de uma lagoa natural como a piscina primogênita de Gamerith, e b) com equipamentos de recirculação de água em diferentes níveis de automatização do processo de tratamento, cuja aparência pode chegar a ser bem similar a uma piscina convencional, como na figura 14 (MACEDO, 2013).

Figura 13 – Piscina biológica em Araras, Petrópolis, RJ



(fonte: executado por BIONATARE, 2017)

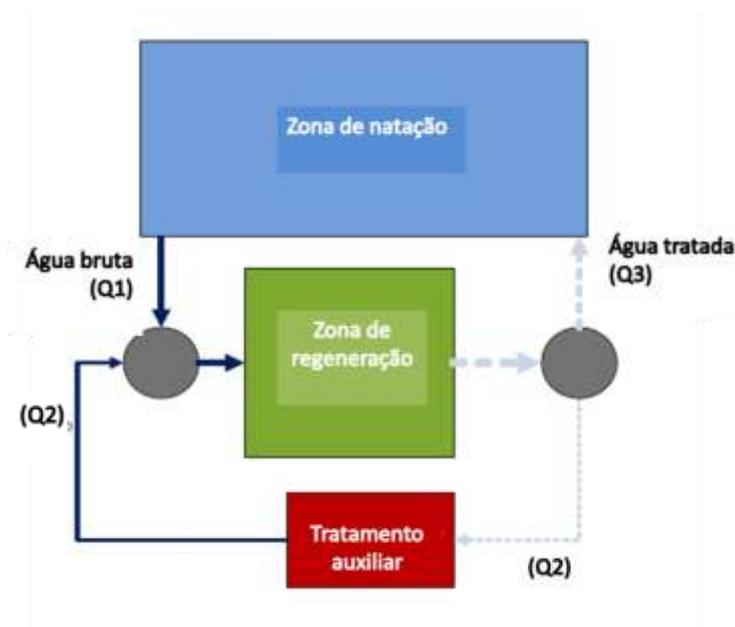
4.1.1 Tratamento

Devido à carga de contaminantes dos usuários, conforme apresentado no capítulo 2, a água da piscina necessita de tratamento. Toda a superfície da piscina biológica contribui para a depuração da água. Segundo a FLL (2013), na zona de natação a depuração, a depuração é realizada por filtração natural com zooplâncton¹⁵, redução de microorganismos pela radiação solar e eliminação de nutrientes por sedimentação. Na zona de regeneração, a depuração é feita por meio de processos ecotecnológicos que utilizam a habilidade da biocenose¹⁶, presente nas raízes das plantas e substrato, de depurar a água. Os processos que aplicam esta ecotecnologia devem ser dimensionados de acordo com a carga de contaminação e a entrada de água no sistema. Dependendo do sistema específico de depuração, deve-se adicionar filtros.

¹⁵ A filtração do zooplâncton é responsável pela depuração de 0,04 m³ por m³ de água por dia. Os grupos que se baseiam os valores são rotíferos, cladóceras e copépodos.

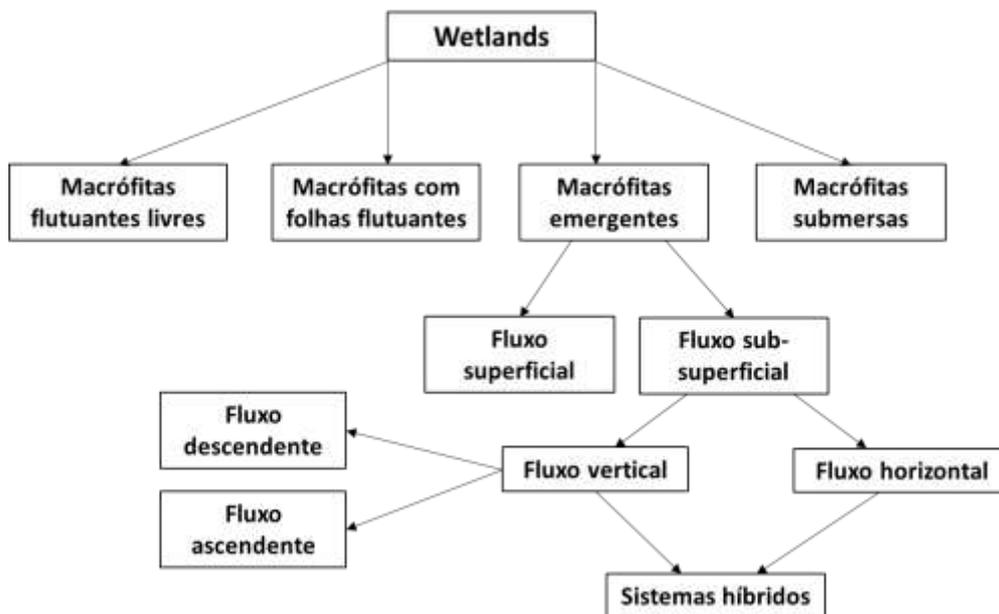
¹⁶ Biocenose: conjunto de populações de diversas espécies que habitam uma mesma região num determinado período

Figura 64 – Esquema de uma piscina biológica



(Fonte: FLL, 2013, tradução nossa)

Conhecidos por banhados construídos, este tipo de tratamento tem comprovada eficiência na remoção das cargas contaminantes em piscinas. Segundo FROTA (2016, *apud* KADLEC e WALLACE, 2009), *wetlands* são ecossistemas artificiais construídos, que biomimetizam funcional e visualmente banhados, visando melhorar a qualidade da água residual. Os banhados construídos são considerados uma alternativa de tratamento de baixo custo e fácil construção e operação e são usualmente adotados como tratamento secundário, adequando o efluente aos parâmetros que devem ser alcançados para permitir a destinação final escolhida. Os banhados construídos utilizam as plantas de banhado ou aquáticas, também conhecidas simplesmente como macrófitas (VYMAZAL, 2007). Estas plantas possuem enraizamento denso, criando um ambiente propício para o desenvolvimento de microrganismos que consomem os nutrientes na água. Enquanto que o substrato é de grande importância para a remoção do fósforo, para o nitrogênio, as plantas são os mais importantes (LIEM, 2014). Os diversos tipos de tratamentos por banhado estão descritos na figura a seguir.

Figura 15 – Organização dos tipos de *wetlands*

(fonte: adaptado de VYMAZAL, 2007, tradução nossa)

No anexo D deste trabalho estão apresentados os esquemas de funcionamento dos diferentes fluxos de banhados construídos.

Os mecanismos de depuração da água para cada contaminante são descritos no quadro abaixo.

Quadro 5 – Mecanismos de remoção de poluentes em *wetlands*

CONSTITUINTES DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS	MECANISMOS DE REMOÇÃO
Sólidos Totais	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentação/Filtração - Decomposição - Precipitação e co-precipitação - Oxidação pelos microrganismos - Assimilação pelas plantas
DBO e DQO	<ul style="list-style-type: none"> - Degradação microbiana (aeróbia e anaeróbia) - Sedimentação (acumulação de matéria orgânica na superfície do sedimento) - Filtração
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> - Reações de adsorção aos sítios das plantas e microbiota - Precipitação com Al, Fe, Ca e argilo minerais do solo - Formação de complexos com a matéria orgânica - Assimilação pelas plantas aquáticas e microbiota
Nitrogênio	<ul style="list-style-type: none"> - Amonificação seguida pela Nitrificação e Desnitrificação - Assimilação pelas plantas aquáticas - Volatilização da amônia
Sulfato	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorção (troca catiônica) - Respiração do sulfato - Precipitação de sulfetos metálicos
Metais	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentação/Filtração - Reações de adsorção - Precipitação com material orgânico e acúmulo no sedimento
Metais	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitação na forma de hidróxidos e sulfetos - Assimilação pelas plantas aquáticas - Transformações microbianas (oxidação)
Fenol	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorção a matéria orgânica e partículas do solo - Degradação microbiana
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentação/Filtração - Radiação ultravioleta - Oxidação - Adsorção a matéria orgânica - Predação e ataque por vírus - Morte natural - Exposição a biocidas excretados por macrófitas

(fonte: FROTA, 2016 *apud* CUNHA, 2006)

O manual de piscinas privadas da FLL (2007) sugere usar mais de uma espécie de macrófitas na ZR, que devem ser plantadas em grupos de pelo menos três indivíduos por espécie. Esta é uma medida de segurança que visa garantir o bom desenvolvimento de pelo menos uma espécie. Entretanto, isto pode ser evitado através da seleção de uma diversidade de espécies que apresente melhor desenvolvimento segundo a carga

de banhistas. Segundo Escosteguy et al. (2008), cada espécie de macrófita prospera mais ou menos de acordo com o volume de nutrientes fornecidos.

4.1.2 Requisitos de qualidade de água

4.1.2.1 Físicos

A FLL (2007, tradução nossa) indica 3 fatores físicos que devem ser observados em piscinas biológicas:

Temperatura da água: menor igual que 25° C. Temperaturas acima de 28° C não podem ser toleradas por mais de cinco dias pois há risco de crescimento de patógenos. Pode ser utilizado um sistema artificial de aquecimento, mas este deve ser desligado quando a temperatura for maior ou igual que 23° C. O calor adicional do sol deve ser considerado.

Saturação de oxigênio: 80 – 120 %.

Visibilidade: até ao fundo ou no mínimo 1,8 m.

4.1.2.2 Químicos

A FLL (2007) possui parâmetros para requisitos mínimos da água de enchimento e da água do tanque da piscina. Em princípio, o montante diário de recarga de água não deve ultrapassar 2% do volume da instalação de banho. No caso da água de enchimento não estar dentro do padrão de qualidade¹⁷, recomenda-se mudar a fonte de origem para enchimento.

¹⁷ Segundo Wetzel (1993) a concentração de fósforo para manter o ambiente lacustre em nível oligotrófico (baixo nível de nutrientes) deve ser menor do que 10 µg/l. Este índice é importante para piscinas biológicas, pois afeta diretamente a proliferação de algas.

Tabela 5 – Requisitos químicos da água de enchimento

Parâmetros	Valores
pH	6,0 - 9,0
Capacidade de ácido K _s 4,3	≥ 2 mmol/L
Fósforo total	≤ 0,01 mg/L
Condutividade	≤ 1000 μS/cm a 20° C
Nitrato	< 50,0 mg/L
Amônio	< 0,5 mg/L
Ferro	< 0,2 mg/L
Manganês	< 0,05 mg/L
Dureza	> 1 mmol/L

(fonte: adaptado de FLL, 2007, tradução nossa)

A tabela 6 mostra os valores químicos recomendados para a área de natação e a água limpa. Se os valores de referência forem excedidos ou não forem alcançados, devem ser determinadas as causas e serem tomadas medidas adequadas para a sua correção.

Tabela 6 – Requisitos químicos da ZN e água de qualidade pura

Parâmetros	Valores
Amônio	< 0,3 mg/L *
Fósforo total	≤ 0,01 mg/L
Dureza	> 1 mmol/L
Condutividade	200 - 1000 μS/cm a 20° C
Nitrato	≤ 30,0 mg/L
pH	6,0 - 8,5
Capacidade de ácido K _s 4,3	≥ 2 mmol/L
Oxigênio saturado	≥ 80 %

*0,1 mg/L para água ser considerada pura

(fonte: adaptado de FLL, 2013, tradução nossa)

4.1.2.3 Biológicos

Algas são um componente natural da biocenose da piscina biológica (FLL, 2013). O fitoplâncton deve incluir as algas verdes (clorofíceas), as diatomáceas (bacilariofíceas) e as criptofíceas. As algas azuis (cianofíceas) não devem estar presentes como espécies secundárias. O zooplâncton contribui significativamente para a depuração biológica *in situ*. Segundo a FLL (2013), o zooplâncton como um todo tem uma função vital para a purificação de água, uma vez que remove patógenos, microrganismos, espécies de

fitoplâncton e partículas da água por filtração biogénica, entre outros processos. Segundo a GIABN (2013), a presença de Cladocera, Copepoda, Rotatoria, Ciliata e outros grupos de zooplâncton deve ser incentivada pelos meios adequados, uma vez que estes grupos têm a capacidade de filtrar a água de forma muito eficaz em piscinas biológicas.

Os demais parâmetros biológicos que representam riscos à saúde ou ao bom funcionamento da piscina biológica estão descritos no item 4.2.1 deste trabalho.

4.1.2.4 Sanitários

Segundo a FLL (2013), quando os valores máximos de algum dos parâmetros forem excedidos, devem ser aplicadas medidas operacionais (troca da fonte de água) ou estruturais (verificação de equipamentos e da presença de fissuras ou infiltrações, etc.).

Os seguintes indicadores devem ser avaliados:

Tabela 7 – Valores máximos de parâmetros microbiológicos sanitários

Parâmetros	Valores de referência
<i>Escherichia coli</i> UFC/100 ml	≤ 100
Enterococos UFC/100mL	≤ 50
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> UFC/100mL	≤ 10
<i>Legionella sp.</i>	abaixo do nível de detecção em 100 mL

(fonte: adaptado de FLL, 2013, tradução nossa)

4.1.3 Implementação

Nesta etapa serão descritas as possíveis opções de piscina para os dois casos do trabalho, segundo os manuais da FLL para piscinas biológicas.

4.1.3.1 Piscinas privadas

A FLL recomenda 5 topologias de piscina biológica comprovadamente exitosas. As topologias distinguem-se pelo tipo e esfera dos sistemas hidráulicos utilizados para promover a vazão através da zona de natação e da zona de regeneração.

A decisão quanto ao tipo mais adequado deve ser tomada em conjunto com o projetista e levar em consideração os requisitos pessoais do proprietário da piscina e as condições externas (FIELDS, 2014). Na tabela seguinte, serão apresentados os valores empíricos dos parâmetros básicos para cada topologia, que foram obtidos por experiência prática ao longo do tempo. As proporções entre a zona de natação e a de regeneração apresentadas são aplicáveis para uma carga de até 4 banhistas. No anexo E deste trabalho estão presentes as plantas básicas de cada uma das 5 topologias.

Segundo a FLL (2007), as dimensões mínimas de piscina sugeridas, são de 8,0 x 4,0 m. Estes valores são calculados considerando 4 braçadas de 1,5 m mais 2,0 m de um corpo totalmente esticado. Se a piscina for circular, o valor recomendado é de um diâmetro de 5,0 m, o que corresponde a uma área de 20 m² (arredondando de 19,63 m²). Entretanto, configurações menores são possíveis. A menor piscina biológica residencial privada que se tem registro possui 19 m², construída em 2013 na Suíça. Este projeto, executado por uma das empresas pioneiras em piscinas biológicas, a Biotop, possui 6 m² de zona de regeneração e profundidade de 2,0 m. A tecnologia empregada na piscina inclui uma coadeira de peneira curva¹⁸ com uma câmara bombeada integrada, 2 bombas, 3 ralos de sucção e um filtro especial de remoção de fósforo criado pela empresa. As macrófitas utilizadas foram juncos (BIOTOP, 2013).

¹⁸ *Curved sieve skimmer*: equipamento criado pela empresa austríaca BIOTOP, no qual água flui do tanque sobre uma peneira curva com malha de 0,3 mm. As impurezas leves ficam retidas na peneira e os nutrientes presentes são eliminados automaticamente antes de voltar para o tanque. Tem as vantagens de ser autolimpante, não entupir e não aprisionar pequenos animais, como sapos.

Quadro 1 – Topologias piscinas residenciais privadas

Topologias	Tipo I Área única sem equipamentos	Tipo II Área única com equipamentos de fluxo superficial	Tipo III Área única com fluxo controlado através da zona de regeneração	Tipo IV Área múltipla com fluxo controlado através de uma zona de regeneração parcialmente separada	Tipo V Área múltipla com fluxo controlado através de uma zona de regeneração completamente separada
Atributos					
Proposta tecnológica	-	fácil de cuidar	melhora da purificação, otimização da qualidade e da estabilidade funcional da água, fácil de cuidar		
Zona de regeneração e Fluxo	- fluxo não controlado na zona plantável - água livre		- fluxo não controlado na zona filtrante plantada - água livre, fluxo possivelmente não controlado na zona plantável		- fluxo controlado na zona plantável - água livre e fluxo não controlado na zona plantável
Modo de operação, equipamentos técnicos					
Fluxo	circulação natural	fluxo superficial	fluxo superficial e fluxo na zona de regeneração		
Depuração por	plantas, zooplâncton, microorganismos	plantas, zooplâncton, microorganismos	plantas, zooplâncton, microorganismos		
Depuração por	microorganismos	combinação com instalações hidráulicas/técnicas			
Valores mínimos recomendados (família de 3 - 4 pessoas)*					
Área total de água (ZN + ZR)	≥ 120 m ²	≥ 100 m ²	≥ 80 m ²	≥ 60 m ²	≥ 50 m ² ****
Área de regeneração	≥ 60 %	≥ 50 %	≥ 40 %	≥ 40 %	≥ 30 %**
Profundidade na área de nado	no mín. 65 % ≥ 2 m	no mín. 65 % ≥ 2 m	no mín. 60 % ≥ 2 m***	no mín. 40 % ≥ 2 m	depende da situação
Manutenção de peças estruturais e instalações técnicas, cuidados com vegetação e superfícies de água					
Manutenção das plantas	alto				baixo
Manutenção da tecnologia	-	baixo	aumento de gastos + esforço		alto
Custos de construção	baixo	mais baixo	aumento de gastos + esforço		alto

*Supõe-se que a purificação é intensificada do tipo III para o V e que por isso, o tamanho da zona de regeneração pode ser reduzido. Valores inferiores são permitidos se pode ser assegurado que o sistema da piscina funcionará corretamente. Ao determinar o tamanho da área necessária para a área de natação e a profundidade da água - assim como o uso pretendido - sua influência na temperatura da água, os ângulos de terraplenagem necessários e opções de mecanismos de limpeza devem ser levados em conta. Se o valor da superfície total for inferior aos valores indicados, a proporção da área de regeneração deve ser aumentada. As topologias podem ser consultadas no anexo D deste trabalho. **Se este valor mínimo for utilizado, maiores exigências são colocadas na zona de regeneração ou no sistema técnico. ***É possível reduzir este percentual com uma melhor distribuição entre zona de natação e zona de regeneração (ver pranchas das topologias IIIA e IIIB do Anexo E). ****Já foram executadas com sucesso piscinas com área total < 20m².

(fonte: adaptado de FLL, 2007; FIELDS, 2014, tradução nossa)

4.1.3.2 Piscinas coletivas

De acordo com a FLL, quatro fatores fundamentais que devem ser levados em conta no projeto de uma piscina biológica de grande área (FLL, 2013, tradução nossa):

- a) O número máximo de possíveis usuários;
- b) O tamanho da área disponível total;
- c) A área disponível para zona de regeneração e o tipo de depuração;
- d) A infraestrutura.

Para garantir que a água mantenha os parâmetros mínimos de qualidade, é utilizado o volume base de 10 m³ para o caso de piscina biológica do tipo I, ou lagoa de natação, a qual utiliza apenas plantas com fluxo descoordenado de água. Para as outras topologias que utilizam equipamentos de circulação e filtração, pode-se considerar o volume de 3,5 m³ por banhista por dia (FLL, 2013). Como apresentado na seção 2.3 dos índices de contaminação, segundo a FLL (2013), os contaminantes de origem humana a serem considerados são o fósforo e a *E. coli*. Com base nestes parâmetros, aplica-se uma das 5 topologias já mencionadas, dimensionando o tamanho da piscina e respectiva zona de regeneração de acordo com o número de pico de usuários.

Outra maneira de dimensionamento é através do cálculo do número máximo de banhistas por dia que a piscina pode receber em função do sistema de depuração biotecnológico: hidrobotânico¹⁹, *wetland* ou filtros de granulometria variada sem plantas multicamadas ou monocamadas. As equações que retornam o número de banhistas são dadas à seguir (FLL, 2013, tradução nossa):

$$n_B = \left(\frac{C_0}{e^{exp}} - C_0 - \frac{C_Q \text{ não-diluído} * Qe}{V_p} \right) * \left(\frac{V_p}{C_B} \right) \quad (\text{fórmula 1})$$

onde:

¹⁹ Sistema hidrobotânico é uma terminologia adotada pela FLL, mas, tecnicamente, é um *wetland*. Sua disposição pode ser submersa ou emersa das macrófitas. A água flui pelo substrato e rizoma das plantas sem canalização de drenagem.

n_B = Número de banhistas por dia;

exp = Fórmula 2;

$C_{Q \text{ não-diluído}}$ = Concentração de substância ou microrganismo na vazão de enchimento [mg/m³ ou UFC/m³];

Q_e = Vazão de entrada da água de enchimento [m³/d];

V_p = Volume da piscina;

C_0 = Concentração inicial de substância ou microrganismo [P_{total} de 20 mg/m³ ou *E. coli* de 500.000 UFC/m³];

C_B = Carga de entrada de substância ou microrganismo por banhista [P_{total} de 74 mg/banhista ou *E. coli* de 120.000 UFC/banhista];

e = Número de Euler.

$$\text{exp} = \left[\left(\frac{Q_{zoo}}{V_p} * Eli_{zoo} * \frac{T_{red,zoo}}{24} \right) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_{dep-i}}{V_p} * Eli_{dep(i)} * \frac{T_{red,dep}}{24} \right) \right] * (-1) \quad (\text{fórmula 2})$$

onde:

Q_{zoo} = Vazão de filtrada pelo zooplâncton [m³/d];

V_p = Volume da piscina [m³];

Q_{dep-i} = Vazão de purificação examinada (1... n) [m³/d];

Eli_{dep-i} = Taxa de eliminação do sistema de depuração (1... n), baseado na substância examinada [fator 1 = 100%]. Dependendo do sistema de depuração (i) e da substância examinada, *E. coli* ou P_{total} , o valor específico do sistema deve ser inserido aqui;

$T_{red,zoo}$ = Tempo em que a redução da substância por zooplâncton deve ocorrer [h];

$T_{red,dep}$ = Tempo em que a redução da substância pelo sistema de depuração deve ocorrer [h];

Eli_{zoo} = Taxa de eliminação por zooplâncton, baseado na substância examinada [fator 1 = 100%]. $Eli_{zoo(E. coli)} = 1$ [fator] ou $Eli_{zoo(P_{\text{total}})} = 0,01$ [fator].

4.1.4 Operação e manutenção

Uma piscina biológica terá longo tempo de vida se forem realizadas manutenções regulares e corretas. As seguintes verificações devem ser realizadas pelo usuário antes ou durante cada uso da piscina, a fim de verificar se há defeitos óbvios (FLL, 2007, tradução nossa):

- a) Transparência da água;
- b) Estabilidade da borda da piscina;
- c) Eficácia do bloqueio capilar;
- d) Forro exposto nas áreas de borda da piscina;
- e) Perdas de água anormalmente elevadas, por bloqueio capilar inadequado ou vazamentos, por exemplo;
- f) Proteção do sistema de impermeabilização, presença de quaisquer tensões, áreas esmagadas, fissuras, rasgos;
- g) Condição adequada dos cantos, pontos de penetração da água;
- h) Condições de funcionamento adequadas das tubagens de alimentação e de descarga, instalações técnicas e objetos estruturais;
- i) Níveis anormalmente elevados de crescimento de algas prejudiciais;
- j) Crescimento incomum da vegetação plantada (ex. deslocamento de espécies individuais devido à disseminação excessiva de outras espécies, sintomas de deficiência causados pela falta de nutrientes);
- k) Presença de peixes;
- l) Infestação por pragas;
- m) Caramujos.

Segundo a FLL (2007), o proprietário da piscina biológica não estiver disposto ou for incapaz de executar este trabalho no espaço requerido e com a perícia profissional necessária, deve ser contratada uma companhia devidamente qualificada e de confiança para fazer todo ou parte deste trabalho para ele. Ainda como parte do planejamento adequado e implementação, o comprador também deve receber instruções de operação escritas e faladas. Em caso de problemas (p. ex., transparência

insuficiente da água, crescimento de algas prejudiciais), devem ser realizadas avaliações da temperatura, valor do pH, oxigênio, dureza de carbonato e níveis de nitrogênio (amônia, nitrato) e fósforo total na água.

Quadro 6 – Ações de manutenção e periodicidade

Remoção de / precaução com	Quando
crescimento vindo da ZN	descoberta
peixes e similares	
caramujos	
alga filamentosa	
folhas (ou instalar redes)	antes de afundar
partes mortas de plantas na ZR com risco de afundar	se necessário
areia ou brita	algumas vezes ao ano ou ao menos antes de cada aspiração de lodo
lodo natural/folhas mortas	ao menos 1-2 x na ZN
	como necessário na ZR
amostras de água para análise	quando em desacordo com padrões de qualidade
controle de entrada de nutrientes para saúde das plantas	se necessário
poda	
na ZR, com remoção dos descartes	final do verão até primavera, antes do aparecimento dos novos brotos, depende da espécie
excesso de biomassa	se necessário
redução de espécies se espalhando muito	se necessário

(fonte: baseado em FLL, 2007, tradução nossa)

Deve-se fazer a reposição diária da água perdida por evaporação, estimada em 212 mm por dia, equivalente a 12 L/m² de superfície de água. Levando em conta a perda por mergulhos e outros usos, a perda de água pode chegar até 20 mm por dia. O detalhamento do fenômeno e equacionamentos estão apresentados no Anexo G deste trabalho (MOURÃO, 2007 *apud* WEIXLER, 2000). A água de abastecimento deve ser de fonte natural. Em uma situação urbana onde esta situação é improvável, é permitido usar a água do abastecimento público; entretanto, é necessário instalar um dispositivo aerador no tanque para promover a volatilização do cloro. Este não pode ser localizado na zona de regeneração pois prejudicaria o zooplâncton.

4.2 PROBLEMAS ASSOCIADOS

4.2.1 Riscos biológicos

A ausência de produtos químicos e a ausência, ou uso restrito, de métodos físico-químicos para desinfecção da água exigem um controle mais atento dos riscos biológicos. A água com aspecto natural e o ambiente rico de plantas torna-se um chamariz para animais que podem provocar riscos à saúde. Além disso, os custos de implementação podem se tornar um fator impeditivo à escolha de uma piscina biológica. Esta etapa será finalizada apresentando os problemas associados à operação e à manutenção do sistema.

Um dos principais riscos biológicos neste tipo de piscina é a presença de **caramujos**, hospedeiros da *Schistosoma* sp., o trematódeo²⁰ causador da esquistossomose. Esta doença tropical afeta mais de 200 milhões de pessoas no planeta (PELCZAR JR., 1997). No Brasil, e também no Estado de São Paulo, a esquistossomose causa mais óbitos que malária, dengue e leishmaniose visceral (SÃO PAULO, 2009). Os ovos do esquistossomo podem chegar na piscina diretamente pelas fezes infectadas ou urina, dependendo da espécie de *Schistosoma*, de pessoas ou animais infectados. Ao atingir a água, o ovo matura e eclode, liberando os miracídeos, que penetram nos caramujos. Estes se desenvolvem nos caramujos, emergindo na forma de cercarias, a forma infectante do esquistossomo (PELCZAR JR., 1997). Caramujos também fazem parte do ciclo de vida de outro parasita trematódeo, o *Trichobilharzia regenti*, que, em humanos, causa dermatite cercarial, também conhecida como comichão de nadador (FLL, 2013). Um estudo de 2004 coletou caramujos (753 no total, sendo 444 vivos) em seis sítios de ecoturismo no interior de Minas Gerais com **piscinas naturais**. Após exame, foram encontrados seis indivíduos de uma das localidades infectados com cercarias de esquistossomo (ENK et al., 2004). Este tipo de ocorrências pode ser evitado com a remoção imediata de caramujos da área de nado (um número pequeno

²⁰ Trematódeos: classe do filo Platyhelminthes composta por cerca de 11.000 espécies de endo e ectoparasitas. Podem infestar uma grande diversidade de moluscos, peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos e seus hospedeiros dependem da espécie. Alguns destes parasitas causam doenças graves no hospedeiro.

de indivíduos pode ser tolerado somente na zona de regeneração) e implementação de barreiras e métodos para impedir o acesso de aves aquáticas²¹ (FLL, 2007; FLL, 2013).

Um elemento biológico que continuamente deve ser evitado em piscinas biológicas são os **peixes** (FLL, 2013; GIABN, 2013). Talvez inspirados por um inconsciente coletivo que diz que se existem peixes em um corpo d'água é sinal de que a água é limpa, a informação de que peixes são bem-vindos ou até mesmo necessários, provém da literatura informal (DURANTE, 2014; DALE, 2016; HABITÍSSIMO, 2016; ANAPP, 2017) e pode até mesmo ser encontrada em publicação científica (LIEM, 2014). Motivo de muita desinformação, peixes não devem ser tolerados em nenhuma hipótese em piscinas biológicas pois (MOURÃO, 2007), porque competem com as plantas e zooplâncton por nutrientes, consomem oxigênio da água, enriquecem a água com matéria orgânica de forma descontrolada e alimentam-se de zooplâncton e de plantas aquáticas, sobretudo as submersas.

Os **animais** de sangue quente, como mascotes domésticos, aves e ratos, entre outros pequenos mamíferos, geram aumento de *E. coli* e podem ser vetores de microrganismos patogênicos ou parasitas. Seu acesso deve ser impedido e deve verificar-se que não há locais de abrigo em canos, tubulações, etc. (FLL, 2007). Anfíbios e répteis podem aparecer na zona das plantas aquáticas e ocasionalmente entrar na zona de natação, mas não causam problemas de saúde (BIOPISCINAS, 2015). Em um estudo de 2013 (CASSANOVAS-MASSANA e BLANCH, 2013), foram coletadas amostras de quatro piscinas biológicas na Espanha no verão e no inverno, sendo duas em região urbana e duas em região próxima a bosques. Foi verificada a presença de indicadores de coliformes fecais, como *E. coli*, enterococos, bactérias heterotróficas aeróbicas e *Pseudomonas aeruginosa*. A água de enchimento destas piscinas era a água potável da rede de distribuição. Foram encontradas baixas quantidades de indicadores fecais, mas que seriam suficientes para proibir o uso das piscinas de acordo com normas europeias. Entretanto, como a água de origem era potável, e em nenhum caso havia a possibilidade de contaminação por esgoto, foi

²¹ Patos, gansos e marrecos são os hospedeiros finais do *Trichobilharzia R.*. Na América do Sul também existem espécies silvestres de patos.

especulado que a origem da contaminação poderia ser acidentes fecais, má higiene de banhistas ou origem animal. A combinação das diversas evidências indicou que a contaminação era, de fato, de origem animal. Por exemplo, a baixa diversidade genética entre as espécies de enterococos aponta para uma origem única e os organismos indicadores estavam presentes nas amostras coletadas no inverno, quando as piscinas não eram utilizadas. Este estudo é um exemplo preciso que enfatiza a necessidade de impedir o acesso de alguns animais às piscinas biológicas.

Em países de climas tropicais onde pandemias ainda são comuns, uma preocupação é a proliferação de **mosquitos**. Entretanto, o microssistema criado pela zona de regeneração da piscina fomenta o desenvolvimento de libélulas e outros artrópodes aquáticos que são predadores naturais dos mosquitos, além do zooplâncton que consome os mosquitos em seus estágios mais iniciais (BIOTOP, 2016). Mecanicamente, pode ser incluído no projeto uma coadeira de peneira curva que, além de remover impurezas da água, também diminui muito a incidência de mosquitos ao remover larvas (MACEDO, 2013; BIOTOP, 2012). E em casos extremos de pandemias, pode-se utilizar o BTI²², comprovadamente exitoso, inclusive para eliminar outros insetos vetores de doenças e que causam picadas de bastante desconforto, como os borrachudos (*Simuliidae* sp.) (DOS SANTOS, 2010; LYRA, 2016).

As algas são um componente natural e sempre estarão presentes em piscinas biológicas. O risco de **floração** é baixo se o sistema estiver equilibrado, pois as algas competem com as macrófitas por alimento (N e P). No caso de surgimento de algas filamentosas, como as que por vezes surgem em aquários, estas devem ser imediatamente removidas, preferencialmente de maneira mecânica. Produtos algicidas podem ser utilizados, desde que comprovadamente não afetem humanos, plantas e zooplâncton (FLL, 2007). Acumulação de algas nos componentes de borda (escadas, corrimões, etc.) podem ser removidos com escovação mecânica ou manual e posteriormente aspirados, tal como nas piscinas convencionais.

²² BTI *Bacillus thuringiensis israelenses*: método biológico de combate à insetos hematófagos com bactérias, que é atóxico e não causa impacto ambiental.

Figura 18 – Aspecto de infestação de algas filamentosas em aquário



(fonte: PHOTOBUCKET)

4.2.2 Custos iniciais

As referências brasileiras afirmam que os custos de implementação de uma piscina biológica são maiores do que os de uma piscina convencional. Segundo um executor, a faixa de valor, em dezembro de 2014, era de 1,5 mil a 3 mil reais por m² em comparação à média de 1 mil reais por m² para uma piscina de alvenaria ou concreto armado (DURANTE, 2016 *apud* RETZ, 2014). Em uma página brasileira da internet de oferta de orçamentos para o mercado da construção civil, foram divulgados seis orçamentos, com valores entre R\$ 45.000 e R\$ 75.000, para uma piscina com área de natação de 4,0 m x 8,0 m, de 1,5 m de profundidade, mais a área do jardim aquático, com projeto e execução completos (HABITÍSSIMO, 2017).

Por outro lado, o maior investimento inicial é compensado no longo prazo, segundo Pereira (2017), único membro no Brasil da IOB. De acordo com este autor, levando em conta os gastos com produtos químicos e a fatura energética de uma piscina convencional, a piscina biológica torna-se mais vantajosa em um período de 4 a 5 anos. Além disso, se também considerarmos os gastos secundários com os efeitos colaterais do cloro (roupas de banho danificadas, cosméticos para tratamento do cabelo e pele ressequidos, etc); a ausência de inconvenientes, como irritação nos olhos

e mucosas, e à inexistência da exposição a DBP cancerígenos, a piscina biológica é a escolha correta.

4.2.3 Operação e manutenção do sistema

Como o sistema de filtração natural da piscina biológica não é uma instalação efetivamente estéril, é necessário um certo grau de adaptação comportamental e de concessão por parte dos usuários. Exemplos incluem tomar uma ducha antes de entrar na piscina para remover contaminantes, como excesso de suor, cosméticos e protetor solar, e respeitar a zona de regeneração como uma área sensível, que não deve ser utilizada, bem como não recolher plantas macrófitas por interesse pessoal (HCMA, 2016). Complementarmente a isso, orientações extremamente básicas como não utilizar a piscina em caso de doença contagiosa ou de notificação obrigatória²³, infecção cutânea e diarreia continuam sendo necessárias tal como para piscinas convencionais (ABNT, 1990; FLL, 2007).

No campo da percepção pessoal, a cor verde-clara da água de uma piscina biológica pode ser mal interpretada por alguns como "turva", levando a impressões negativas relacionadas à limpeza e higiene (HCMA, 2016). A temperatura da piscina, como já mencionado anteriormente, deve ser mantida a menos de 25° C por razões sanitárias (FLL, 2013), tal como em piscinas convencionais, o que pode causar apenas desconforto para alguns usuários. Não há normas para temperatura de piscinas convencionais, mas para piscinas de práticas esportivas a temperatura recomendada é entre 25° C e 28° C (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES, CONSTRUTORES DE PISCINA E PRODUTOS AFINS, 2017)

Não há indicação de procedimentos específicos em caso de um grande aporte de contaminante, como fezes, vômito ou um animal morto. No sistema convencional, é possível combater este problema com um tratamento de choque de cloro; entretanto, a piscina biológica não permite, de acordo com seu construto primordial, tampouco seu

²³ Lista de doenças na qual a lei obriga que devem ser notificadas às autoridades da saúde pública. Variam de acordo com o país. A lista brasileira está disponível em: http://www.anvisa.gov.br/hotsite/cruzeiros/documentos/2013/lista_nacional_de_doencas_de_notificacao_compulsoria_.pdf. Acesso em: 05/05/2017.

ecossistema suportaria, uma descarga química. Nestes casos, segundo Schwarzer (2017), recomenda-se remover o contaminante o mais rápido possível, aguardar o período de recirculação de todo o volume de água da piscina e realizar a contagem de organismos contaminantes para verificar se atendem aos requisitos mínimos para poder ingressar novamente na piscina. Caso contrário, aguardar e refazer o teste até que esteja em condições. Butler (2017) sugere que o tanque deva ser drenado, limpo e, após o reenchimento, a água deve ser testada para verificar se atende os parâmetros de qualidade. Segundo a FLL (2007), também em relação à contaminação, a quantidade de usuários para a qual a piscina foi projetada também deve ser respeitada. Quanto maior o número de usuários, maior será o impacto no sistema depurativo. Se este número ultrapassar o valor projetado, provavelmente surgirão problemas de qualidade de água (p. ex., a água pode ficar turva por conta da floração de fitoplâncton).

Quanto às medições de qualidade, as normas não mencionam a cautela de realizar medições fora de períodos chuvosos. Segundo Metcalf e Eddy (2006), um grande aporte pluvial contribui para a diluição dos parâmetros de qualidade, podendo levar a interpretações errôneas dos resultados. Portanto, estas medições devem ser realizadas em períodos de baixa precipitação ou, no caso de precipitações contínuas e acentuadas, reduzir ou até mesmo cortar a vazão de alimentação da piscina, da mesma forma que nos banhados construídos.

5 APLICAÇÃO

Nesta etapa do trabalho, serão aplicadas as topologias de piscinas biológicas para os casos de piscina residencial privativa e piscina residencial coletiva. Estes casos de implementação foram selecionados para o trabalho por representarem as condições mais comuns de execução de piscinas no Brasil (ANAPP, 2014). Além disso, mesmo na Europa, onde são mais populares, as piscinas biológicas são em sua maioria implementadas em situações residenciais.

Os dois casos selecionados de piscina são baseados em piscinas existentes que foram visitadas pelo autor do trabalho e autorizadas pelos respectivos proprietários a fazerem parte desta análise. Em ambas situações, não serão propostas mudanças do *layout* arquitetônico dos entornos para acomodar uma piscina biológica: a ZN e ZR serão dispostas e ajustadas às condições arquitetônicas existentes.

5.1 PISCINA RESIDENCIAL PRIVATIVA

5.1.1 Situação existente

Piscina em uma casa de 450 m² de área útil, em um terreno de 650 m² construída na década de 60, situada no bairro Mont'Serrat, em Porto Alegre. Habitam a residência um casal aposentado. A piscina da residência, localizada no quintal, possui formato retangular de 8,0 x 4,0 m, com 1,50 m de profundidade, estrutura em alvenaria com revestimento de placas cerâmicas, que recebe tratamento com cloro granulado, algicida líquido e não possui aquecimento. A piscina é utilizada entre meados de novembro e o final de março, recebendo não mais que 4 pessoas por sessão de uso. A piscina recebe manutenção preventiva mensal de um técnico que atua na região metropolitana ao custo fixo de R\$ 200,00 mensais. Somado ao serviço, é gasto em torno de R\$ 120,00 mensais com produtos de tratamento.

Figura 7 - Caso piscina residencial privativa



(fonte: Google Earth e acervo pessoal)

Se desconhece o custo da piscina à época da execução da residência, bem como a totalidade dos custos com reformas e troca de equipamentos que foram despendidos ao longo dos anos. Em valores atuais obtidos com executores atuantes na grande Porto Alegre, uma piscina com estas características e revestimento poderia ser implementada, incluindo infraestrutura de tratamento de água, por valores entre torno de 1.000 R\$/m² (DURANTE, 2016 *apud* RETZ, 2014).

5.1.2 Piscina biológica proposta

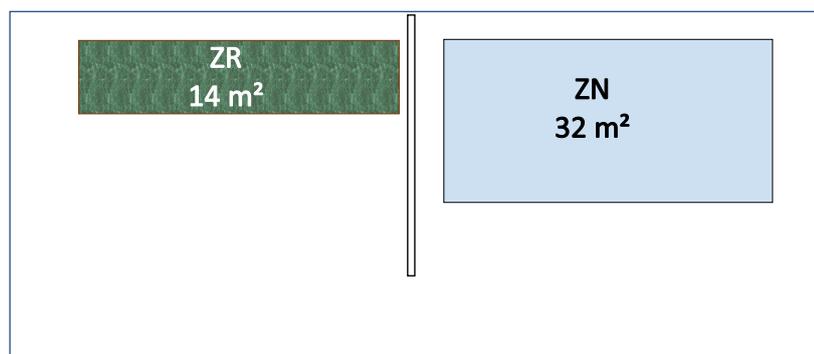
Seguindo as 5 topologias da FLL, o tipo aplicado nesta situação seria o IV ou V, por serem as configurações aplicáveis a menores áreas. Entretanto, a configuração existente do jardim exige uma zona de regeneração desconectada da zona de natação, portanto deve-se utilizar o tipo V. Outro motivo para a escolha do tipo V está relacionado à questão da profundidade, pois no tipo IV pelo menos 40% da área de natação deve possuir profundidade maior ou igual a 2,00 m e a piscina existente tem profundidade fixa de 1,50 m. Visto que a zona de natação tem 32 m², a área da zona de regeneração deverá ter 14 m² (30% da área total da piscina biológica), por ser o valor mínimo de acordo com a tabela de topologias. Estes 14 m² poderiam ser acomodados na área com arbustos anterior à piscina (cerca de 22 m²), paralelamente junto ao muro com o vizinho, com a zona de regeneração sendo um jardim aquático complementar ao

paisagismo existente. As plantas utilizadas seriam o junco (*Eleocharis* sp.) e a taboa (*Typha* sp.) por sua alta capacidade de remoção de microrganismos, nitrogênio e potássio, obtendo melhores resultados quando plantadas em conjunto (ANDRÉS; GARCÍA, 2011; ESCOSTEGUY *et al.*, 2008). Como estas macrófitas têm altura média à alta, a densidade de plantas por metro quadrado seria de 3 à 5 unidades (FLL, 2013).

As topologias já são previstas para suportar um aporte de até 4 banhistas. No entanto, com o objetivo de verificação, se verificará a condição do volume mínimo indicado de 3,5 m³ por banhista para o tipo V. Sendo a piscina plana, seu volume é dado pela multiplicação de suas dimensões, obtendo o valor de $V = 48 \text{ m}^3$, ou 48.000 L. Dividindo este valor por 3,5 m³, obtêm-se 13,71, ou seja, esta piscina poderia suportar o uso de até 13 banhistas. Mesmo considerando o aporte extra de matéria orgânica que a piscina recebe por conta das folhas do jardim, esta piscina estaria segura para o uso comum que possui.

Considerando o maior valor de orçamento descrito no item 4.2.2 deste trabalho, e por esta proposta de piscina biológica ser a que necessita mais infraestrutura, considera-se que esta piscina poderia ser executada por R\$ 75.000,00. Custos com manutenção poderiam ser reduzidos, incumbindo o faz-tudo da residência em manter a piscina livre de detritos e aparando as macrófitas aquáticas. A visita de um técnico ainda seria necessária para verificar os parâmetros de qualidade da água, mas o custo da visita poderia ser menor devido à redução dos serviços prestados. Os gastos com produtos químicos seriam reduzidos à zero.

Figura 18- Proposta de piscina privativa



(fonte: elaborado pelo autor)

Buscando a menor situação de piscina biológica possível, é possível chegar às dimensões ao multiplicar o volume mínimo pelo número de usuários, $3,5 \text{ m}^3 \times 4$, o que resulta em 14 m^3 . Dividindo pela profundidade de 1,50 m, resulta em uma área de nado de 10 m^2 (arredondando de $9,33 \text{ m}^2$), podendo ser uma piscina retangular $2,0 \times 5,0 \text{ m}$ ou quadrada com 3,15 m de lado. Entretanto estas dimensões ficam abaixo do recomendado pela FLL (2013), não podendo ser assegurada a sua eficiência.

5.2 PISCINA RESIDENCIAL COLETIVA

5.2.1 Situação existente

Piscina externa em um condomínio vertical de alto padrão, construído em 2015, no bairro São João em Porto Alegre. O empreendimento conta com 12 pavimentos e 28 apartamentos com áreas privativas entre 83 m^2 e 115 m^2 , dos quais 10 não estão ocupados. O condomínio possui uma piscina externa do tipo raia de natação e uma piscina infantil conjugadas, dispostas em formato L, na área comum do terceiro pavimento. As medidas das piscinas são $18,0 \times 2,0 \text{ m}$, 1,60 m de profundidade e $4,4 \times 2,6 \text{ m}$, 0,5 m de profundidade, respectivamente. A estrutura foi executada em concreto armado e revestimento com pastilhas cerâmicas, e possui aquecimento artificial da água. O tratamento da piscina é feito com cloro “tripla ação” (desinfetante, algicida e clarificante), estabilizador de pH e removedor de oleosidade. As piscinas são mais utilizadas entre novembro e abril, com picos de uso em dezembro de 15 usuários por

sessão. Mesmo durante os três meses de verão, o uso não é alto pois muitos condôminos viajam ou passam este período na praia. Entretanto, devido à característica multiuso da raia, alguns moradores a utilizam ao longo de todo ano para natação. Somente os moradores são autorizados a utilizar a piscina. A manutenção é realizada por empresa metropolitana do ramo, ao custo fixo de R\$ 350,00 mensais para os meses de menor utilização, e R\$ 450,00 para os meses de maior utilização. Os produtos de tratamento de água são adquiridos pelo condomínio ao custo de R\$ 200,00 por mês e eventuais reparos hidráulicos são realizados por chamada extra no condomínio.

Figura 19 - Caso piscina residencial coletiva



(fonte: www.knijnik.com.br/tito/#!/apartamentos)

O custo de execução das piscinas não foi revelado pela empresa construtora. Estima-se, com base em orçamentos obtidos com executores atuantes na grande Porto Alegre, que uma piscina com estas características e revestimento poderia ser implementada, incluindo a infraestrutura de tratamento de água, por valores em torno de R\$ 2.200,00/m².

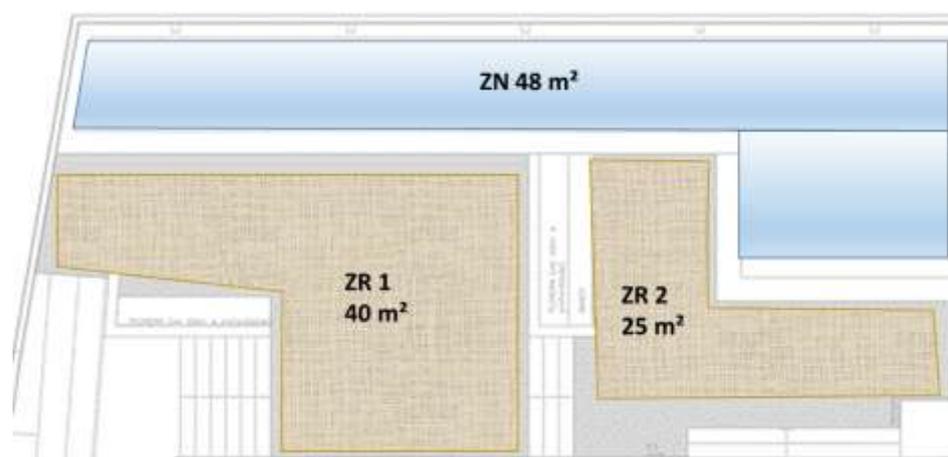
5.2.2 Piscina biológica proposta

Novamente, se optaria pelo tipo V pela menor área de piscina e necessidade de uma zona de regeneração desacoplada da piscina. Esta topologia permite maior otimização de espaço, já que o sistema é o mais avançado tecnologicamente, podendo até dispensar plantas na zona de regeneração. A depuração é garantida pela eficiência dos

equipamentos, ciclo trófico na zona de nado e a habilidade do substrato filtrante em limpar a água. Neste caso, o sistema de tratamento poderia ser embutido sob o deck de madeira adjacente às piscinas (FIELDS, 2014; FLL, 2013).

O sistema utilizará um filtro multicamada (duas camadas com substratos de 1 a 5 mm e 2 a 11 mm), de fluxo vertical, não inundado, por ser a opção de sistema de depuração que melhor se adapta à situação, possuindo as maiores taxas de remoção de *P* e *E. coli*. A aplicação das fórmulas (1) e (2) da seção 4.1.3.2 para os parâmetros deste caso, resulta em um filtro de área de 40 m², que deve ser localizado sob o deck de madeira esquerdo. Esta situação suportaria o influxo de 106 banhistas por dia, ou 9 banhistas/hora em um período de 12 horas. Esta taxa é compatível com o uso atual da piscina nos meses de verão. Esta taxa poderia ser melhorada, prevendo a situação de mais moradores utilizando a piscina, com um aumento da zona de regeneração total para 65 m², através da utilização da área abaixo do deck direito, o que permitiria o influxo de 400 banhistas ao dia, ou 33 banhistas/hora. Os canteiros com plantas ao redor das piscinas não possuem área suficiente para serem transformados em um jardim aquático capaz de suportar uma zona de regeneração. O detalhamento dos cálculos está apresentado no anexo H deste trabalho.

Figura 80 – Proposta para piscina coletiva



(fonte: autoria do autor)

Como esta proposta não incluiria o jardim de macrófitas, pode-se estimar que o custo de implementação seria equivalente ao custo da situação atual mais o custo da zona de regeneração filtrante. Os equipamentos de infraestrutura continuariam os mesmos.

Não foi possível obter com as fontes consultadas qual seria o valor deste tipo de zona de regeneração, tampouco foram encontradas situações similares construídas no Brasil. Entretanto, sendo esta a situação mais mecanizada de piscina biológica, poderia ser considerado o valor mais alto de área indicado na seção 4.2.2, de R\$ 3.000/m². A manutenção periódica desta piscina biológica seria mantida na forma de verificação da qualidade da água e funcionamento do filtro; entretanto, os gastos com produtos químicos seriam reduzidos a zero.

6 COMPARAÇÃO DOS CASOS

Com base nos três capítulos de referências e a aplicação nos dois casos, neste capítulo do trabalho será realizada a comparação entre o sistema convencional de tratamento com cloro e a piscina biológica.

6.1 IMPACTO AMBIENTAL

A água tratada pelo sistema biológico não apresenta substâncias tóxicas. A água de transborde ou esvaziamento pode ser direcionada à rede pluvial ou mesmo utilizada na edificação para descargas, lavagem de chão e irrigação de jardins. Apesar da ausência de riscos, animais domésticos não devem ter acesso à piscina biológica para manter a qualidade da água dentro dos níveis adequados.

A independência de utilização de produtos químicos promove a diminuição do consumo de cloro e conseqüente redução dos impactos causados pela cadeia da indústria química (produção, transporte, armazenamento, utilização, descarte de embalagens) e redução do número de potenciais acidentes químicos.

6.2 EFEITOS COLATERAIS PARA BANHISTAS

A água da piscina biológica não apresenta nenhum tipo de efeito colateral aos banhistas e não gera DBP, ao contrário da piscina convencional. Alguns usuários até ingerem a água de piscinas biológicas (BUTLER, 2015). A ausência de efeitos colaterais devido à exposição à água clorada resultará, para os usuários frequentes, em economia com produtos cosméticos para tratamento da pele, cabelos e dentes e maior durabilidade das roupas de banho. Também não há necessidade de utilizar equipamentos de proteção individual, como óculos de natação ou tampões de ouvido. Com relação às doenças causadas pelo contato com água clorada, é difícil de quantificar a totalidade dos custos, pois envolvem um espectro muito amplo, e por vezes subjetivo, como medicamentos, tratamentos médicos, consultas, perda de produtividade e ausências no trabalho.

6.3 CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Os custos de implementação são mais altos devido à presença da zona de regeneração, na forma de um jardim aquático ou filtro de granulometria variada. O tanque de uma piscina biológica, sua respectiva estrutura e materiais construtivos, assim como os equipamentos de recirculação da água podem ser os mesmos utilizados em piscinas convencionais. Desta maneira, pode-se buscar diminuir este custo inicial optando por revestimentos menos nobres.

6.4 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Tanto o sistema convencional quanto o biológico requerem os mesmos cuidados com higiene pessoal anteriormente mencionados. Entretanto, o usuário da piscina biológica precisar tomar uma ducha na entrada, enquanto que, na piscina convencional, é necessária uma chuveirada na entrada e outra na saída da água, por conta do desconforto causado pelo cloro em contato com pele, mucosas e cabelo e para a remoção dos DBP do cloro do contato com a pele. Isto faz com que a operação do sistema convencional consuma mais água.

A piscina biológica tem limitação de condicionamento de temperatura (25° C), enquanto que a piscina convencional permite condicionamento até temperaturas mais próximas da temperatura corporal. Esta limitação de temperatura pode gerar desconforto para banhistas durante os meses mais frios.

A piscina biológica proporciona um novo habitat, e a presença de água não clorada, fazem dela um ambiente artificial muito próximo do encontrado na natureza, atraindo insetos grandes, como as libélulas. Somado a isso, a água sempre terá algum teor de algas, o que a tornará levemente turva. Isto pode ser um problema para usuários com algum grau de misofobia²⁴ ou biofobia, que não tolerarão ficar expostos a estes agentes na piscina.

²⁴ Pessoa com medo patológico do contato com a sujeira, contaminação ou germes. Também conhecido por germofobia.

A água sempre apresentará algum tipo de interação com os componentes construtivos e infraestrutura, especialmente os metálicos ao provocar ferrugem. Entretanto, a ausência de cloro na piscina biológica faz com que seja muito menos agressiva aos componentes construtivos e infraestrutura.

A piscina biológica gera biomassa com a poda e natural decaimento de folhas e caules das macrófitas. Este material pode ser descartado no lixo orgânico ou ser transformado em composto para posteriormente ser utilizado nos jardins e vasos de plantas da edificação.

No caso de alta contaminação, o sistema convencional permite uma resposta mais rápida para reverter a situação através de uma dose de choque de cloro. No caso da piscina biológica, deve-se aguardar até que o sistema entre em equilíbrio novamente, podendo se utilizar, em casos extremos, algicidas em pó que não agridam a biocenose.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento de água está entre as principais atribuições da engenharia civil. A formação do profissional engenheiro fornece as ferramentas necessárias para que seja possível avaliar a eficiência dos métodos convencionais de tratamento e os riscos associados à sua utilização, bem como alternativas consideradas ambientalmente seguras. Este é o caso das piscinas biológicas e sistemas associados de controle da qualidade da água.

Através do levantamento e revisão bibliográfica, foi possível estabelecer as condições necessárias para atingir teoricamente os objetivos propostos.

- O dimensionamento das piscinas biológicas para cada caso aplicou os métodos propostos pelas normas e manuais da FLL, sugerindo topologias que atendessem às necessidades de depuração. E o número de banhistas dimensionado para cada caso ficou dentro do aporte usual.

A comparação entre a situação existente e proposta de piscina biológica aponta que a proposta é mais vantajosa nos aspectos avaliados e teria implementação viável.

- A piscina biológica tem impacto ambiental baixo, não está sujeita à falhas de aplicação de agentes químicos desinfetantes e sua manutenção não tem riscos de acidentes químicos;
- Não ataca os componentes construtivos e infraestrutura de tratamento;
- A água tratada é pura e não gera efeitos colaterais aos usuários e operadores de manutenção;
- Seu custo inicial de implementação é mais alto devido à presença da zona de regeneração, ou outros sistemas de depuração, mas no longo prazo, o custo inicial é amortizado pela ausência do consumo de produtos químicos de tratamento.

Entretanto, alguns aspectos das piscinas biológicas relacionados à operação e à manutenção devem ser levados em conta para que usuários não sejam surpreendidos negativamente ou prejudiquem o correto funcionamento do sistema.

Os cuidados com a higiene pessoal são fundamentais em piscinas biológicas, sendo a chuveirada inicial fundamental para remoção de poluentes presentes externamente. Diferentemente da situação convencional, em que os banhistas ficam imersos em uma sopa de químicos e subprodutos, a piscina biológica baseia-se em organismos vivos para o tratamento da água, logo, não é um ambiente estéril. Microrganismos patogênicos e contaminantes são consumidos pelo zooplâncton, absorvidos pelas plantas ou destruídos pela radiação solar. Este processo de depuração pode ser mais lento e por isso, indivíduos doentes ou com qualquer tipo de infecção não devem entrar na água sob risco de contaminar outros usuários. Desta forma, faz-se necessário uma conscientização muito forte dos usuários para que respeitem as regras e orientações de uso a fim de manter a piscina biológica operando otimamente. Além disso, para algumas pessoas obcecadas por limpeza, entrar em uma piscina viva e o ato de dividir o espaço da piscina com outros seres vivos é inaceitável.

No âmbito de contribuições às normas, seria válido que os manuais da FLL considerassem a situação de precipitações intensas no dimensionamento de piscinas biológicas. Como mencionado anteriormente, a análise da qualidade da água nesta situação pode induzir a interpretações errôneas. Deste modo, orientações de manutenção neste sentido deveriam ser incluídas. Outra questão é a pouca informação sobre as macrófitas aquáticas usadas no processo. Cada planta possui maior ou menor contribuição para a eficiência para a remoção de cada tipo de contaminante e, portanto, são necessárias informações sobre as propriedades das espécies mais utilizadas visando otimizar o dimensionamento das piscinas. No cenário brasileiro, há escassez de informações e referências confiáveis em piscinas biológicas. Antes de se criar um manual ou normas adaptadas às condições locais, seria necessária uma revisão das NBR de piscinas, abrindo espaço para tratamentos alternativos, para que o sistema biológico pudesse ser formalizado sem conflitos. A norma brasileira de piscinas NBR 10818 também precisaria uma revisão específica quanto à qualidade da água, uma vez que afirma que “[...] não podem conter ou introduzir substâncias tóxicas ou nocivas ao usuário ou ao meio ambiente [...]”, mas não inclui os subprodutos de desinfecção do cloro, nem estabelece parâmetros de medição de qualidade para os mesmos.

Não se espera que uma mudança radical para o sistema biológico aconteça imediatamente, muito menos que seja imposta legal ou normativamente. De qualquer maneira, o tratamento da água é necessário e o número de vidas que o cloro já salvou e continua salvando ao depurar águas de abastecimento é imensurável. Todavia, é necessário que a população esteja consciente dos riscos a que se expõe quando entra em uma piscina com cloro. Embora existam manuais de aplicação e FISPQ, o consumidor médio não tem o hábito de buscar estas informações, e muitas vezes não tem capacidade de compreender a literatura técnica. Uma busca simples na internet com os termos DBP e *chlorine* retornará uma infinidade de referências informais, acadêmicas e governamentais sobre o assunto. Comparativamente, nas páginas das companhias produtoras de cloro, o termo subproduto e a definição do problema inexistem ou são superficiais. Da mesma forma que os equipamentos elétricos possuem selo de eficiência energética, estes produtos para tratamento de piscina poderiam ter um selo de segurança química em uma escala didática e facilmente inteligível.

A finalidade do tratamento da água de piscina é fazer com que ela seja segura para a seus usuários. Não pode ser aceito que os benefícios mentais e do exercício aeróbico na água sejam reduzidos por conta de métodos e tecnologias ultrapassadas que causam males aos usuários. A piscina biológica é mais uma das alternativas seguras e verdes ao sistema convencional com cloro. Entretanto, sua grande vantagem em relação às outras é seu grande valor paisagístico agregado.

REFERÊNCIAS

- ABCPISCINAS. **Alternativas ao cloro para piscinas**. Disponível em: <<http://abcpiscinas.com/artigos/alternativas-cloro-para-piscinas>>. Acesso em: 30/04/2017
- ALLEN, L. M.; BRIGGLE, T. V.; PFAFFENBERGER, C. D. Absorption and excretion of cyanuric acid in long-distance swimmers. **Drug Metabolism**, v. 13, n. 3, p. 499–516, 1982.
- ANDRÉS, J.; GARCÍA, P. **Plantas Acuáticas: plantas flotantes libres**. **DEPURANAT - Instituto tecnológico de Canárias S.A.** [S.l.]: [s.n.], 2011.
- ANDREWS, J. E.; NICHOLS, H. P.; SCHMID, J. E.; MOLE, L. M.; HUNTER, E. S.; KLINEFELTER, G. R. **Reproductive Toxicology**, v. 19, p. 111–116, 2004.
- ARCH QUÍMICA BRASIL. **HTH cloro granulado**. Salto, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.816**: Piscina - Terminologia. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 9.818**: Projeto de execução de piscina (tanque e área circundante). Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 9.819**: Piscina - Classificação. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 9.897**: Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 10.818**: Qualidade da água de piscina - Procedimento. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 11.238**: Segurança e higiene de piscinas. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES CONSTRUTORES DE PISCINAS E PRODUTOS AFINS. **Boletim**. 2014. São Paulo. Disponível em: <<http://www.anapp.org.br>>. Acesso em: 15/04/2017.
- _____. **Natural e em casa: Inspirado nas piscinas biológicas da Europa, lago para banho com peixes e plantas encontra espaço no Brasil**. Revista ANAPP, v. 124, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.anapp.org.br/arquiterura/natural-e-em-casa/>>. Acesso em: 15/04/2017.
- _____. **Temperatura ideal para piscinas**. 2017. São Paulo. Disponível em: <<http://www.anapp.org.br/blog/temperatura-ideal-para-piscinas/>>. Acesso em: 15/05/2017.
- BASLER, R. S.; BASLER, G. C.; PALMER, A. H.; GARCIA, M. A. Special skin symptoms seen in swimmers. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 43, n. 2, p. 299-305, 2000.

BASS, M. L.; BERRY JR, C. R.; HEATH, A. G. Histopathological effects of intermittent chlorine exposure on bluegill (*lepomis macrochirus*) and rainbow trout (*salmo gairdneri*). **Water Research**, v. 11, p. 731-735, 1977.

BERNARD, A.; CARBONNELLE, S.; MICHEL, O.; HIGUET, S.; DE BURBURE, C.; BUCHET, J.P.; et al. (2003). Lung hyperpermeability and asthma prevalence in schoolchildren: unexpected associations with the attendance at indoor chlorinated swimming pools. **Occupational and Environmental Medicine**, n. 60(6), p. 385–394, 2003.

BIOPISCINAS. **Biodiversidade**. Folheto, 2015. Disponível em <www.biopiscinas.pt>. Acesso em: 01/05/2017.

BIOTOP. **A mini-pool in the atrium**. 2013. Disponível em: <<https://gb.bio.top/case-studies#!natural-pool-schwitzerland-minimal-space>>. Acesso em: 05/05/2017.

BIOTOP. **Curved sieve skimmer: The self-cleaning sieve – model 20120**. 2012 Disponível em: <http://www.swimming-teich.com/pdf/infoblatt_bogensiebskimmer_engl_LP.pdf>. Acesso em: 01/05/17.

_____. **Seção de perguntas frequentes**. 2016. Disponível em: <<https://gb.bio.top/faq>>. Acesso em: 01/05/17.

BONNICK, D. M. Swimming Pool Disinfection: Techniques and Pitfalls. **Water Conditioning and Purification International**, n. 32, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 357**, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 03/05/2017.

_____. **Resolução n. 274**, de 25 de janeiro de 2001. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Brasília, DF, 2001. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>>. Acesso em: 03/05/2017.

BRUNGS, W. Effects of Residual Chlorine on Aquatic Life. **Water Pollution Control Federation**, v. 45, n. 10, p. 2180-2193, 1973.

BUTLER, D. P. **Organic pools DIY manual**. Edição online gratuita. 2013. Disponível em: <<http://www.organicpools.co.uk/DIY%20Natural%20Pool%20Manual%20free%20version.pdf>>. Acesso em: 25/04/2017.

BUTLER, D. P. **The most exciting Natural/Organic Pool in the world – how it works**. Vídeo de canal no Youtube. 2015. A partir do minuto 4:29. Disponível em: <

https://www.youtube.com/watch?v=CbQs4MP4Ag8&list=LLLvH6_Vk3ICkgLsgXAnAvHA&index=14>. Acesso em 24/04/2017.

BUTLER, D. P. **Troca de emails com David Butler da Organic Pools**. Em 20/05/2017.

CASANOVAS-MASSANA, A.; BLANCH, A.R. Characterization of microbial populations associated with natural swimming pools. **International journal of hygiene and environmental health**, v. 216, n. 2, p. 132-137, 2013.

CAPES. **Busca no portal de periódicos capes pelo termo “piscina biológica”**. 2017. Disponível em: <<https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&q=%22piscina+biol%C3%B3gica%22>>. Acesso em: 06/05/2017.

CENTER FOR DISEASE CONTROL. Prevalence of parasites in fecal material from chlorinated swimming pools – United States. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 50, p. 410–412, 2001.

_____. **Cryptosporidiosis**. DPDx - Laboratory Identification of Parasitic Diseases of Public Health Concern. Atlanta. 2016. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/dpdx/cryptosporidiosis/>>. Acesso em: 30/04/2017.

CARBONNELLE, S.; FRANCAUX, M.; DOYLE, I.; DUMONT, X.; DE BURBURE, C.; MOREL, G.; et al. Changes in serum pneumoproteins caused by short-term exposures to nitrogen trichloride in indoor chlorinated swimming pools. **Biomarkers**, v. 7, n. 6, p. 464–478, 2002.

DALE, J. **Tendência na Europa, piscinas biológicas ganham terreno por aqui - No lugar de cloro, plantas e peixes: o tratamento da água é feito sem agentes químicos**. 2016. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/ela/tendencia-na-europa-piscinas-biologicas-ganham-terreno-por-aqui-18437108#ixzz3wxEQIDTW>>. Acesso em 01/05/2017.

DAWES, C.; BORODITSKY, C. L. Rapid and severe tooth erosion from swimming in an improperly chlorinated pool: case report. **Canadian Dental Association**, v. 74, n. 4, p. 359-361, 2008.

DOS REIS, V. T. **Como funciona uma piscina**. São Paulo. 2014. Disponível em: <<https://piscinafacil.com.br/como-funciona-uma-piscina/>>. Acesso em: 22/04/2017.

_____. **Como medir o ph e o cloro de sua piscina**. São Paulo. 2016. Disponível em: <<https://piscinafacil.com.br/aprenda-como-medir-o-ph-e-o-cloro-de-sua-piscina/>>. Acesso em: 22/04/2017.

DOS SANTOS, F.P.; LOPES, J. Desenvolvimento de nova metodologia para aplicação de bioinseticidas no controle de borrachudos (Diptera: Simuliidae) em ribeirões com fluxo de água irregular. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 1017-1030, 2010.

- DUBAL, V. **Ingestão de água de piscina**. Blog Xanadu. 2015. Disponível em: <<http://veterinariaxanadu.com.br/blog/dicas-ideias/ingestao-de-agua-de-piscina/>>. Acesso em: 01/05/2017.
- DUFOUR, A.P.; EVANS, O.; BEHYMER, T.D.; CANTÚ, R. Water ingestion during swimming activities in a pool: a pilot study. **Journal of Water and Health**, v. 4, n. 4, p. 425-430, 2006.
- DURANTE, R. Piscina natural: projetos inspiradores e como criar a sua. **Revista Casa e Jardim**, 2016. Disponível em: <<http://revistacasaejardim.globo.com/Casa-e-Jardim/Paisagismo/noticia/2016/01/piscina-natural-projetos-inspiradores-e-como-criar-sua.html>>. Acesso em: 05/05/2017.
- ESCOSTEGUY, P. A. V.; CERINI, J. B.; GOBBI, D.; GOBI, D.; CECCONELLO, C. M. Extração de nutrientes por macrófitas cultivadas com lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 853-860, 2008.
- EDUARDO, J.; GOMES, J. C. **Limpa, balanceada e saudável**. 2016. Disponível em: <<http://www.anapp.org.br/boletim/limpa?balanceada?e?saudavel/>>. Acesso em: 11/04/2017.
- ENK, M.J.; CALDEIRA, R.L.; CARVALHO, O.S.; SCHALL, V.T. Rural tourism as risk factor for the transmission of schistosomiasis in Minas Gerais, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 99, p.105-108, 2004.
- ERDINGER, L.; KUHN, K. P.; KIRSCH, F.; FELDHUES, R.; FROBEL, T.; NOHYNEK, B.; et al. Pathways of trihalomethane uptake in swimming pools. **International journal of hygiene and environmental health**, v. 207, n. 6, p. 571–575, 2004.
- ESCARTIN, J. L.; ARNEDO, A.; PINTO, V.; VELA, M. J. A. study of dental staining among competitive swimmers. **Community dentistry and oral epidemiology**, v. 28, n. 1, p. 10-17, 2000.
- FERREIRA, B. O. **Estudo da corrosão provocada pelo cloro e procura de materiais alternativos**. 2015. 646 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2015.
- FLL - FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU e. V. **Recommendations for the planning construction and maintenance of private swimming and natural pools**. Versão para download em inglês, 1ª ed., Bonn, 2007.
- _____. Recommendations for planning, servicing and operating of outdoor swimming pools with biological water purification (swimming and bathing ponds). Versão para download em inglês, 2ª ed., Bonn, 2013.

FLORENTIN, A.; HAUTEMANIÈRE, A.; HARTEMANN, P. Health effects of disinfection by-products in chlorinated swimming pools. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 214, n. 6, p. 461–469, 2011.

FIELDS, T. **Swimming Like a European: A Primer for Designing Natural Swimming Pools in the US**. 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura Paisagística) – University of Oregon, Eugene, 2014.

FREIMAN, A.; BARANKIN, B.; ELPERN, D. J. Sports dermatology part 2: swimming and other aquatic sports. **Canadian Medical Association Journal**, v. 171, n. 11, p. 1339-1341, 2004.

GABRIELSEN, M. A. **Swimming Pools; a Guide to their Planning, Design and Operation, Council for National Cooperation in Aquatics**. Fort Lauderdale, 1969.

GARDINIER, S.; GUÉHENNEUX, S.; LATREILLE, J.; GUINOT, C.; TSCHACHLER, E. Variations of skin biophysical properties after recreational swimming. **Skin Research and Technology**, v. 15, n. 4, p. 427-432, 2009.

GIABN – GRUPO IBÉRICO DE ÁGUAS DE BANHO NATURALIZADAS. **Directrizes para instalações de banho com tratamento biológico**. 2013. Disponível em: < http://www.giabn.org/cms/downloads/ca146284-0507-40f3-8a2c-e89c70f4b434/Directrizes%20portugu%C3%AAs%2010_2013.pdf>. Acesso em: 01/05/2017.

GUERREIRO, L. **Dossiê técnico: ETA (estação de tratamento de água) e ETE (estação de tratamento de efluentes)**. REDETEC, Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Rio de Janeiro, 2007.

HABITÍSSIMO. Qual o espaço necessário para fazer um projeto como esse? O que se gastaria em material e mão de obra para essa piscina, que espaço necessita. **Ofertas de orçamento**. 2017. Disponível em: < <https://perguntas.habitissimo.com.br/pergunta/espaco-necessario-para-esse-projeto>>. Acesso em: 01/05/2017.

_____. **Piscinas naturais no seu quintal!**. 2016. Disponível em: <<https://projetos.habitissimo.com.br/projeto/piscinas-naturais-no-seu-quintal>>. Acesso em: 01/05/2017.

HAMZA, I. A.; JURZIK, L.; ÜBERLA, K.; WILHELM, M. Methods to detect infectious human enteric viruses in environmental water samples. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 214, n. 6, p. 424-436, 2011.

HCMA ARCHITECTURE+DESIGN. **Natural swimming pools: The future of public swimming without chlorine**. Vancouver, 2016.

HORNINK, G. G.; KAWAZOE, U.; GALEMBECK, E.; PEREZ, D. **Principais parasitos humanos de transmissão hídrica ou por alimentos**. Universidade Federal de Alfenas e Universidade Estadual de Campinas, 2ª edição, 2013.

HELENIUS, I.; HAAHTELA, T. Allergy and asthma in elite summer sport athletes. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 106, n. 3, p. 444–452, 2000.

HIDROAZUL. **FISPQ – cloro multiação**. Cataguases. 2015. Disponível em: <<http://www.hidroazul.com.br/ManagerHidro/uploads/arquivos/20170215113736184.pdf>>. Acesso em: 25/04/2017.

_____. **Manual de tratamento de piscinas**. Cataguases. 2014. Disponível em: <http://www.cemacon.com.br/pdf/suporte/manual_hidroazul.pdf>. Acesso em: 25/04/2017.

HIDROMAR. **FISPQ – cloro**. Cubatão. 2002. Disponível em <<http://www.higieneocupacional.com.br/download/cloro.doc>>. Acesso em: 25/04/2017.

_____. **FISPQ – cloro**. Cubatão. 2016. Disponível em <<http://www.grupohidromar.com.br/wp-content/themes/hidromar/download/FISPQ-Cloro.pdf>>. Acesso em: 25/04/2017.

IOB - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR NATURAL BATHING WATERS. **Naturally clean water through biological water purification**. Folheto, 2013. Disponível em: < http://www.unserebroschuere.de/IOB_GB/WebView/>. Acesso em: 07/05/2017.

JACOBS, J.H.; SPAAN, S.; VAN ROOY, G.B.; MELIEFSTE, C.; ZAAT, V.A.; ROOYACKERS, J.M.; et al; Exposure to trichloramine and respiratory symptoms in indoor swimming pool workers. **European Respiratory Journal**, v. 29, n. 4, p. 690–698, 2007.

KANAN, A.; KARANFIL, T. Formation of disinfection by-products in indoor swimming pool water: the contribution from filling water natural organic matter and swimmer body fluids. **Water Research**, v. 45, n. 2, p. 926-932, 2011.

KIKEN, D. A.; SILVERBERG, N. B. Atopic dermatitis in children, part 1: epidemiology, clinical features, and complications. **Cutis**, v. 78, n. 4, p. 241-247, 2006.

KING, C. H.; SHOTTS, E. B.; WOOLEY, R. E.; PORTER, K. G. Survival of coliforms and bacterial pathogens within protozoa during chlorination. **Applied and environmental microbiology**, v. 54, n. 12, p. 3023-3033, 1988.

KLARICH, S. **Owners Urged to Take Precautions When Opening Swimming Pools, Hot Tubs for Season to Prevent Contaminating State Waters**. US States News, 2006.

KOGEVINAS, M. ; VILLANUEVA, C. M.; FONT, L. R.; LIVIAC, D.; BUSTAMANTE, M.; ESPINOZA, F.; et al. Genotoxic Effects in Swimmers Exposed to Disinfection By-products in Indoor Swimming Pools. **Environmental Health Perspectives**, v. 118, n.11, p. 1531-1537, 2010.

LA TIMES. **Roof collapses on swimming pools; 12 die.** Disponível em: <http://articles.latimes.com/1985-05-10/news/mn-18105_1_rescue-workers>. Acesso em: 25/04/2017

LAGERKVIST, B. J.; BERNARD, A.; BLOMBERG, A.; BERGSTROM, E.; FORSBERG, B.; HOLMSTROM, K.; et al. Pulmonary epithelial integrity in children: relationship to ambient ozone exposure and swimming pool attendance. **Environmental health perspectives**, p.1768-1771, 2004.

LÉVESQUE, B. ; DUCHESNE, J.F.; GINGRAS, S. ; LAVOIE, R.; PRUD'HOMME, D.; BERNARD, E.; et al. The determinants of prevalence of health complaints among young competitive swimmers. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 80, n. 1, p. 32-39, 2006.

LEWIS- JONES, S. Quality of life and childhood atopic dermatitis: the misery of living with childhood eczema. **International journal of clinical practice**, v. 60, n. 8, p. 984-992, 2006.

LI, J. H.; WANG, Z. H ; ZHU, X. J.; DENG, Z. H.; CAI, C. X.; QIU, L. Q.; et al. Health Effects from Swimming Training in Chlorinated Pools and the Corresponding Metabolic Stress Pathways. **PloS one**, v. 10, n. 3, 2015.

LIAN, L.; E, Y.; LI, J.; BLATCHEY III, E. R. Volatile disinfection byproducts resulting from chlorination of uric acid: implications for swimming pools. **Environmental Science and Technology**, v. 48, p. 3210-3217, 2014.

LIEM, J. D. **Biological Water Purification for indoor swimming pools: towards chlorine-free swimming.** Delft University of Technology, Delft, 2014.

LOPES, F. W. A.; MAGALHÃES JR, A. P.; VON SPERLING, E. Balneabilidade em águas doces no Brasil: riscos à saúde, limitações metodológicas e operacionais. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde – Hygeia**, v. 9, n. 16, p. 28 - 47, 2013.

LYRA, T. M. **Enfrentando epidemia: a dengue no Recife em 2002.** Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2016.

MACEDO, E. **A viabilidade da implantação de piscinas biológicas no brasil.** CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, IX edição, 2013, 1-13.

MAIERÁ, N. **Cloro livre e combinado.** São Paulo. 2014. Disponível em: <<https://http://www.anapp.org.br/boletim/cloro-livre-e-combinado/>>. Acesso em: 22/04/2017.

MASSIN, N.; BOHADANA, A. B.; WILD, P., HERY, M.; TOAMAIN, J. P.; HUBERT, G; Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pools. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 55, n. 4, p.258-263, 1998.

MELNICK, R. L.; NYSKA, A.; FOSTER, P. M.; ROYCROFT, J. H. ; KISSLING, G. E. **Toxicology**, v. 230, p.126–136, 2007.

MERKENS, J. C. Studies on the Toxicity of Chlorine and Chloramines to the Rainbow Trout. **Water & Waste Treatment. Journal**, v.7, n. 150, 1958.

METCALF & EDDY INC. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4^a ed. McGraw-Hill: New York, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Estatísticas de acidentes**. Brasília. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/emergencias-ambientais/estatisticas-de-acidentes>>. Acesso em: 28/04/2017.

MOOD, E. W. Development and application of high-free residual chlorination in the treatment of swimming pool water. **American Journal of Public Health and the Nations Health**, v. 43, n. 10, p. 1258-1264, 1953.

MOURÃO, G. Piscinas biológicas. **Jornadas da Eco-Construção**, 2007.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Cyanogen Chloride (CK)**. The emergency response safety and health database. Atlanta. 2011. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/ershdb/emergencyresponsecard_29750036.html>. Acesso em 30/04/2017.

NELEMANS, P. J.; RAMPEN, F. H. J.; GROENENDAL, H.; KIEMENEY, L. A. L. M.; RULTER, D. J.; VERBEEK, A. L. M. Swimming and the risk of cutaneous melanoma. **Melanoma research**, v. 4, n. 5, p. 281-286, 1994.

NEW YORK TIMES. **Seeking a chemical-free pool**. New York. 1993. Disponível em: <<https://timesmachine.nytimes.com/timesmachine/1993/07/15/666193.html?pageNumber=46>>. Acesso em: 28/04/2017

NIKOLAOU, A.; GOLFINOPOULOS, S.; RIZZO, L.; LOFRANO, G.; LEKKAS, T.; BELGIOMO, V.; **Desalination**, v. 176, p. 25-36, 2005.

NICKMILDER, M.; BERNARD, A. Ecological Association between Childhood Asthma and Availability of Indoor Chlorinated Swimming Pools in Europe. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 64, n. 1, p. 37–46, 2007.

OLDFIELD, J. W. TODD, B. **Room temperature stress corrosion cracking of stainless steels in indoor swimming pool atmospheres**. Stainless steels 91'. Chiba, 1991.

OLSEN, K. Clear waters and a green gas: a history of chlorine as a swimming pool sanitizer in the United States. **Bulletin for the History of Chemicals.**, v. 32, n. 2, p. 129-140, 2007.

PAIXÃO, R. M.; DA SILVA, L. H. B. R.; ANDREOLA, R. A Cloração e a Formação de Trihalometanos. **Iniciação Científica Cesumar**, v. 16, n. 2, 2014.

PARDO, A.; NEVO, K.; VIGISER, D.; LAZAROV, A. The effect of physical and chemical properties of swimming pool water and its close environment on the development of contact dermatitis in hydrotherapists. **American journal of industrial medicine**, v. 50, n. 2, p. 122-126, 2007.

PELCZAR JR, M. J.; CHAN, E.C.S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia – conceitos e aplicações**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, v. 2, 2 ed., 1997.

PEREIRA, D. C. F. **Deteção de subprodutos da desinfecção com cloro em água dessalinizada**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade do Porto, Porto, 2007.

PEREIRA, L. F. **Troca de emails com Luís Felipe Pereira da empresa BIONATARE – Biotecnologia Aquática**. Entre 28/04/2017 e 14/05/2017.

PERKINS, P. H. **Swimming pools**, 3 ed., Elsevier Applied Science, New York, 1989.

PINI. **TCPO - Tabelas de composição de preços para orçamentos**. 14 ed. São Paulo, 2012.

RICHARDSON, S. D.; THRUSTON, A. D., Jr.; CRUMLEY, F. G. **Abstracts of the workshop on pool water chemistry and health**. University of Karlsruhe, Alemanha, 2003.

ROSENBERGER, D. R. **The calculation of acute toxicity of free chlorine and chloramines to coho salmon by multiple regression analysis**. 1971. Dissertação de mestrado – Michigan State University, East Lansing, 1971.

SANT'ANA JR, S. L. **Determinantes do preço de imóveis residenciais na cidade de São Paulo**. 2006. 78 páginas. Dissertação de mestrado – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2006.

SÃO PAULO. Coordenadoria de Controle de Doenças - CCD, Centro de Vigilância Epidemiológica – CVE/CCD, Divisão de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar – DDTHA/CVE, Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo – SES/SP. **Doenças relacionadas à água ou de transmissão hídrica - perguntas e respostas e dados estatísticos**. 2009. Disponível em: <ftp://ftp.cve.saude.sp.gov.br/doc_tec/hidrica/doc/dta09_pergresp.pdf>. Acesso em: 11/05/2017.

SÃO PAULO. Sistema Ambiental Paulista, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Crterios para classificação das praias**. Ano indeterminado. Disponível em: <<http://praias.cetesb.sp.gov.br/criterios-para-classificacao-das-praias/>>. Acesso em: 11/05/2017.

SCHWARZER, U. Troca de emails com Udo Schwarzer – presidente da IOB, membro da GIABN e diretor da Biopiscinas Portugal. Entre: 16/05/2017 e 29/05/2017.

TATE, C. H.; ARNOLD, K. F. Health and aesthetic aspects of water quality. **Water Quality and Treatment: a handbook of community water supplies**, c. 2, p. 63-154, McGraw-Hill, 4^a ed., New York, 1990.

THICKETT, K. M.; MCCOACH, J. S.; GERBER, J. M.; SADHRA, S.; BURGE, P. S. Occupational asthma caused by chloramines in indoor swimming-pool air. **European Respiratory Journal**, v. 19, n. 5, p. 827-832, 2002.

VARRASO, R.; MASSIN, N.; HERY, M.; FRADIER-DUSCH, M.; MICHAELY, J. P.; FOURNIER, M.; et al. Not only training but also exposure to chlorinated compounds generates a response to oxidative stimuli in swimmers. **Toxicology and industrial health**, v. 18, n. 6, p. 269-78, 2002.

VILLANUEVA, C. M.; CANTOR, K. P.; GRIMALT, J. O.; MALATS, N.; SILVERMAN, D.; TARDOM, A.; et al. Bladder Cancer and Exposure to Water Disinfection By-Products through Ingestion , Bathing , Showering , and Swimming in Pools. **American Journal of Epidemiology**, v. 165, n. 2, p. 148-156, 2007.

VOISIN, C.; SARDELLA, A.; MARCUCCI, F.; BERNARD, A. Infant swimming in chlorinated pools and the risks of bronchiolitis, asthma and allergy. **European Respiratory Journal**, v. 36, n. 1, p. 41-47, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. (2. reimpr.) Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996 (reimpr. 1998). v. I.

VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. **Science of the Total Environment**, v. 380, p. 48-65, 2007.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 1993.

WILTSE, J. **Contested Waters: A social history of swimming pools in America**. University of North Carolina, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for safe recreational water environments**. V. 2, Geneva, 2006.

ZARZOSO, M.; LLANA, S.; SORIANO, P. P.; Potential negative effects of chlorinated swimming pool attendance on health of swimmers and associated staff. **Biology of Sport**, v. 27, p. 233-240, 2010.

ZERO HORA. **Operário morto em fábrica de Nova Santa Rita inalou gás cloro em vazamento**. Disponível em:

<<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2011/01/operario-morto-em-fabrica-de-nova-santa-rita-inalou-gas-cloro-em-vazamento-3165585.html>>. Acesso em: 28/04/2017.

ZWEINER, C.; RICHARDSON, S. D.; DE MARINI, D. M.; GRUMMT, T.; GLAUNER, T.; FRIMMEL, F. H. Drowning in disinfection byproducts? Assessing

swimming pool water. **Environmental Science and Technology**, v. 41, n. 2, p. 363-372, 2007.

**ANEXO A – Padrões de qualidade de água para águas Classe 1
segundo a Resolução 274 do Conama**

Tabela 8 – Padrões de qualidade para águas Classe 1

II - Padrões de qualidade de água:

TABELA 1 - CLASSE 1 - AGUAS DOÇES	
PADROES	
PARAMETROS	VALOR MAXIMO
Clorofila <i>a</i>	10 µg/L
Densidade de cianobactérias	20.000 cel/mL ou 2 mm ³ /L
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
PARAMETROS INORGANICOS	VALOR MAXIMO
Alumínio dissolvido	0,1 mg/L Al
Antimônio	0,005mg/L Sb
Arsênio total	0,01 mg/L As
Bário total	0,7 mg/L Ba
Berílio total	0,04 mg/L Be
Boro total	0,5 mg/L B
Cádmio total	0,001 mg/L Cd
Chumbo total	0,01mg/L Pb
Cianeto livre	0,005 mg/L CN
Cloreto total	250 mg/L Cl
Cloro residual total (combinado + livre)	0,01 mg/L Cl
Cobalto total	0,05 mg/L Co
Cobre dissolvido	0,009 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido	0,3 mg/L Fe
Fluoreto total	1,4 mg/L F
Fósforo total (ambiente lântico)	0,020 mg/L P
Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico)	0,025 mg/L P
Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,1 mg/L P
Lítio total	2,5 mg/L Li
Manganês total	0,1 mg/L Mn
Mercurio total	0,0002 mg/L Hg
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Nitrato	10,0 mg/L N
Nitrato	1,0 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5
Prata total	0,01 mg/L Ag
Selênio total	0,01 mg/L Se
Sulfato total	250 mg/L SO ₄
Sulfeto (H ₂ S não dissociado)	0,002 mg/L S
Urânio total	0,02 mg/L U
Vanádio total	0,1 mg/L V
Zinco total	0,18 mg/L Zn
PARAMETROS ORGANICOS	VALOR MAXIMO
Acetilamida	0,5 µg/L
Alacloro	20 µg/L
Aldrin + Dieldrin	0,005 µg/L
Atrazina	2 µg/L
Benzeno	0,005 mg/L
Benzidina	0,001 µg/L
Benzo(a)antraceno	0,05 µg/L
Benzo(a)pireno	0,05 µg/L
Benzo(b)fluoranteno	0,05 µg/L
Benzo(k)fluoranteno	0,05 µg/L
Carbaryl	0,02 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,04 µg/L
2-Clorofenol	0,1 µg/L
Criseno	0,05 µg/L
2,4-D	4,0 µg/L
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	0,1 µg/L
Dibenzo(a,h)antraceno	0,05 µg/L
1,2-Dicloroetano	0,01 mg/L

(fonte: BRASIL, 2005)

ANEXO B – Composição de custos de execução de piscina

Quadro 7 – TCPO para estrutura e tanque da piscina

17		PISCINA	
17.1.1	02315.8.1.9	Escavação manual de vala em solo de 1ª categoria (profundidade: até 2 m)	m³
17.1.2	02315.8.8.2	Apiloamento de fundo de vala com maço de 30 kg	m²
17.1.3	02710.8.6.1	Lastro de concreto (contrapiso), incluindo preparo e lançamento	m³
17.1.4	02315.8.7.2	Reaterro manual de vala	m³
17.1.5	03110.8.2.1	Fôrma com chapa compensada plastificada, e = 12 mm, para pilares/vigas/lajes, incluso contraventamentos/travamentos com pontaletes 7,5 cm x 7,5 cm	m²
17.1.6	03210.8.1.3	Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50, diâmetro 8,0 mm, corte e dobra na obra	kg
17.1.7	03210.8.1.6	Armadura de aço para estruturas em geral, CA-60, diâmetro 5,0 mm, corte e dobra na obra	kg
17.1.8	07120.8.1.3	Impermeabilização de reservatório enterrado, superfície interna/externa do reservatório, com quatro camadas de argamassa e duas demãos de tinta betuminosa	m²
17.1.9	09405.8.1.1	Regularização sarrafeada de base para revestimento de piso com argamassa de cimento e areia peneirada traço 1:3, e = 3 cm	m²
17.1.10	09705.8.12.4	Chapisco para parede interna ou externa com argamassa de cimento e areia sem peneirar traço 1:3, e = 5 mm	m²
17.1.11	09705.8.2.14	Emboço para parede interna com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:2:9, e = 20 mm	m²
17.1.12	09706.8.1.8	Azulejo assentado com argamassa pré-fabricada de cimento colante, juntas em amarração	m²
17.1.13	03310.8.2.4	Concreto estrutural dosado em central, f_{ck} 18 MPa	m³
17.1.14	03310.8.13.1	Transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em estrutura	m³

Quadro 8 – TCPO para bomba

13.002.SER.01 até 08 CONJUNTO elevatório motor-bomba centrífuga de 1/3 a 10 hp - unidade: un

CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
01.031.000005.MOD	Ajudante de encanador	h	8,00
01.0310.000001.MOD	Encanador	h	8,00
01.002...104	Conjunto motor-bomba - centrífuga trifásica para recalque de água	un	1,00

Quadro 9 – TCPO para tubos e conexões em PVC

13.007.000094.SER TUBO de PVC soldável, inclusive conexões Ø 50 mm - unidade: m

CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS		
			MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
01.001.000005.MOD	Ajudante de encanador	h	0,384	0,590	0,795
01.010.000001.MOD	Encanador	h	0,384	0,590	0,795
14.001.000471.MAT	Solução limpadora para PVC	l	0,001	0,001	0,001
14.001.000509.MAT	Tubo PVC marrom soldável (diâmetro 50 mm)	m	1,05	1,15	1,25
14.001.000564.MAT	Adesivo para tubo de PVC	kg	0,001	0,001	0,001

²⁵ Quadros 8, 9 e 10 – Fonte: PINI, 2012.

ANEXO C – Lista de DBP identificados em piscinas tratadas com cloro e outros agentes químicos

O quadro abaixo lista os DBP que podem ser encontrados em piscinas. Um dos estudos consultados sugere que alguns tipos de THM não foram detectados devido à volatilização das substâncias pelo fato das medições terem ocorrido durante o verão em piscinas externas (RICHARDSON et al., 2003)

Quadro 10 – Lista de DBP encontrados em piscinas

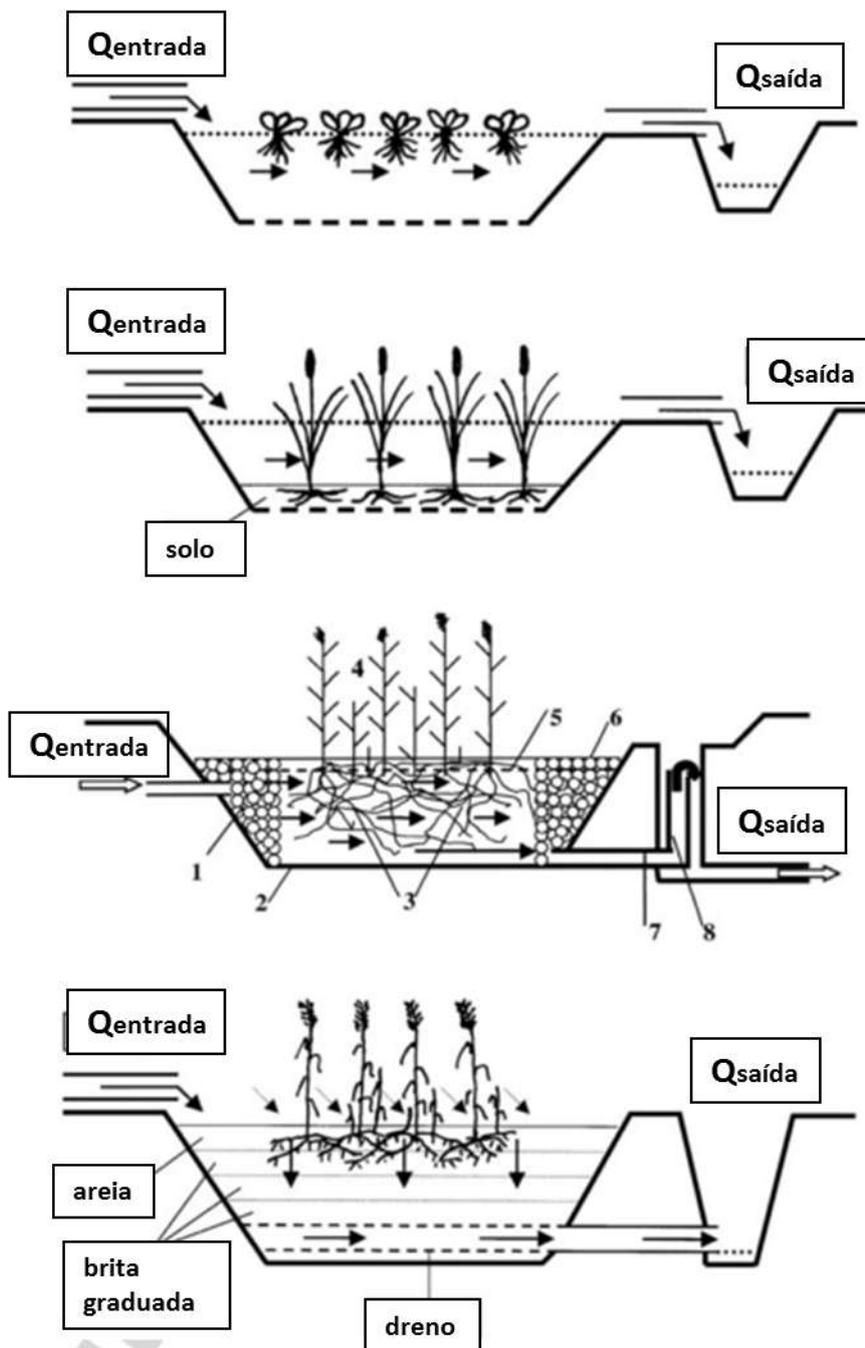
Agente químico	DBP
Cloro/Hipoclorito	trihalometanos
	ácidos haloacéticos
	ácidos dicloroacéticos
	ácidos tricloroacéticos
	ácido 2-cloro-2-metilpropanóico
	ácido 2,2-dicloropropanóico
	ácido 5,5-dicloro-4-oxopentanóico
	ácido 5,5,5-tricloro-4-oxopentanóico
	isômero do ácido 5,5,5-tricloro-4-oxopentanóico
	ácido 2-clorobutenodióico
	ácido 2,3-diclorobutanodióico
	ácido 2,2-diclorobutanodióico
	haloacetnitrilos
	halocetonas
	1,3-dicloropropanona
	1,1,1-tricloropropanona
	1,1,3-tricloropropanona
	1,1,3,3-tetracloropropanona
	1,1,1,3-tetracloropropanona
	1,1,1,3,3-pentacloropropanona
	tricloroacetaldeído
	triclornitrometano
	cloro cianogênio
	clorato
	cloramias
	diclorometil sulfona
	Ozônio
aldeídos	
cetonas	
cetoácidos	
ácidos carboxílicos	
bromofórmio	
Dióxido de cloro	clorito
	clorato
Bromo/hipoclorito	trihalometanos (principalmente bromofórmio)
	ácido dibromoacético
BCDMH	hidrato de bromo
	bromato
	bromamias

(fonte: adaptado de ZWEINER et al., 2007 *apud* Richardson et al., 2003; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006, tradução nossa)

ANEXO D – Modelos esquemáticos de banhados construídos

Descrição dos modelos em ordem decrescente: banhado com plantas de flutuação livre, banhado com superfície da água livre e macrófitas emergentes, banhado com fluxo horizontal sub-superficial e banhado com fluxo sub-superficial.

Figura 21 – Modelos de banhados construídos

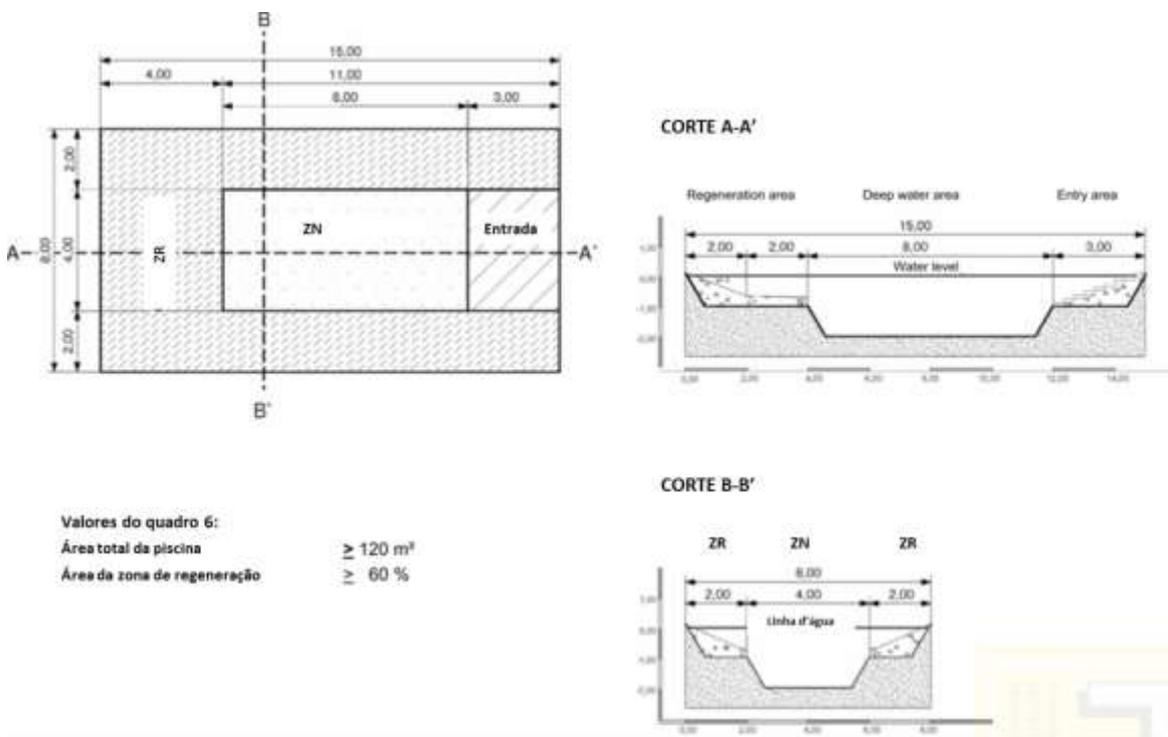


(fonte: VYMAZAL, 2007, tradução nossa)

ANEXO E – Plantas esquemáticas das 5 topologias de piscina da FLL

Tipo I – Área única sem equipamentos.

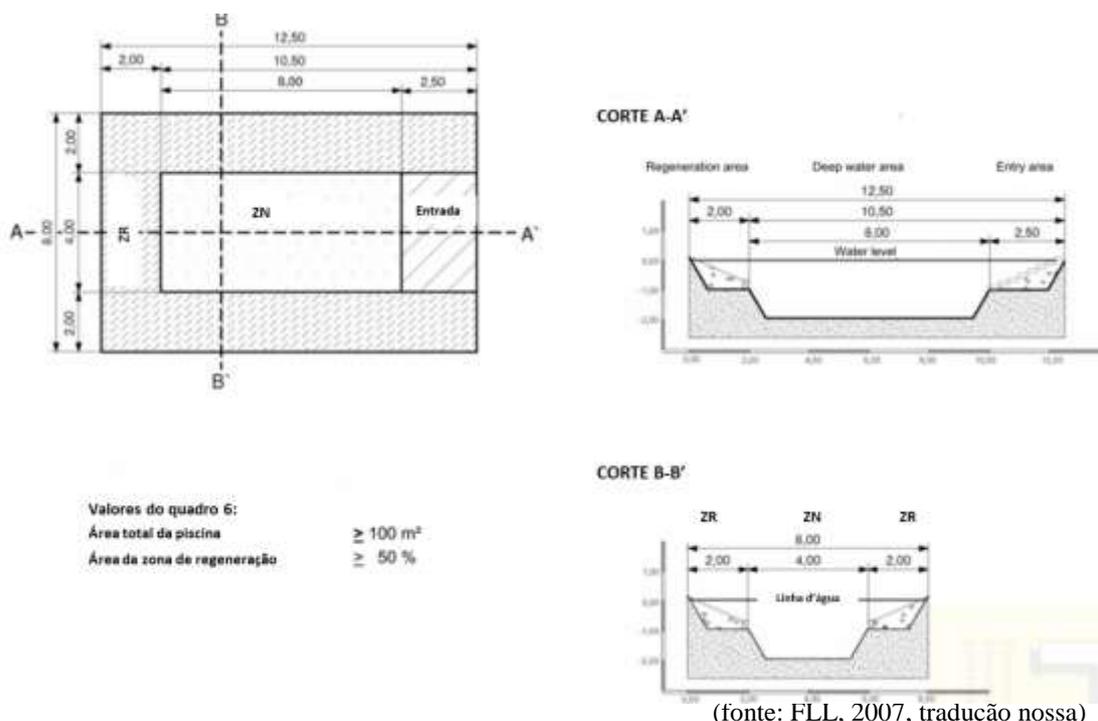
Figura 22 – Topologia I



(fonte: FLL, 2007, tradução nossa)

Tipo II – Área única com equipamentos de fluxo superficial.

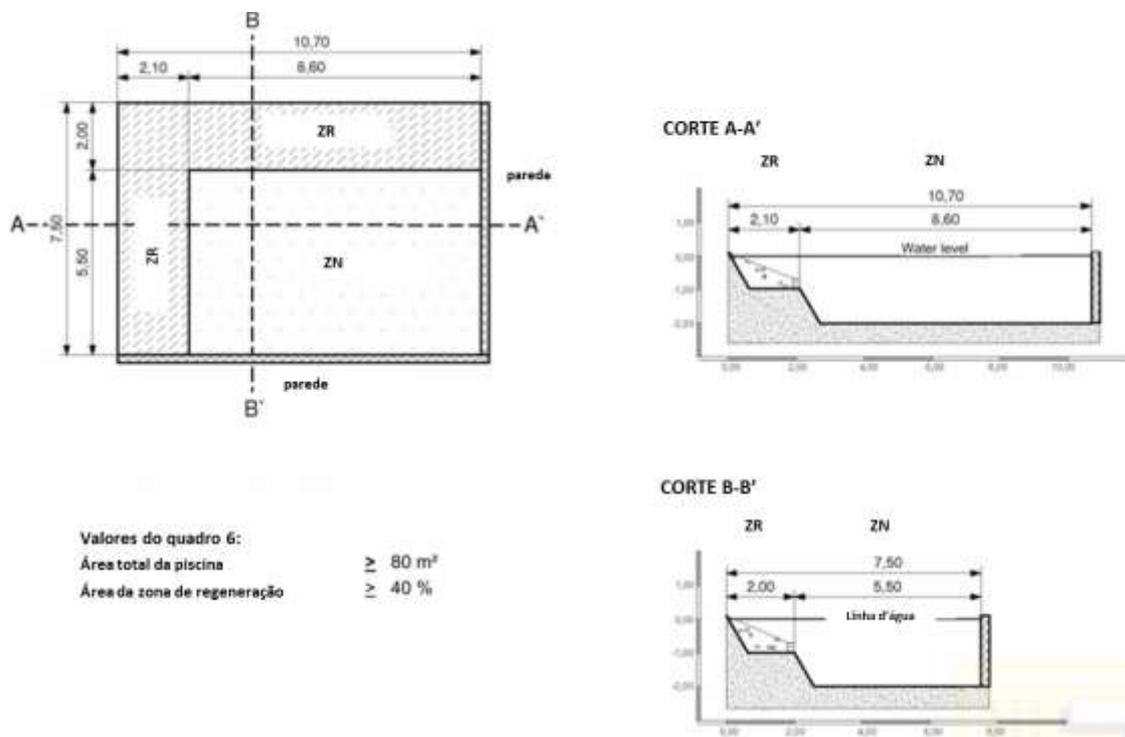
Figura 93 – Topologia II



(fonte: FLL, 2007, tradução nossa)

Tipo IIIa – Área única com fluxo controlado através da zona de regeneração.

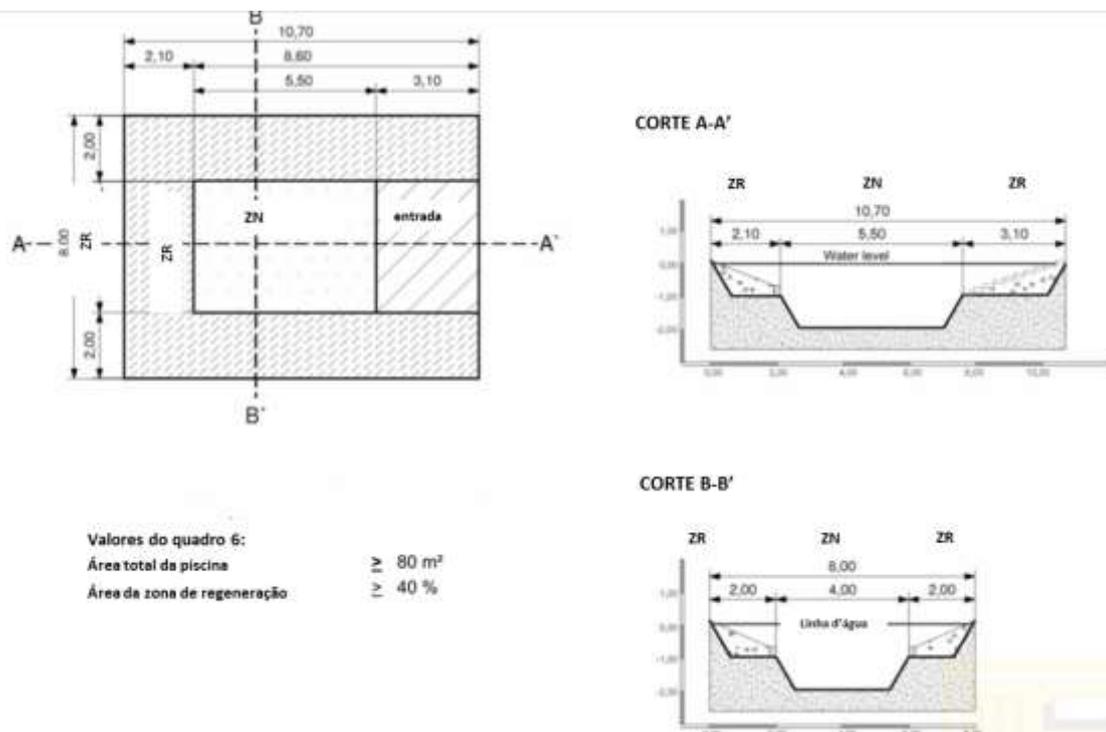
Figura 24 – Topologia IIIa



(fonte: FLL, 2007, tradução nossa)

Tipo IIIb – Área única com fluxo controlado através da zona de regeneração.

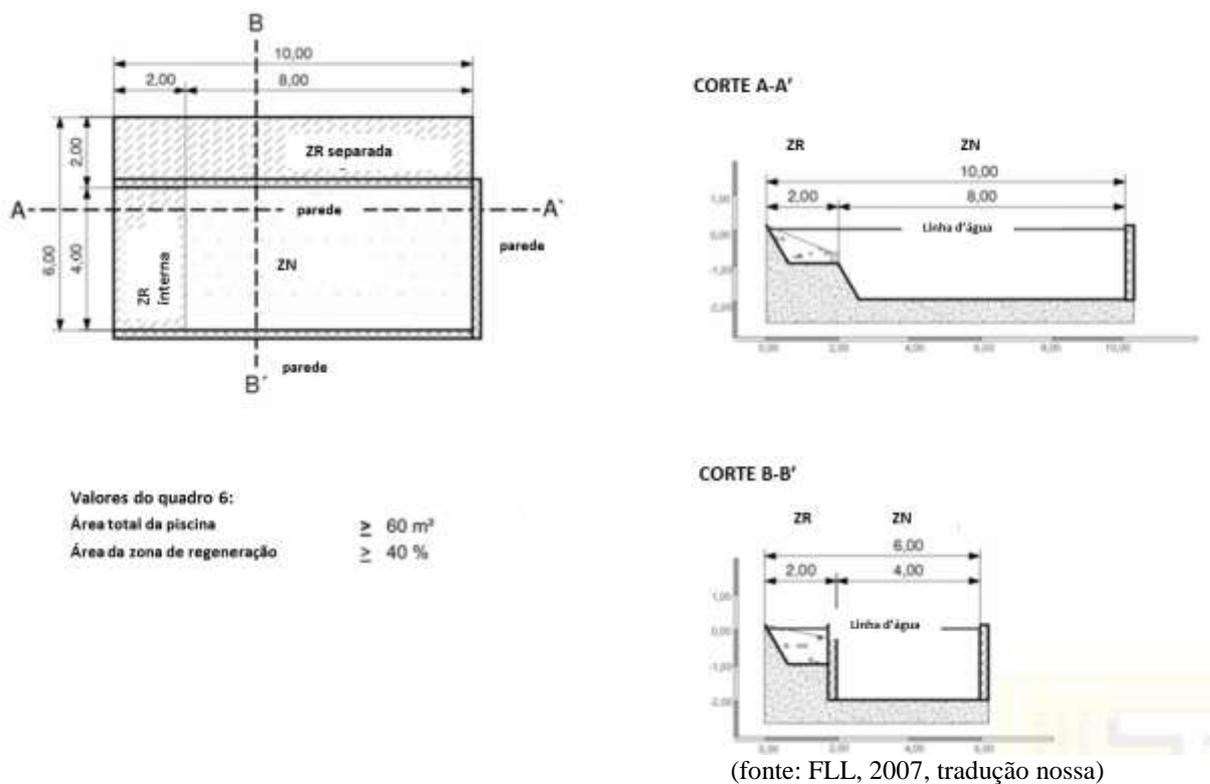
Figura 25 – Topologia IIIb



(fonte: FLL, 2007, tradução nossa)

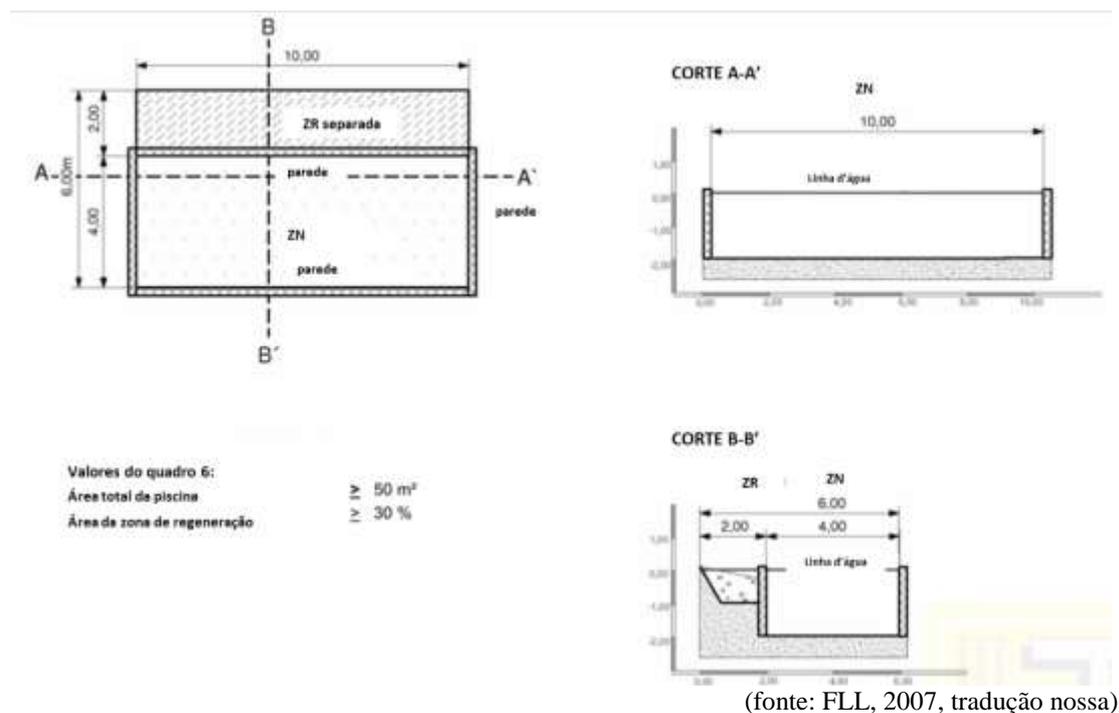
Tipo IV – Área múltipla com fluxo controlado através de uma zona de regeneração parcialmente separada.

Figura 26 – Topologia IV



Tipo V – Área única com fluxo controlado através da zona de regeneração

Figura 27 – Topologia V



ANEXO F – Requisitos técnico-estruturais dos sistemas de depuração

Tabela 1 – Requisitos técnico-estruturais dos sistemas de depuração

Processo depurativo	Sistema Hidrobiológico			Banhados construídos			Filtro de granulometria variada sem plantas		
	Submerso	Emerso	Fluxo vertical, inundado ou não inundado	Fluxo horizontal	Filtro multicamada, fluxo vertical, sempre completamente submerso	Filtro multicamada, fluxo vertical, não submerso	Filtro multicamada, fluxo horizontal	Filtro camada única, fluxo vertical, sempre completamente submerso	Filtro camada única, fluxo vertical, não submerso
Atributos	2	3	4	5	6	7	8	9	10
No.	1	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Estrutura	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Altura da coluna d'água	≥ 80 cm	10 - 50 cm	-	≥ 100 cm	-	≥ 80 cm	≥ 100 cm	10 cm - 50 cm
3	Espessura da camada de substrato	10 - 20 cm	10 - 30 cm	A inclinação deve possuir um declive que dependa do volume de entrada, a água possa ser drenada sem remanso quando o filtro estiver em operação	Verificação individual Sem informações adicionais	A inclinação deve possuir um declive que, dependendo do volume de entrada, a água possa ser drenada sem remanso quando o filtro estiver em operação	Verificação individual Sem informações adicionais	A inclinação deve possuir um declive que, dependendo do volume de entrada, a água possa ser drenada sem remanso quando o filtro estiver em operação	-
4	Declive ao nível do filtro	-	-	-	1 m : 2 m	1 m : 1 m	1 m : 2 m	1 m : 1 m	1 m : 2 m
5	Razo de profundidade de enchimento da camada filtrante para distância horizontal dos drenos	-	-	-	1 m : 2 m	1 m : 1 m	1 m : 2 m	1 m : 1 m	1 m : 2 m
6	Materiais	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Faixa do tamanho de grão	≤ 8 mm	-	-	-	-	-	-	-
8	Grão mais fino	-	1 - 16 mm	-	1 - 16 mm	-	1 - 16 mm	2 - 11 mm	-
9	Proporção de componentes finos	-	≤ 10 %	-	≤ 10 %	-	≤ 10 %	≤ 10 %	-
10	Resistência ao congelamento	-	≤ 5 %	-	≤ 5 %	-	≤ 5 %	≤ 5 %	-
11	Compatibilidade da planta ao substrato	-	Obrigatório	-	Obrigatório	-	Obrigatório	Obrigatório	-
12	Tolerâncias	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Tolerância de espessura de camada	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Plano horizontal	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Configuração máxima após 1 ano de operação	-	-	95 %, maiores configurações devem ser contrabalancadas	Verificação individual Sem informações adicionais	10 % de desvio	Verificação individual Sem informações adicionais	≤ 5 cm ao longo de 4 m de haste	≤ 5 cm ao longo de 4 m de haste
16	Parâmetros	-	-	-	-	-	-	-	-
17	k_f [m/s]	-	≤ 10 ⁻⁴	-	-	2. 10 ⁻⁴	-	≥ 10 ⁻⁴	-
18	Relação C/N/P	106/16/7	-	-	-	-	-	-	-
19	Entrada Q _{in}	5 m ³ /(m ² x dia)	5 m ³ /(m ² x dia)	3 m ³ /(m ² x dia)	Verificação individual Sem informações adicionais	8 m ³ /(m ² x dia)	Verificação individual Sem informações adicionais	5 m ³ /(m ² x dia)	10 m ³ /(m ² x dia)
20	Taxa de eliminação de sólidos	0,4	0,3	0,2	-	0,2	-	0,15	0,2
21	Taxa de eliminação de E. coli	0,1	0,1	0,9	-	0,85	-	0,85	0,9

A curva de distribuição de grãos do substrato deve ser tal que a permeabilidade especificada (parâmetro k_f) seja alcançada com o intervalo de tamanho de grão especificado. Se o tamanho do grão não estiver dentro do intervalo indicado, deve ter certeza de que o valor do k_f é sempre cumprido e a estabilidade do filtro é assegurada.

(fonte: adaptado de FLL, 2013, tradução nossa)

ANEXO G – Equacionamento da perda de água por evaporação

Segundo a FLL (2007), o termo taxa de evaporação significa a quantidade de água de um corpo d'água que evapora em um determinado período de tempo. Os fatores que influenciam a evaporação são: velocidade do vento, umidade relativa do ar, movimentação da água e temperatura da água. Especificamente, o parâmetro de temperatura de água, é influenciado pelos seguintes fatores: temperatura do ar, profundidade do corpo d'água, condições de fluxo, forma e extensão da superfície de água e nível de substâncias dissolvidas na água. O equacionamento para obtenção da taxa de evaporação é (FLL, 2007, tradução nossa):

$$E_A = f(v) * [pS(T_{SA}) - p_v] \quad (\text{fórmula 3})$$

onde:

E_A = evaporação da superfície da água em mm/dia

$f(v)$ = função da velocidade do vento

$pS(T_{SA})$ = pressão de saturação da temperatura da superfície da água em hPa

p_v = pressão de vapor do ar em hPa.

ANEXO H – Cálculos de dimensionamento do caso piscina coletiva

Dados de entrada para dimensionamento da zona de regeneração do caso piscina residencial coletiva, ocupando a área abaixo do deck da esquerda:

$$Q_e = 12 \text{ L/m}^2 \text{ por dia} \times 48 \text{ m}^2 = 576 \text{ L/d ou } 0,576 \text{ m}^3/\text{d} \text{ (valor baseado em 4.1.4, p.68).}$$

$$V_p = 64.800 \text{ L} = 64,8 \text{ m}^3$$

$$A_p = 48 \text{ m}^2$$

$$Q_{zoo \text{ máx}} = 0,04 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{dia})$$

dep-1 = filtro multicamada, fluxo vertical, não inundado

$$A_{\text{dep-1}} = 40 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{dep-1 máx}} = 8 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{dia})$$

$$Eli_{\text{dep-1}(E. coli)} = 0,9$$

$$Eli_{\text{dep-1}(P_{\text{total}})} = 0,2$$

$$CQ_{\text{não-diluído } E. coli} = 0$$

$$CQ_{\text{não-diluído } P_{\text{total}}} = 10 \text{ mg/m}^3$$

$$C0_{E. coli} = 500.000 \text{ UFC/m}^3$$

$$C0_{P_{\text{total}}} = 20 \text{ mg/m}^3$$

$$CB_{E. coli} = 120.000 \text{ UFC/banhista}$$

$$CB_{P_{\text{total}}} = 74 \text{ mg/banhista}$$

Cálculo do número de visitantes levando em consideração a capacidade de depuração para o parâmetro *E. coli*:

$$Q_{zoo} = Q_{zoo \text{ máx}} * V_p = 0,04 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{dia}) * 64,8 \text{ m}^3 = 2,592 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{\text{dep-1}} = Q_{\text{dep-1 máx}} * A_{\text{dep-1}} = 8 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{dia}) * 40 \text{ m}^2 = 320 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Aplicando os valores na fórmula 2:

$$\exp = \left[\left(\frac{Q_{zoo}}{V_p} * Eli_{zoo} * \frac{T_{red,zoo}}{24} \right) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_{\text{dep-}i}}{V_p} * Eli_{\text{dep}(i)} * \frac{T_{red,dep}}{24} \right) \right] * (-1)$$

$$\exp = \left[\left(\frac{2,592}{64,8} * 1 * \frac{3}{24} \right) + \left(\frac{320}{64,8} * 0,9 * \frac{3}{24} \right) \right] * (-1)$$

$$\exp = (0,005 + 0,555556)*(-1) = - \mathbf{0,560556}$$

Aplicando os dados de entrada e o valor de exp na fórmula 1, tem-se:

$$n_B = \left(\frac{C_0}{e^{exp}} - C_0 - \frac{C_Q \text{ não-diluído} * Qe}{Vp} \right) * \left(\frac{Vp}{c_B} \right)$$

$$n_B = \left(\frac{500.000}{e^{-0,560556}} - 500.000 - \frac{0*0,576}{64,8} \right) * \left(\frac{64,8}{120.000} \right)$$

$n_B = 202,94 \approx 203^{26}$ **banhistas/dia** ou **17 banhistas/h** operando por 12h.

Cálculo do número de visitantes levando em consideração a capacidade de depuração para o parâmetro P_{total} , aplicando na fórmula 2:

$$exp = \left[\left(\frac{2,592}{64,8} * 0,01 * \frac{48}{24} \right) + \left(\frac{320}{64,8} * 0,2 * \frac{48}{24} \right) \right] * (-1)$$

$$exp = (0,0008 + 1,97531) * (-1) = - 1,97611$$

Aplicando os dados de entrada e o valor de exp na fórmula 1, tem-se:

$$n_B = \left(\frac{20}{e^{-1,97611}} - 20 - \frac{10*20}{64,8} \right) * \left(\frac{64,8}{74} \right)$$

$n_B = 106,137 \approx 106$ **banhistas/dia** ou **9 banhistas/h** operando por 12h.

Finalmente, pela segurança do sistema, adota-se o menor n_B . Logo **$n_B = 106$ banhistas por dia.**

Dimensionando para uma maior zona de regeneração, desta vez considerando as áreas de deck da direita e da esquerda, totalizando $A_{dep-1} + A_{dep-2} = 40 + 25 = 65 \text{ m}^2$. O

²⁶Diferentemente de dimensionamentos de outras áreas de engenharia, este arredondamento foi feito para o número inteiro mais próximo, conforme demonstrações de cálculo no manual (FLL, 2013). Deveria sempre ser arredondado para o menor número inteiro para assegurar a segurança do sistema. Neste caso, seria 202.

cálculo pode ser realizado considerando apenas uma área de depuração, já que o equacionamento da fórmula 2 permite isolar o termo Q_{dep-i} e fazer multiplicação distributiva dos termos. Isto retornará os valores de \exp : -0,907778 e -3,21068; e os valores de n_B de 400 banhistas/dia e 414 banhistas/dia, para *E. coli* e P_{total} respectivamente. Adotando-se o menor n_B , chega-se ao valor de **$n_B = 400$ banhistas por dia**.