



PAULA DE CASTRO TEIXEIRA

**QUALIDADE DA ÁGUA DRENADA POR COBERTURAS
VERDES PARA FINS DE APROVEITAMENTO EM
EDIFÍCIOS**

**CAMPINAS
2013**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

PAULA DE CASTRO TEIXEIRA

**QUALIDADE DA ÁGUA DRENADA POR COBERTURAS
VERDES PARA FINS DE APROVEITAMENTO EM
EDIFÍCIOS**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marina Sangoi de Oliveira Ilha

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Arquitetura e Construção.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA PAULA DE CASTRO TEIXEIRA E ORIENTADA PELA PROF^a. DR^a. MARINA SANGOI DE OLIVEIRA ILHA

ASSINATURA DA ORIENTADORA

CAMPINAS
2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

T345q Teixeira, Paula de Castro, 1983-
Qualidade da água drenada por coberturas verdes para fins de aproveitamento em edifício / Paula de Castro Teixeira. --Campinas, SP: [s.n.], 2013.

Orientador: Marina Sangoi de Oliveira Ilha.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Água - Qualidade. 2. Cobertura verde (Jardinagem). 3. Água - Uso - Aspectos ambientais.
I. Ilha, Marina Sangoi de Oliveira, 1963-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Rainwater harvested from green roofs: water quality for non potable uses

Palavras-chave em Inglês: Water quality, Green roof, Water - Use - Environmental aspects

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestra em Engenharia Civil

Banca examinadora: Edson Abdoul Nour, Miguel Aloysio Sattler

Data da defesa: 22-02-2013

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

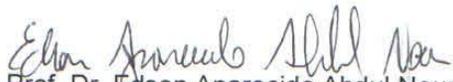
**Qualidade da Água Drenada por Coberturas Verdes para Fins de
Aproveitamento em Edifícios**

Paula de Castro Teixeira

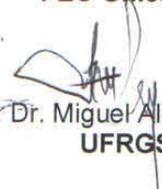
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Profa. Dra. Marina Sangoi de Oliveira Ilha
Presidente e Orientadora/FEC-Unicamp**



**Prof. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour
FEC-Unicamp**



**Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler
UFRGS**

Campinas, 22 de fevereiro de 2013

*Dedico este trabalho à minha mãe e à minha irmã,
pelo amor incondicional, por acreditarem no meu potencial,
e por me apoiarem na busca dos meus sonhos.
Amo vocês.*

Agradecimentos

À professora e orientadora Marina Sangoi de Oliveira Ilha, pelos ensinamentos, pela orientação e por ter confiado a mim este tema. Obrigada pela participação no meu desenvolvimento profissional.

Ao professor Edson Abdoul Nour, por ter me apresentado o mundo da qualidade da água e todos os ensinamentos nele envolvidos.

Aos professores que me ajudaram nesta caminhada: Miriam Gonçalves Miguel, pelas diretrizes e instruções na área de solos, Mara de Andrade Marinho, pela contribuição nas análises de comportamento do solo e vegetação e ao professor Antonio Carlos Zuffo pelas considerações realizadas na qualificação. Ao professor Miguel Sattler pelas contribuições oferecidas na defesa.

Aos professores Ricardo Prado Abreu Reis e à Valéria Jardim, pela paciência, ensinamentos, e além de tudo, pela amizade. Vocês foram, em muitos momentos difíceis, meu acalento e força em Campinas. Que toda a bondade de vocês retorne em muitas alegrias nas suas vidas.

A todos do Laboratório de Saneamento, técnicos, bolsistas, mestrandos e doutorandos, por me receberem de portas abertas. À Ligia, pelos ensinamentos dentro do laboratório e por quebrar a cabeça comigo nas análises a cada coleta, sua ajuda foi imprescindível para obtenção dos dados de qualidade de água. Ao Enelton e Fernando, pelas teorias na área de química e microbiologia, e pelas discussões sobre meu tema.

Aos amigos e companheiros de Lepsis. Ao grande amigo Marcus por visualizar em mim um potencial desde o início, ao Sérgio pelo imenso carinho, à Carol, Jorge, Patrícia, Heber, Laís, Marília e todos os outros companheiros de estudos.

Agradeço também à minha família. À minha mãe e à minha irmã, por constituírem parte muito importante na minha vida: minha fortaleza e meu exemplo de superação. Ao meu pai pelos ensinamentos de vida, de dentro do meu coração, você esteve e estará presente em todos os momentos.

À minha avó, tios e tias, primos e primas, de BH e Pouso Alegre, sempre ao meu lado dando carinho e conselhos. À Barbara Rocha, por ser, além de prima, uma referência profissional nesta jornada. E à Juana e Mari, por dividir uma mesma paixão (CAM). Tião, tio Pedro e Mari, pela correção e leitura dos textos.

Ao Clément pelo amor, apoio e suporte no ano de 2012, um período de grandes dificuldades vencido com muito orgulho. Je t'aime.

Aos meus amigos maravilhosos de Belo Horizonte, Cá, Nat, Paula, Dinho, Mika, Manu7, Tici, Andrea, Juju, Ló e Sarita, ao mesmo tempo tão longe e tão perto. Agradeço por cada conversa, por cada palavra de incentivo, pelo carinho e confiança.

Aos amigos de Campinas, pelo companheirismo no simples contato diário, no ballet, no tecido acrobático e nas diversões. Em especial, à Dona Namiko, Sr. Ishida e meninas da pensão, Maíra, Cybele, Vivi, Mari, Ju, Carol e Pat, pelos cuidados, pessoais e acadêmicos. Aos queridos Lu e Rui pela atenção e carinho. À Rê e Fernanda por me receberem tão bem em 2010.

À Maria Teresa Paulino Aguilar e Silvio Romero por terem me iniciado no universo da pesquisa e por terem me introduzido à ética e valores no universo da pesquisa.

À Capes pelo auxílio através do fornecimento de bolsa de auxílio à pesquisa e CNPq pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

Agradeço a todos que fizeram parte desta caminhada e espero que o simbolismo destas palavras consiga representar todo o sentimento envolvido.

*Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.*
Madre Teresa de Calcuta

Resumo

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar a qualidade da água drenada por coberturas verdes comparativamente à água escoada por uma cobertura convencional e à água coletada diretamente da atmosfera. Para tanto, foram efetuadas sete coletas de amostras da água drenada por oito coberturas verdes e por uma cobertura cerâmica, todas instaladas em células-teste. Para a análise dos dados, foi empregado o método não paramétrico de Mann-Whitney, com grau de significância de 0,05. Quando analisadas as diferentes coberturas verdes entre si, verifica-se que não existiram diferenças significativas entre os parâmetros físicos e químicos investigados. Além disso, dentre os parâmetros de qualidade de água constantes na normalização brasileira, apenas os valores do pH e da turbidez resultaram inferiores aos valores limites estabelecidos nessa documentação. No caso da cobertura convencional, apenas a cor aparente e os parâmetros microbiológicos não atenderam aos limites estabelecidos. Assim, a água drenada de coberturas verdes deve sofrer tratamento antes do seu uso, porém, verifica-se que não há necessidades diferenciadas de tratamento em relação à água coletada pela cobertura convencional, considerando-se as exigências para a água não potável dos documentos consultados. Em geral, houve melhoria dos parâmetros de qualidade com a idade das coberturas verdes e, a partir disso, propõe-se que o aproveitamento da água ocorra após um período de tempo desde a sua instalação. Por fim, é feita uma proposta de alteração dos parâmetros de qualidade constantes na normalização, de forma a também contemplar a análise da água drenada por coberturas verdes.

Palavras-Chave: *qualidade da água, coberturas verdes, aproveitamento de água de chuva*

Abstract

The main objective of this research is to assess the quality of water drained by green roofs compared to water drained by a conventional roof and also water collected directly from the atmosphere. Thus, seven samples were collected from water drained by eight different green roofs and a ceramic cover, all installed in test cells. For data analysis, the method used was the nonparametric Mann-Whitney test, at significance level of 0.05. When the different green roofs were assessed from each other, it seems there were no significant differences among the physical and chemical parameters investigated. Moreover, among the parameters listed in Brazilian standards, only pH and turbidity values resulted lower than the limit values established in this documentation. In the case of conventional roof, only the apparent color and microbiological parameters did not meet the established limits. Thus, water drained from green roofs must undergo treatment before use, however, it does not appear to need different treatment of the water collected from conventional coverage, given the requirements for non-potable water documents consulted. In a general way, there was improvement of water quality parameters as green roofs age, and from this, it is proposed that the use of water occurs after a period of time since its installation. Finally, there is a proposal to amend the quality parameters listed in standardization, in order to also include the analysis of water drained by green roofs.

Key words: *water quality, Green roofs, Rainwater harvesting*

Lista de Figuras

Figura 1.1– Ciclo hidrológico natural e modificado pelo meio urbano	1
Figura 1.2– Evolução da hidrologia urbana.	2
Figura 1.3– Gestão integrada do ciclo hidrológico.....	4
Figura 1.4– Ciclo hidrológico sustentável.	5
Figura 1.5– Comportamento da cobertura verde no escoamento superficial.	6
Figura 2.1– Tipos de sistemas empregados em coberturas verdes.	10
Figura 2.2– Foto em infravermelho tirada de uma cobertura verde e de uma laje convencional. A cor vermelha representa a maior temperatura e a azul, a menor.....	11
Figura 2.3– Concentração de Nitrogênio total.	19
Figura 3.1– Localização da área experimental onde foram instaladas as células-teste.....	35
Figura 3.2– Identificação das células-teste: A a H (coberturas verdes) e I (cobertura convencional).	36
Figura 3.3– Células-teste investigadas: (a) coberturas verdes e (b) cobertura com telhas cerâmicas.....	36
Figura 3.4– Condições de instalação e manutenção das células teste.	38
Figura 3.5– Pluviógrafo instalado na área experimental, onde se localizam as células-teste.	39
Figura 3.6– Dispositivo para a coleta da água de chuva direto da atmosfera (C2)	39
Figura 3.7– Dispositivo para a coleta das amostras de água drenada pelas coberturas.....	40
Figura 4.1– Composição granulométrica dos substratos das coberturas verdes investigadas: células-teste A, E e H - substrato Tipo 1; células-teste B, F e G - substrato Tipo 2; células-teste C e D - substrato Tipo 3. Amostras coletadas em setembro de 2011.....	45
Figura 4.2– Eventos de precipitação correspondentes às coletas das amostras para a realização dos ensaios em laboratório, períodos I (Abril de 2011) e II (Janeiro e Fevereiro de 2012).	47
Figura 4.3– Eventos de precipitação correspondentes às coletas das amostras para a realização dos ensaios em laboratório, período II de monitoramento (Janeiro e Fevereiro de 2012)	48
Figura 4.4– Recipientes e amostras da água drenada pelas coberturas verdes A, E, e H (substrato 1, sistema contínuo; A e E são extensivas, com substrato com 0,10 m de profundidade, H é semi-intensiva, com substrato com 0,25 m de profundidade) - coletas C1 a C7.....	50

Figura 4.5– Amostras de água da C5 para a caracterização microbiológica (da esquerda para a direita): células A, B, C, D, F e I.	52
Figura 4.6– Gráfico tipo “caixa”.	53
Figura 4.7– Valores de cor aparente (uC) das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.	54
Figura 4.8– Valores de turbidez das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.	56
Figura 4.9– Valores de cor verdadeira das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) no período II de coleta (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.	58
Figura 4.10– Valores de Ferro das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.	60
Figura 4.11– Valores de sólidos totais, totais fixos e totais voláteis das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.	63
Figura 4.12– Valores da condutividade elétrica das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos de monitoramento: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.	65
Figura 4.13– Valores da DQO das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro De 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.	66
Figura 4.14– Valores de NTK das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.	67
Figura 4.15– Valores de Fósforo Total das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.	68
Figura 4.16– Valores do pH das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e	

fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados 70

Figura 4.17– Valores de COD das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados 71

Lista de tabelas

Tabela 2.1– Qualidade da água drenada por diferentes coberturas em função da intensidade de chuva. Fonte: Teemusk e Mander (2007)	14
Tabela 2.2– Estudos que indicam melhoria da qualidade da água ao passar pelas coberturas verdes.....	17
Tabela 2.3– Qualidade da água drenada em coberturas verdes. Fonte: elaborado a partir de De Cuyper; Dinne e Van de Vel(2004).	20
Tabela 2.4– Características das coberturas investigadas e principais resultados obtidos no estudo desenvolvido por Berndtsson et al (2006)	21
Tabela 2.5– Presença de nutrientes e metais na água drenada pelas coberturas verdes e na água coletada diretamente da atmosfera.....	22
Tabela 2.6– Médias de valores de P, Fe e Zn, no estudo realizado por USEPA (2009b)	23
Tabela 2.7– Turbidez e concentração de sólidos totais suspensos na água drenada de coberturas verdes e somente com solo, para diferentes tipos de substratos. Fonte: elaborado a partir de Morgan et al. (2011)	25
Tabela 2.8– Estudos que indicam diminuição da qualidade da água de chuva, ao passar pelas coberturas verdes.....	28
Tabela 2.9– Parâmetros de qualidade da água de abastecimento.....	30
Tabela 2.10– Parâmetros de qualidade de água não potável para aproveitamento em edificações.....	33
Tabela 2.11– Parâmetros de qualidade de águas para abastecimento e águas de rios.....	34
Tabela 2.12– Parâmetros qualitativos de qualidade da água em função do tipo de uso. Fonte: SAUTCHUCK et al (2005)	34
Tabela 3.1– Caracterização das coberturas verdes instaladas nas células-teste.	37
Tabela 3.2– Ensaio de qualidade da água realizados em laboratório.	42
Tabela 4.1– Concentração de nutrientes, valores de pH e de porcentagem de matéria orgânica presentes nos substratos das coberturas verdes investigadas - Data de coleta das amostras e realização dos ensaios: outubro de 2011. Fonte: ITHAL (2012)	46
Tabela 4.2– Valores dos metais (Cu, Zn, Cd, Ni e Pb) das amostras coletadas nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012).	60
Tabela 4.3– Valores dos metais (Cu, Zn, Cd, Ni e Pb) das amostras coletadas no período II (janeiro e fevereiro de 2012)	61
Tabela 4.4– Caracterização microbiológica das amostras coletadas das coberturas verdes (A a H) e de referência (I), nas coletas C2 a C7.	73

Lista de quadros

Quadro 2.1- Características de coberturas verdes.	9
--	---

Lista de quadros Apêndice A

Quadro A 1- Resultados dos ensaios realizados na C1.	87
Quadro A 2- Resultados dos ensaios realizados na C2.	88
Quadro A 3- Resultados dos ensaios realizados na C3.	89
Quadro A 4- Resultados dos ensaios realizados na C4.	90
Quadro A 5- Resultados dos ensaios realizados na C5.	91
Quadro A 6- Resultados dos ensaios realizados na C6.	92
Quadro A 7- Resultados dos ensaios realizados na C7.	93

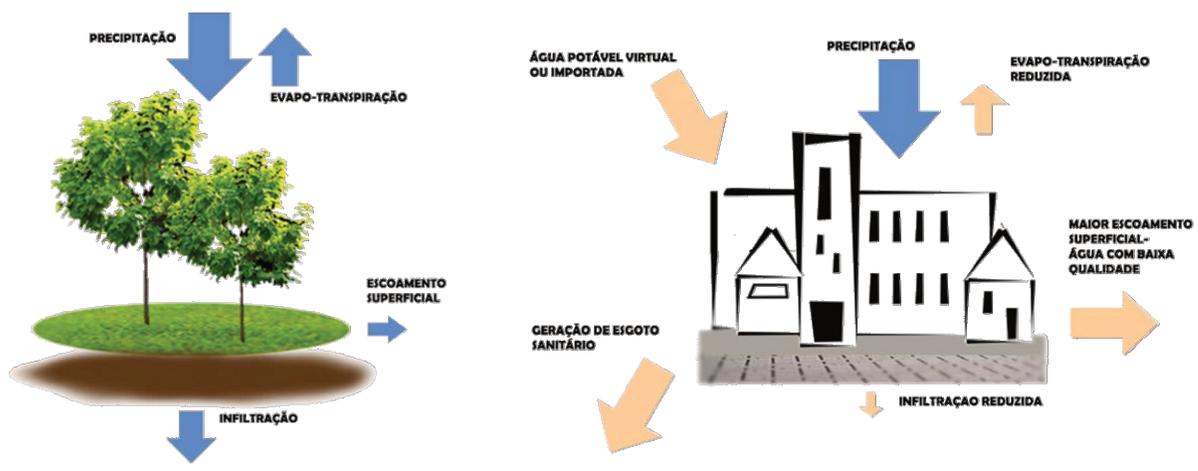
Sumário

1. Introdução	1
1.1 Objetivos	7
1.2 Estruturação do Texto	7
2. Revisão da Literatura	9
2.1 Avaliação da Qualidade da Água drenada por Coberturas Verdes	13
2.1.1 Estudos que Indicam uma Melhoria na Qualidade da Água ao passar pelas Coberturas Verdes	13
2.1.2 Estudos que Indicam uma Diminuição da Qualidade da Água ao passar pelas Coberturas Verdes.....	18
2.2 Qualidade da água não potável: parâmetros e documentos de referência	29
3. Materiais e métodos	35
3.1 Instrumentação, procedimento de coleta e ensaios laboratoriais	39
4. Resultados e Discussão	45
4.1 Eventos de chuva em que foram realizadas as coletas das amostras de água para análise	47
4.2 Ensaio de caracterização da qualidade da água.....	49
4.2.1 Parâmetros físicos e químicos	53
5. Conclusões	81
Referências	83
Apêndice A	87

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização acelerado e não planejado dos grandes centros urbanos tem provocado diversos danos ao ciclo natural da água. A adaptação do meio natural às necessidades do homem e à implantação de infraestrutura urbana resultou no aumento da impermeabilização, na diminuição da infiltração, e na necessidade de fornecimento de água aos edifícios, com a consequente geração de esgoto sanitário que precisa ser coletado e tratado (Figura 1.1).

Figura 1.1– Ciclo hidrológico natural e modificado pelo meio urbano



Legenda: ↑ estado natural ↑ estado alterado

Fonte: Hoban e Wong (2006) apud Water by Design (2009)

O crescimento acelerado das cidades unido à alta taxa de impermeabilização do solo transformou esse processo natural em frequentes inundações provenientes da drenagem urbana. As superfícies impermeabilizadas, a poluição e contaminação do ar e de superfícies e o aumento do despejo de resíduos pela população resultou em uma realidade de impactos crescentes e grande alteração no ciclo hidrológico em relação à sua quantidade e qualidade (TUCCI, 2004).

Diversos fatores como clima, geografia, crescimento populacional e tipologias de assentamento, além de atividades de interesse e normas governamentais, influenciaram as modificações do ciclo hidrológico (WATER BY DESIGN, 2009).

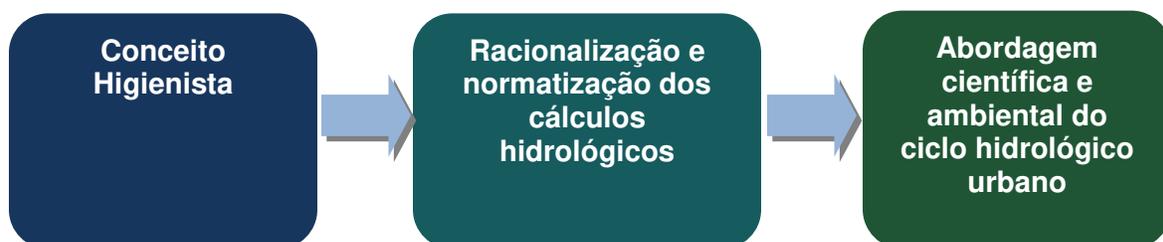
A evolução da hidrologia urbana pode ser classificada em três etapas, conforme apontado por Desborges *apud* Silveira (1998) e ilustrado na Figura 1.2.

Segundo o referido autor, o conceito higienista, iniciado na Europa do século XIX, tinha como prática a canalização dos dejetos domésticos e águas presentes nas cidades, e a evacuação destas longe do ambiente urbano. Com isso, buscava-se preservar a saúde dos habitantes diminuindo riscos de contaminação e infecção. Nesta época ocorre o avanço no dimensionamento de obras de esgoto, considerando os aspectos quantitativos que se desenvolve na segunda etapa apresentada na Figura 1.2.

A fase atual enfoca a mitigação dos impactos quantitativos e qualitativos da urbanização no escoamento de bacias hidrográficas e na circulação atmosférica sob forma de precipitação (SILVEIRA, 1998). Para isso propõem-se novas tecnologias com relação à infraestrutura urbana e novas práticas de ocupação do solo, recuperando o ambiente urbano e seu entorno.

Além do aumento do escoamento superficial, sobrecarga da rede de drenagem e o aumento na vazão pontual dos mananciais, as superfícies impermeáveis causam poluição no escoamento superficial. Os principais fatores poluidores destas águas são: sedimentos, nutrientes, metais pesados, substâncias que consomem oxigênio, hidrocarbonetos de petróleo, bactérias e vírus patogênicos, indicados principalmente através de parâmetros de qualidade que avaliam a matéria orgânica e a presença de metais (TUCCI, 2004).

Figura 1.2– Evolução da hidrologia urbana.



Fonte: DESBORGES *apud* SILVEIRA (1998)

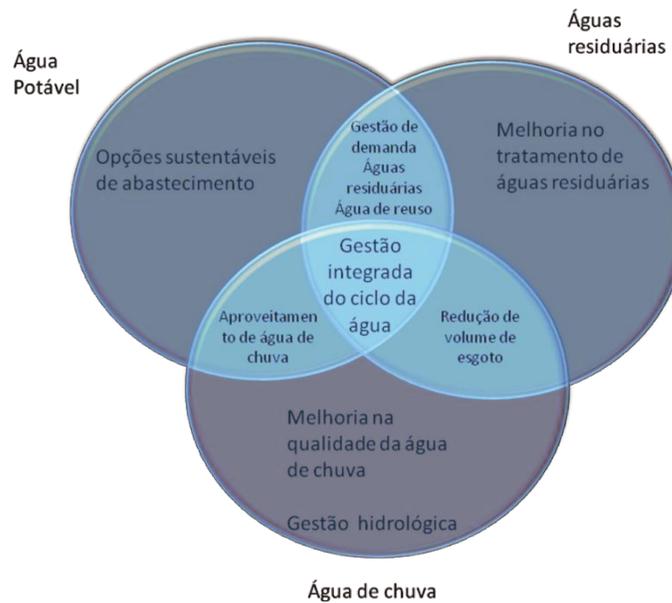
Novos conceitos como *LID - Low Impact Development* – e *WSUD - Water Sensitive Urban Design* propõem práticas de baixo impacto para mitigação dos principais problemas citados. Cinco pontos caracterizam o LID: planejamento no lote, análise hidrológica, práticas de gestão integrada, controle de erosão e sedimentação e programa de divulgação pública (Department of Environmental Resources – Maryland, 1999). As soluções propostas procuram, por meio de estratégias de projeto em micro escala, gerenciar a água pluvial *on site*, minimizando os problemas em grande escala no meio urbano, reduzindo a impermeabilização do solo e diminuindo o pico de escoamento urbano.

Conforme Melbourne Water & Knox City Council (2002) e Department of Natural Resources – Maryland (1999), as práticas sugeridas para *WSUD* e *LID* de gestão da água pluvial *on site*, relacionadas à retenção, detenção e infiltração, são:

- valas ajardinadas ou em solo permeável;
- trincheiras de infiltração;
- sistemas de biorretenção;
- captação e reservação de água de chuva (aproveitamento de água de chuva);
- jardins de infiltração;
- coberturas verdes;
- florestas urbanas, parques;
- pavimentos permeáveis.

Desta forma, pode-se dizer que a ação antrópica sobre o ciclo hidrológico vem sendo analisada de maneira integrada, reunindo práticas em escalas diferenciadas: no lote, em âmbito urbano e também regional, conforme ilustrado na Figura 1.3.

Figura 1.3– Gestão integrada do ciclo hidrológico.



Fonte: Hoban e Wong, apud Water by design (2011)

Com a gestão sustentável da água no lote objetiva-se: o uso eficiente da água, com a eliminação dos desperdícios e, conseqüentemente, a geração de menores volumes de esgoto sanitário; o reuso de águas residuárias, que contribui para a redução do consumo de água potável; o aumento da infiltração, com o emprego de estratégias de drenagem no local em que o escoamento superficial é gerado, incluindo as técnicas de infiltração, retenção, detenção e aproveitamento da água pluvial em usos que prescindam de água potável nos edifícios (Figura 1.4).

A implantação de programas de conservação de água nos edifícios, conforme proposto por diferentes autores, dentre os quais se destacam Oliveira (1999) e Sautchuk et al. (2005), contribui para o uso eficiente de água, o reuso de águas cinzas e o aproveitamento de água pluvial. A esses conceitos foram agregadas as demais estratégias de drenagem no lote, resultando no que tem se denominado mais recentemente de plano de gestão integrada da água no lote (ILHA e REIS, 2010). Santos (2002), que por sua vez, propõe que a conservação de água extrapole o âmbito do edifício, envolvendo a integração com as medidas adotadas em escala urbana.

Figura 1.4– Ciclo hidrológico sustentável.

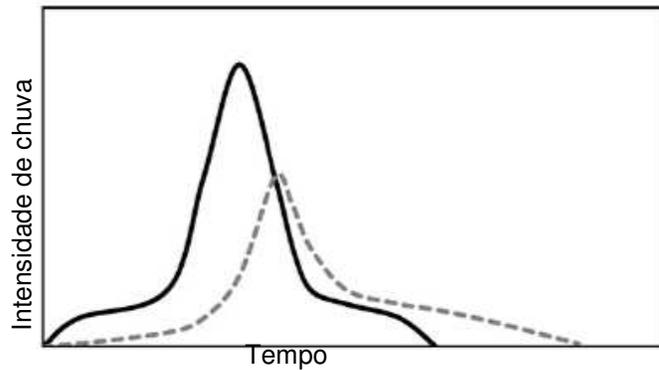


Fonte: adaptado de Ilha e Reis (2010)

O uso de coberturas verdes nos edifícios, além de melhorar o conforto térmico e acústico, e reduzir as ilhas de calor formadas nas cidades, pode contribuir para a gestão das águas pluviais no âmbito do lote, retardando, ou até mesmo, eliminando total ou parcialmente o escoamento superficial decorrente da impermeabilização das superfícies.

A Figura 1.5 apresenta o comportamento diferenciado do escoamento de água proveniente de coberturas convencionais e de coberturas verdes. Além da diminuição da vazão de pico, há um retardo na chegada do volume gerado no sistema de drenagem urbana (BERNDTSSON, 2009).

Figura 1.5– Comportamento da cobertura verde no escoamento superficial.



Fonte: Berndtsson (2009)

Em edificações mais sustentáveis, a redução do consumo de água potável, propiciada pelo uso de água pluvial tratada, se constitui em uma importante medida. Porém, o principal problema associado ao emprego de sistemas de água não potável consiste na garantia da qualidade da água a ser utilizada, o que implica em conhecer as características físicas, químicas e microbiológicas da água coletada e os parâmetros de qualidade para a água não potável, de modo a definir o sistema de tratamento mais adequado, além de um plano de monitoramento contínuo.

Vários trabalhos abordam a qualidade da água drenada em coberturas convencionais, tanto nacional, como internacionalmente. Porém, o mesmo não se verifica quando se trata de coberturas verdes: existem ainda poucos trabalhos aprofundados sobre este tema principalmente no Brasil, talvez porque o uso dessa estratégia ainda é pouco difundido, situação que tende a se modificar com o advento do conceito de edificações mais sustentáveis.

Esta pesquisa representa um estudo de referência e investigação sobre a qualidade da água drenada por coberturas verdes, um assunto ainda carente de informações e dados, em busca de auxiliar e embasar pesquisas futuras, principalmente em âmbito nacional.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a qualidade da água de chuva drenada por coberturas verdes comparativamente à água coletada diretamente da atmosfera e também à água escoada por uma cobertura convencional.

Os objetivos específicos são:

- confrontar os resultados obtidos com documentos que determinam padrão de qualidade de água para aproveitamento e reuso de água em edificações;
- propor diretrizes de avaliação de qualidade de água proveniente de coberturas verdes, determinando os parâmetros necessários para a análise de uma água com tais características.

1.2 ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

Este texto é composto por cinco capítulos. O primeiro capítulo contextualiza o tema e justifica a pesquisa desenvolvida.

O segundo capítulo apresenta a revisão da literatura, com os principais estudos encontrados sobre avaliação da qualidade da água drenada por coberturas verdes. Além disso, tendo em vista o conceito de aproveitamento da água de chuva em edificações, são apresentados os parâmetros de qualidade da água não potável, constantes em normas e outros documentos, que vêm sendo utilizados no país.

O terceiro capítulo apresenta o detalhamento das coberturas que compõem o aparato experimental utilizado para desenvolvimento desta pesquisa, assim como a instrumentação, os procedimentos de coleta e os ensaios laboratoriais realizados para obtenção dos dados de qualidade da água e das características dos substratos investigados. Também são relatadas as diretrizes adotadas para a análise dos dados, com a apresentação do método estatístico empregado.

O quarto capítulo contém os resultados e a discussão. Por fim, o último capítulo contém a conclusão do trabalho, com suas principais revelações e diretrizes para a avaliação da qualidade da água drenada por coberturas verdes.

2. REVISÃO DA LITERATURA

As coberturas verdes são usualmente classificadas, em função da espessura do substrato e do tipo de vegetação, em (USEPA, 2009a; HUI, 2006):

- intensiva: composta por uma camada de substrato mais espessa, podendo receber vegetação de maior porte; este sistema requer maior suporte estrutural e irrigação e manutenção mais constantes;
- semi-extensiva: composta por uma camada de substrato com espessura intermediária, com espécies vegetais de médio a pequeno porte e;
- extensiva: caracteristicamente mais leve, mais simples, com substrato de pequena espessura e necessita de pouca manutenção e irrigação.

As principais características desses três tipos de coberturas verdes estão apresentadas no Quadro 2.1.

Quadro 2.1– Características de coberturas verdes.

Características	Coberturas verdes		
	Extensiva	Semi-extensiva	Intensiva
Profundidade	< 0,15 m	~0,15 m	> 0,15 m
Acessibilidade	praticamente inacessível	parcialmente acessível	normalmente acessível
Peso saturado	baixo	variável	Alto
Diversidade de espécies vegetais	pequena	média	grande
Espécies vegetais	suculentas e herbáceas	gramas, espécies perenes e pequenos arbustos	arbustos e árvores
Uso	camada de proteção ambiental	cobertura verde projetada	parque, jardim
Custo	baixo	variável	alto
Manutenção	mínima	variável	alta

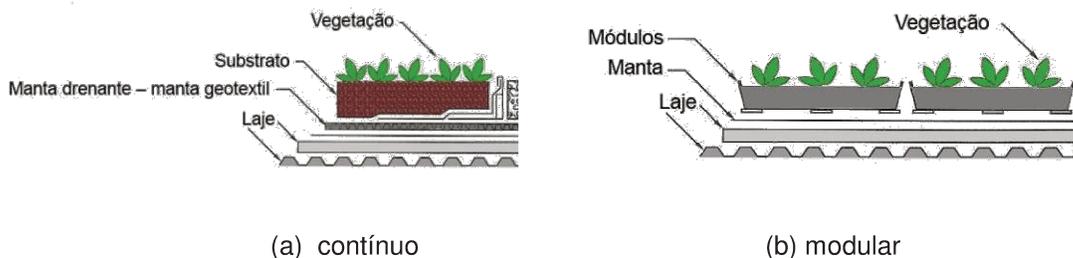
Fonte: adaptado de Hui (2006)

As coberturas verdes também podem ser classificadas, em função da sua constituição, em dois tipos principais de sistemas: contínuo e modular (Figura 2.1).

O sistema contínuo é constituído pelo substrato apoiado diretamente na cobertura, a qual possui uma impermeabilização e uma manta drenante.

O sistema modular, por sua vez, possui o substrato e a camada vegetal apoiados em módulos que são implantados sobre a cobertura preparada da mesma forma que no sistema contínuo, ou seja, com a impermeabilização e a manta drenante. Os módulos, usualmente plásticos, são encaixados entre si de modo a propiciar o preenchimento de toda a área prevista.

Figura 2.1– Tipos de sistemas empregados em coberturas verdes.



(a) contínuo

(b) modular

Fonte: adaptada de Luckett (2009)

As coberturas verdes apresentam diversos benefícios ambientais, merecendo destaque (USEPA, 2009a):

- melhoria na qualidade do ar, através da filtração de poluentes depositados na atmosfera;
- criação de microclima natural e habitat para pássaros e outros animais;
- melhoria do desempenho térmico no interior das edificações;
- diminuição das ilhas de calor;
- redução das vazões de pico, auxiliando no controle do escoamento urbano;
- melhoria da qualidade da água, por meio da retenção de poluentes carregados pela água pluvial.

Weiler e Scholz-Barth (2009) ressaltam o valor estético das coberturas verdes: trata-se de elementos de integração dos edifícios com seu entorno, proporcionando uma continuidade visual e diminuição dos conflitos físicos existentes nas cidades.

Os benefícios do uso das coberturas verdes, em termos da redução das ilhas de calor nas cidades e do conforto térmico das edificações, com a consequente redução do consumo de energia, são destacados por diferentes autores. Hui e Chan (2008), por exemplo, tiraram fotos com câmera de infravermelho, evidenciando a diferença de temperatura entre dois sistemas de coberturas verdes modulares e uma laje de cobertura convencional (Figura 2.2). Os resultados obtidos indicam diferenças de até 13°C entre a superfície das coberturas verdes e a superfície da cobertura convencional.

Figura 2.2– Foto em infravermelho tirada de uma cobertura verde e de uma laje convencional. A cor vermelha representa a maior temperatura e a azul, a menor.



Fonte: Hui e Chan, 2008

A instalação de coberturas verdes resulta também em importantes benefícios no âmbito hidrológico, pela retenção e detenção da água pluvial e a consequente redução no escoamento superficial (FLL, 2004; USEPA, 2009a). Além disso, possibilita o aproveitamento da água de chuva nas edificações e infiltração e recarga de lençol freático (KOLB, 2003).

Segundo Kolb (2003), mesmo com as perdas provenientes da evapotranspiração (média de 50%, nos sistemas extensivos, e de 70%, nos sistemas intensivos, por ele estudados) parte da água é drenada, podendo ser aproveitada para usos não potáveis nos edifícios ou ser infiltrada, contribuindo para a recarga de lençol freático.

Além das características climáticas, como intensidade e regime pluviométrico, as características das coberturas verdes são fatores determinantes na retenção e

detenção da água de chuva. A composição e profundidade do substrato, o tipo de vegetação, incluindo a área de sombreamento, são alguns dos fatores determinantes do seu desempenho hidrológico (BECKERS E DEGRÉ, 2008).

O desempenho atribuído à instalação de coberturas verdes se associa às suas características construtivas. A escolha da vegetação, por exemplo, pode alterar a capacidade de produção de biomassa, remoção de poluentes do ar e da água, além da capacidade de retenção. Desta forma, características como altura, ramificação e perda de folhagem das plantas devem ser consideradas. Além disso, a diferença na absorção de nutrientes entre espécies vegetais pode minimizar o processo de fertilização, acelerando o processo de estabilização do sistema (COOK-PATTON e BAWELE, 2012).

Por sua vez, Rowe (2011) cita que a seleção adequada do substrato e da vegetação pode eliminar a necessidade de irrigação das coberturas verdes, contribuindo para uma maior sustentabilidade dos edifícios no tema água.

Kolb (2003) e De Cuyper; Dinne e Van de Vel (2004) concluíram que as coberturas verdes podem representar um decréscimo no escoamento superficial anual de 50%, em sistemas intensivos, e de 30%, nos extensivos.

Hathaway, Hunt e Jennings (2008) observaram uma retenção de 64% da precipitação total e uma redução de 77% e 88% na vazão de pico do escoamento com o uso de coberturas verdes em relação às convencionais.

Ao reter parte da água de chuva, as coberturas verdes contribuem para a redução do escoamento superficial provocado grande impermeabilização do solo das cidades. Além disso, a água drenada pode ser aproveitada na edificação para atividades que prescindam da água potável e o excedente, caso exista, ser infiltrado para a recarga do lençol freático.

Para tanto, a água deve apresentar qualidade compatível com o seu uso, evitando riscos à saúde dos usuários ou contaminação do solo e do lençol freático.

2.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DRENADA POR COBERTURAS VERDES

As coberturas verdes podem se comportar como fonte de nutrientes, compostos e partículas; contudo, elas também podem se constituir em depósitos de contaminantes existentes na água de chuva. Ou seja, os diferentes autores indicam a melhoria ou piora da qualidade da água ao passar pelas coberturas verdes. A revisão da literatura indica a existência de estudos nos dois sentidos, conforme apresentado na sequência.

2.1.1 ESTUDOS QUE INDICAM UMA MELHORIA NA QUALIDADE DA ÁGUA AO PASSAR PELAS COBERTURAS VERDES

Teemusk e Mander (2007) analisaram a qualidade da água drenada por coberturas verdes extensivas e por uma cobertura convencional (laje de concreto), comparando os resultados obtidos com a qualidade da água coletada diretamente da atmosfera em eventos de precipitação com diferentes intensidades.

Os referidos autores verificaram um aumento do pH da água, ao passar por todas as coberturas, principalmente em eventos de precipitação moderada (0,8 a 1,4mm).

Tanto as coberturas verdes como a de referência, liberaram Fósforo na água drenada. No entanto, a concentração deste nutriente foi menor na água coletada das coberturas verdes do que na de referência, principalmente nos eventos de precipitação moderada. Na chuva classificada como forte (1,0 a 6,8mm), as coberturas verdes aumentaram a liberação deste nutriente.

Os resultados de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foram semelhantes entre as coberturas, com valores um pouco mais baixos na água coletada das coberturas verdes. Porém, nos eventos de precipitação moderada, o valor de DQO obtido das amostras das coberturas verdes se apresentou mais alto do que nos eventos de forte intensidade, mantendo valores um pouco mais baixos, com relação à cobertura de referência. Isto se deve ao processo mais lento de lixiviação dos compostos pelo sistema.

A concentração de nitrogênio total foi similar na água drenada pelos dois tipos de coberturas, abrangendo, também, a água coletada diretamente da atmosfera. Embora

tenham encontrado, em sua maioria, bons resultados de qualidade da água drenada pelas coberturas, os autores detectaram maior concentração de nitrito na água advinda das coberturas verdes. Os principais resultados obtidos nesse estudo são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1– Qualidade da água drenada por diferentes coberturas em função da intensidade de chuva. Fonte: Teemusk e Mander (2007)

Indicador	Intensidade da precipitação	Amostras			Água direto da atmosfera
		Cobertura Verde 1*	Cobertura Verde 2	Cobertura de Referência**	
pH	Moderado	8,26	8,14	8,43	5,62
	Forte	7,94	7,85	6,73	
DBO (mgO/L)	Moderado	5,3	4,1	7,0	2,9
	Forte	2,6	2,0	2,9	
DQO (mgO/L)	Moderado	37	26	43	4
	Forte	22	21	23	
Fósforo Total (Total P) (mg/L)	Moderado	0,036	0,026	0,104	0,012
	Forte	0,090	0,074	0,102	
Nitrogênio Total (Total N) (mg/L)	Moderado	2,1	1,9	2,6	1,3
	Forte	1,2	1,3	1,4	
Nitrito (NO ₃ -N) (mg/L)	Moderado	0,7	0,8	0,4	0,18
	Forte	0,46	0,42	0,19	

* Composição: base de concreto, manta drenante ondulada (8mm), lâ de rocha (80mm), camada de substrato (100mm), LWA (agregado leve, 66%), húmus (30%) e argila (4%).

** telhado em concreto.

Bliss et al. (2009) caracterizaram a qualidade da água de 13 amostras coletadas de uma cobertura verde semi-extensiva (membrana betuminosa, manta drenante, substrato com xisto expandido, casca de côco e outros componentes), de uma cobertura de referência (concreto coberto com camada de pedra) e da água direto da atmosfera.

Houve aumento do pH, pela passagem da água, tanto pelas coberturas verdes, como pela convencional, quando comparado com água coletada diretamente da atmosfera. Não houve diferença relevante entre os valores de pH das duas coberturas investigadas.

As coberturas verdes e de referência retiveram chumbo, presente nas amostras de água coletada diretamente da atmosfera. As concentrações de zinco na água coletada

diretamente da atmosfera e nas coberturas verdes foram similares e inferiores às obtidas para as amostras da cobertura de referência.

Houve aumento na turbidez da água drenada pela cobertura, quando comparado com as amostras coletadas diretamente da atmosfera, porém os valores desse parâmetro foram menores do que os obtidos para a cobertura de referência.

Apesar de concluírem positivamente sobre a influência da cobertura verde na qualidade da água drenada, os referidos autores detectaram presença de Fósforo (0,8mg/L a 2,1mg/L) e resultados superiores de sulfatos e DQO (26,2 – 40,9 mg/L), diante dos valores obtidos na cobertura de referência (4,8 – 16,1mg/L).

Em consonância com os estudos anteriores, Vijayaraghavan et al. (2012) constataram o aumento do pH pela passagem da água pelas coberturas verdes e convencional. Esse estudo foi desenvolvido em protótipos de coberturas verdes semi-extensivas (cobertura verde comercial, cobertura montada no local e cobertura sem vegetação), cobertura somente com substrato (sem vegetação) e cobertura de referência, constituída por telhas de policarbonato.

Os resultados encontrados para condutividade, salinidade e metais– Sódio (Na), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Alumínio (Al)– foram maiores nas coberturas verdes, que na cobertura de referência e que água coletada diretamente da atmosfera, além de ter sido detectada a liberação de nitrito pela cobertura com solo e cobertura verde comercial, e fosfato na água drenada pelas coberturas verdes e pela cobertura de referência. Apenas as concentrações de Fosfato, Potássio, Alumínio e Cobre, ultrapassaram o limite recomendado por USEPA (1986) para água doce.

Gregoire e Clausen (2011) pesquisaram uma cobertura verde extensiva e uma modular, composta por camada drenante e camada filtrante em tecido. Os módulos foram instalados sobre o piso de concreto de uma praça. O restante do piso da praça, em placas de concreto, representa a cobertura de referência deste estudo. Os autores concluíram sobre o efeito positivo das coberturas verdes na redução da carga poluente da água coletada diretamente da atmosfera.

Nesse estudo, foram adicionados fertilizantes compostos por Nitrogênio e Fósforo para o bom manejo das coberturas. Porém, as concentrações de Nitrogênio e suas variações foram similares na água drenada pela cobertura verde e na água coletada diretamente da atmosfera.

Os valores de Nitrogênio Total e Fósforo Total foram mais baixos na água drenada pela cobertura verde, quando comparados a outros estudos.

Por sua vez, o teor de Fósforo Total foi menor do que o das amostras coletadas diretamente da atmosfera e da cobertura de referência, apesar da fertilização, o que indica a retenção desse nutriente na cobertura verde.

A cobertura verde reteve Ca, Cádmio (Cd), Zinco (Zn), Chumbo (Pb) e pequena quantidade de Cromo (Cr). A concentração de metais foi menor nas amostras drenadas das coberturas verdes, em comparação à amostra coletada diretamente da atmosfera. Porém, ocorreu liberação de cobre pelas coberturas verdes. Não houve diferença na concentração de mercúrio das amostras coletadas pelas duas coberturas avaliadas.

Segundo Nicholson et al (2010), as coberturas verdes apresentam um potencial de adsorver íons de hidrogênio. Isto provoca um aumento do pH da água de chuva que percola por elas, resultando na neutralização da chuva ácida, apontada em diversos estudos.

A eficácia das coberturas verdes na retenção de alguns metais pesados foi explicada por Gregoire e Clausen (2011). Os autores vincularam a capacidade de retenção de metais à estabilização do meio de cultivo, pelo seu comportamento de umedecer e ressecar e aos materiais orgânicos presentes.

A liberação de Fósforo foi atrelada ao processo de fertilização em quase todos os estudos citados. Contudo, no estudo realizado por Teemusk e Mander (2007), a concentração de fósforo total foi maior no telhado de referência, devido à deposição de partículas e contaminantes presentes nas coberturas.

A Tabela 2.2 apresenta um resumo dos valores dos parâmetros de qualidade da água obtidos nos estudos que indicam alguma melhoria da qualidade da água drenada pelas coberturas verdes, em relação às coberturas convencionais, e/ou à água coletada direto

da atmosfera, representada principalmente por: neutralização da chuva ácida; retenção de metais pesados; retenção de nutrientes e outros compostos relacionados à poluição do escoamento e diminuição dos parâmetros microbiológicos.

Tabela 2.2– Estudos que indicam melhoria da qualidade da água ao passar pelas coberturas verdes.

Melhoria da qualidade indicada	Parâmetro	Referências
Neutralização da acidez da água de chuva	pH	Teemusk e Mander (2007)
		Bliss et al (2009)
		USEPA (2009b)
		De cuyper; Dinne e Van de Vel (2004)
		Nicholson et al. (2010)
		Mendez et al. (2011)
		Vijayaraghavan et al. (2012)
Retenção de metais pesados	Zn	Bliss et al (2009)
		Gregoire e Clausen (2011)
		Bergndtsoon et al. (2006)
	Cd	Bergndtsoon et al. (2006)
	Pb	Gregoire e Clausen (2011)
	Cu	Bergndtsoon et al. (2006)
	Cr	Gregoire e Clausen (2011)
Ca	Gregoire e Clausen (2011)	
Retenção de nutrientes	Total P (mg ^l ⁻¹)	Teemusk e Mander (2007)
		Gregoire e Clausen (2011)
	Total N (mg ^l ⁻¹)	Teemusk e Mander (2007)
		Bliss et al (2009)
		Gregoire e Clausen (2011)
NTK	Gregoire e Clausen (2011)	
Retenção de outros compostos relacionados à poluição do escoamento	DQO	Teemusk e Mander (2007)
	Turbidez	Bliss et al (2009)
		Mendez et al. (2011)
	condutividade	Vijayaraghavan et al. (2012)
Microbiologia	Coliformes totais	De cuyper; Dinne e Van de Vel (2004)
		Mendez et al. (2011)

2.1.2 ESTUDOS QUE INDICAM UMA DIMINUIÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA AO PASSAR PELAS COBERTURAS VERDES

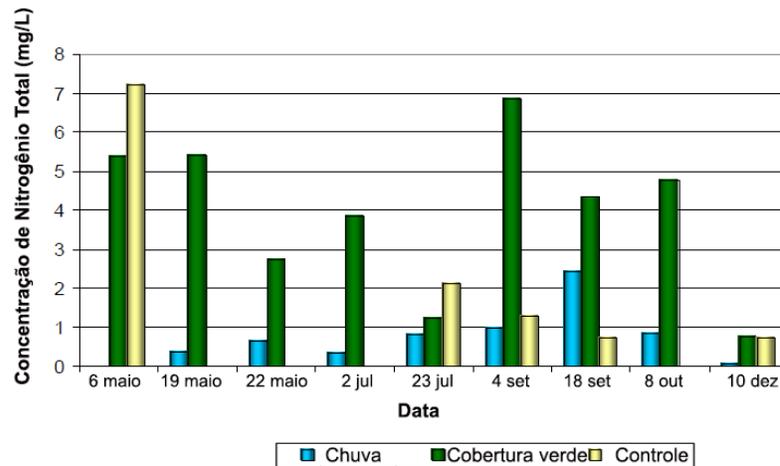
Moran et al. (2004) analisaram a lixiviação dos seguintes componentes na água drenada por coberturas: NTK, nitrito, nitrato, Nitrogênio amoniacal, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Ortofosfato.

As análises ocorreram em nove eventos de chuva, sendo investigadas duas coberturas verdes, uma cobertura de referência e a água coletada diretamente da atmosfera. Uma cobertura verde compreendia uma área de 70m², com substratos com duas espessuras diferentes (0,05 m e 0,10 m) e diversos tipos de plantas suculentas. A outra cobertura verde, com substrato com 0,10m de profundidade, área de 280m², também apresentava várias espécies de plantas suculentas. A cobertura de referência compreendia uma laje plana de concreto.

Elevadas concentrações de Nitrogênio Total e Fósforo Total foram detectadas nas amostras da água drenada pelas coberturas verdes quando comparadas às da água coletada diretamente da atmosfera e da cobertura de referência. Contudo, foi observado um decréscimo na concentração de Nitrogênio Total, ao longo do tempo (Figura 2.3), o que indica que a idade da cobertura pode influenciar a qualidade da água drenada.

Além disso, os autores concluíram que, quanto menor o teor de matéria orgânica no substrato, menor a lixiviação de Nitrogênio e Fosfato.

Figura 2.3– Concentração de Nitrogênio total.



Fonte: Moran et al. (2004)

De Cuyper; Dinne e Van de Vel (2004) analisaram a qualidade da água drenada por nove diferentes tipos coberturas verdes e duas convencionais (Tabela 2.3), todas com uma área de 7,5 m². Uma das coberturas convencionais possuía uma camada de 0,05m de cascalho.

Os resultados indicaram que a água drenada pela maioria das coberturas verdes apresentava, em relação à água coletada diretamente da atmosfera: cor em tom de marrom, maior condutividade, maior teor de sólidos suspensos e dureza, além de maiores valores de DQO e DBO, o que indica poluição pela presença de matéria orgânica. O único efeito benéfico citado foi o aumento do pH da água de chuva. Este efeito, contudo, não foi identificado com a passagem da água pela cobertura de referência.

Tabela 2.3– Qualidade da água drenada em coberturas verdes. Fonte: elaborado a partir de De Cuyper; Dinne e Van de Vel(2004).

Parâmetro	Cobertura											DA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
pH	6,8	7,3	7,2	7	6,8	7,3	5,4	6,5	6,4	6,67	4,9	5,6
Cor aparente	67,3	878,2	532,4	350,9	228,7	671,3	46,8	264,9	219,0	250,2	230,6	23,4
Condutividade	92,9	130,4	208,0	83,8	155,2	273,3	1727,8	99,1	87,21	160,91	90,4	50,9
Matéria sedimentável	0,24	0,10	0,00	0,00	0,10	0,10	0,15	0,00	0,10	0,24	0,20	0,00
Dureza	5,0	8,0	5,3	4,2	4,2	17,8	5,3	2,4	3,1	4,2	1,8	1,8
DQO	24,0	265,3	178,8	100,2	147,6	312,5	35,3	99,7	103,2	116,1	106,3	16,3
DBO	4,5	19,3	29,0	46,1	14,2	46,1	8,3	5,2	9,2	33,4	9,3	3,6
DQO/DBO	5,3	13,7	6,2	2,2	10,4	6,8	4,3	19,3	11,3	3,5	11,4	4,5
Fósforo total	0,06	0,17	0,53	0,08	0,13	3,14	0,24	0,06	0,08	15,25	0,16	0,15
Coliformes totais a 37°C	3500	2300	2300	1300	1100	4500	4700	3900	3500	4100	6200	4900
E. Coli a 37°C	25	25	29	33	33	50	0	17	50	44	67	67

1 – cobertura de cascalho; 2 a 10 – coberturas verdes, com as seguintes características: 2 - Extensiva, profundidade do substrato: 0,04 m; 3 - extensiva, profundidade do substrato: 0,08 m; 4 - extensiva, profundidade do substrato: 0,05 m; 5 - extensiva, profundidade do substrato: 0,02 m; 6 - intensiva, profundidade do substrato: 0,14 m; 7 - intensiva, profundidade do substrato: 0,20 m; 8 - extensiva, profundidade do substrato: 0,08 m; 9 - extensiva, profundidade do substrato: 0,04 m; 10 - extensiva, profundidade do substrato: 0,065 m; 11 – cobertura convencional de referência DA – amostra coletada direto da atmosfera

Os autores concluíram que a água drenada por coberturas verdes tem a sua qualidade diminuída em relação à água coletada diretamente da atmosfera. Mesmo para usos não potáveis, tais como descarga de bacias sanitárias, lavagem de roupas, ou ainda, quando descartada em locais destinados à pesca e nado, há necessidade de tratamento prévio.

BERNDTSSON et al. (2006) investigaram a qualidade da água drenada por coberturas verdes no que se refere aos nutrientes ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, Tot-N, $\text{PO}_4\text{-P}$, e Tot-P) e metais (Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Pb, e Zn). Foram estudados, essencialmente, sistemas extensivos, vegetados com plantas suculentas e com diferentes idades.

Os autores concluíram que as coberturas verdes funcionam como fonte de poluição para a água drenada, quando comparado com a água coletada diretamente da atmosfera. Os principais resultados são apresentados na Tabela 2.4.

Para a análise comparativa, foram considerados os valores limite empregados para a qualidade da água de escoamento urbano e para água doce.

Tabela 2.4– Características das coberturas investigadas e principais resultados obtidos no estudo desenvolvido por Berndtsson et al (2006)

ESTUDO	CARACTERÍSTICAS DO ESTUDO	RESULTADOS – água coletada das coberturas verdes
1	<p>Sistema extensivo Camadas da cobertura verde: camada vegetal, substrato (0,03 m) reforçado com polietileno, manta e camada drenante Espécies vegetais: <i>Sedum moss</i>, <i>Sedum acre</i> e <i>Sedum album</i>. Composição do solo: argila moída, solo natural de calcário e turfa Área de cobertura: 9500m² Camada drenante (2cm): tijolo triturado, seixo rolado e tijolo moído. Cobertura de referência: telha cerâmica</p>	<p>Nutrientes: Teor de amônia maior na amostra da cobertura de referência e na da água coletada diretamente da atmosfera; Foi detectada a presença de nitrato na água drenada pelas coberturas verdes Fósforo foi detectado apenas na forma de fosfato, provavelmente devido à fertilização Metais: Ca: abaixo do limite detectável; Cr: similar ao encontrado para a amostra coletada diretamente da atmosfera; Cu: similar ao encontrado para a amostra coletada diretamente da atmosfera e da cobertura de referência. Fe: similar ao encontrado para a amostra coletada diretamente da atmosfera e menor que da referência.</p>
2	<p>Sistema extensivo Camadas da cobertura verde: camada de vegetação pré-fabricada com plantas <i>Sedum SP</i> (0,03 m), substrato com 0,04 m e camada de drenagem com 0,035 m. Camada de papel e piche sob a vegetação. Cobertura de referência: cobertura de concreto e de metal</p>	<p>Nutrientes: Teor de Nitrato muito elevado e baixo de Nitrogênio Total. O Nitrogênio total foi em média inferior do que o encontrado para a água drenada pela cobertura convencional. Fósforo: detectado apenas na água drenada pelas coberturas com menor idade. Metais: Ca: abaixo do limite detectável; Cr: teor significativo no 1º evento para a cobertura convencional, principalmente por conta dos elementos do sistema de drenagem (calhas, tubos etc). Fe: valores detectados nas coberturas verdes foi menor do que o obtido para as amostras coletadas diretamente da atmosfera.</p>
3	<p>Sistema extensivo Sem uso de cobertura de referência Observação: aplicação de 35 g/m² de fertilizantes a base de Fósforo e Nitrogênio) em dois anos seguidos 2001 e 2002.</p>	<p>Nutrientes: lixiviou Nitrato, Nitrogenio, NT, fosfato e Fósforo total. Metais: reteve cobre e zinco.</p>

A Tabela 2.5 apresenta os principais resultados obtidos acerca da qualidade da água drenada pelas coberturas verdes em relação à água coletada diretamente da atmosfera.

Tabela 2.5– Presença de nutrientes e metais na água drenada pelas coberturas verdes e na água coletada diretamente da atmosfera.

Carga Anual(mg/m².ano)	Tot-N	Tot-P	K	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Água coletada diretamente da atmosfera	909	15	73	0,18	1,44	12,08	1,44	2,16	7,76
Água drenada pelas coberturas verdes	378	104	2504	0,07	5,72	15,40	1,10	0,15	7,11

Fonte: Berndtsoon et al. (2006)

Os autores concluíram que a passagem da água pelas coberturas verdes diminui a sua qualidade, devido ao aumento de nutrientes. No estudo que contemplou fertilização, ocorreu lixiviação de fosfato mesmo após 2 e 3 anos, a partir da implantação das coberturas.

Por outro lado, as amostras coletadas das coberturas verdes apresentaram melhores resultados no que se refere à concentração de metais pesados: os teores de Cu, Zn e Pb foram menores do que os encontrados na água coletada diretamente da atmosfera.

Segundo Jaslow (2008), a água drenada pelas coberturas verdes apresenta alto índice de sedimentos em suspensão no primeiro ano de instalação da cobertura, não devendo ser coletada para aproveitamento. Após o primeiro ano de instalação, a cobertura apresenta uma maior estabilidade na lixiviação de compostos e sedimentos.

As principais conclusões desse trabalho foram:

- a água drenada pelas coberturas verdes possui cor amarelada, devido à presença de matéria orgânica, o que aumenta a complexidade do tratamento a ser conferido à água para o aproveitamento; além disso, as altas concentrações de Ferro e de Fosfatos diminuem a eficácia da esterilização por ultravioleta;
- a água drenada no primeiro ano de instalação apresenta alto índice de sólidos em suspensão, não devendo ser coletada para aproveitamento, para evitar o entupimento de filtros, a sedimentação em tanques de armazenamento e danos às bombas.

USEPA (2009b) apresenta um estudo que avaliou a qualidade da água drenada por protótipos de coberturas verdes extensivas. Em vinte e um eventos de precipitação foram coletadas amostras e analisados o pH, condutividade, cor, turbidez, Fósforo,

Ferro e Zinco. As coberturas verdes apresentavam a seguinte composição: vegetação (suculentas), substrato (argila expandida e adubo) e esteira drenante. Uma das coberturas verdes não possuía vegetação, apenas o substrato sem adubo. As coberturas convencionais consistiam de cobertura de asfalto.

Os resultados obtidos para as amostras das coberturas verdes, em relação às coberturas de referência foram:

- pH mais elevado;
- cor amarelada, que limita seu aproveitamento em edificações, sem o devido tratamento;
- maior turbidez;
- maior condutividade elétrica e
- maior teor de Ferro e de Zinco.

As modificações na qualidade da água drenada pelas coberturas verdes, quando comparadas à cobertura de referência, foram atribuídas à adição de íons, sais e nutrientes. A partir disto, este estudo sugeriu o aproveitamento da água drenada por coberturas verdes, apenas para infiltração e rega de jardim.

Além disso, a média de valores referentes à cobertura verde apresentou-se pouco maior que a cobertura com substrato e não vegetada para: condutividade, cor, pH e turbidez. No entanto, os menores valores atingidos foram provenientes das coberturas verdes. A Tabela 2.6 apresenta a média de valores de Fósforo, Ferro e Zinco, para as coberturas vegetada, não vegetada e de referência.

Tabela 2.6– Médias de valores de P, Fe e Zn, no estudo realizado por USEPA (2009b)

Cobertura	Fósforo (mg/L)	Ferro (mg/L)	Zinco (mg/L)
Verde	0,41	0,041	0,013
Não vegetada	0,79	0,051	0,014
Convencional (asfalto)	0,05	0,006	0,004

Concluiu-se que os parâmetros analisados apresentaram melhoria ao longo do tempo, indicando um período de estabilização de um ano para os sistemas investigados.

Nicholson et al. (2010) analisaram três protótipos de coberturas verdes extensivas compostas por camada drenante em xisto expandido, camada de manta geotêxtil e substrato (mistura de xisto expandido, turfa, grãos e carvão ativado). A qualidade da água coletada das coberturas foi comparada a de três protótipos com cobertura convencional (telha metálica, de asfalto e de madeira).

Dentre os resultados desse estudo, destacam-se: o pH aumentou com a passagem da água pelas coberturas verdes e pelas convencionais; houve baixa liberação de Zinco em todos os tipos de coberturas investigadas.

Morgan et al. (2011) estudaram a presença de sólidos totais suspensos e de turbidez na água drenada por coberturas verdes, comparativamente a coberturas com apenas solo em cima da laje, sem vegetação.

A preocupação com a turbidez e sólidos suspensos totais decorreu da aparência desagradável da água drenada e de danos que podem ser causados à biodiversidade aquática, uma vez que alguns estudos indicam uma forte relação entre a remoção da turbidez e de protozoários.

Foram utilizados quatro tipos de substrato: argila, carvão queimado, xisto e rocha vulcânica, todos com 0,10 m de profundidade. Nas coberturas verdes, estes substratos foram recobertos por cinco espécies de suculentas. Após dois meses, e dois meses e meio, foi adicionado 0,5 g/m² de fertilizante. Regas ocorreram, a cada 15 dias com água destilada, simulando a chuva.

Os dois parâmetros avaliados se comportaram de maneira similar e apresentaram aumento até o 4º evento de chuva, seguido de decréscimo significativo e pouca variação entre os demais eventos (Tabela 2.7). Isto pode ser explicado por um processo de carreamento inicial de partículas provenientes dos substratos.

Tabela 2.7– Turbidez e concentração de sólidos totais suspensos na água drenada de coberturas verdes e somente com solo, para diferentes tipos de substratos.

Fonte: elaborado a partir de Morgan et al. (2011)

Substrato	Turbidez (NTU)				Sólidos totais suspensos (mg/L)			
	Cobertura verde		Cobertura somente com solo		Cobertura verde		Cobertura somente com solo	
	Inicial	final*	inicial	final**	inicial	final*	inicial	final**
Argila	84	8	282	26	119	13	337	38
Carvão queimado	63	10	119	27	110	21	253	56
Xisto	181	27	568	52	295	53	1026	94
Rocha vulcânica	256	29	353	85	288	45	631	117

* corresponde ao valor obtido após 15 eventos de chuva, para coberturas verdes

** corresponde ao valor obtido após 11 eventos de chuva, para coberturas somente com solo

Para o grau de significância adotado, o efeito da vegetação foi significativo apenas no primeiro evento, em que os resultados de turbidez e de sólidos suspensos das coberturas somente com solo foram 3,5 vezes superiores. No entanto, nos demais eventos, este comportamento não foi detectado e a cobertura com vegetação teve os resultados desses parâmetros estabilizados. Contudo, no caso da cobertura vegetada, os resultados continuaram diminuindo ao longo dos eventos subsequentes.

Concluiu-se que o substrato apresenta grande influência sobre os parâmetros de qualidade estudados. Desta forma, a seleção do substrato torna-se uma consideração importante para o aproveitamento da água drenada por coberturas verdes para usos não potáveis nas edificações.

Mendez et al. (2011) compararam a qualidade de água drenada por diferentes materiais de cobertura usuais: telha de fibrocimento, metálica e concreto, telhado frio (pintura com tinta reflexiva) e coberturas verdes. As coberturas foram instaladas em protótipos de 2,8m².

Dentre os resultados obtidos, destacam-se:

- pH: aumento significativo do pH da água drenada pela cobertura verde em comparação à água coletada diretamente da atmosfera; as amostras de água de todas as coberturas atenderam aos valores constantes na documentação utilizada como comparação;
- condutividade: significativamente superior à da amostra coletada diretamente da atmosfera e das coberturas convencionais;

- coliformes totais e coliformes fecais: apresentou baixas concentrações de bactérias, porém foram detectados picos (elevados valores em relação à média);
- turbidez: a cobertura verde apresentou resultados significativamente mais baixos do que as demais, sendo o único parâmetro em que os valores obtidos foram inferiores à regulamentação adotada como referência;
- nutrientes (nitrito e nitrato): médias referentes à cobertura verde foram mais baixas que as da cobertura convencional;
- carbono orgânico dissolvido (COD): a cobertura verde apresentou valores significativamente elevados, quando comparado, com as demais coberturas, devido à presença de matéria orgânica do solo, da deterioração da vegetação e, também, de bactérias que colonizam a cobertura e
- metais: foram encontrados em grande quantidade: Arsênio, Zinco e Chumbo, decorrente da constituição dos substratos comerciais empregados no estudo.

A água drenada das coberturas verdes apresentou alguns metais, os quais não foram detectados nas amostras da água coletada diretamente da atmosfera. Os autores concluíram que a água drenada pelas coberturas verdes deveria passar por tratamento em vista da melhoria dos seguintes parâmetros: coliformes totais, coliformes fecais, turbidez e alumínio.

A inserção de fertilizantes e nutrientes no substrato representa um fator poluidor da água, quando esta percorre este substrato. Porém, o uso dessas substâncias pode ser necessário, principalmente no primeiro triênio de instalação, segundo diferentes autores consultados.

Diversos tipos de fertilizantes estão disponíveis no mercado, os quais possuem efeitos diferenciados no solo e na vegetação. No caso das coberturas verdes, segundo LUCKET (2009), o fertilizante de liberação lenta é o mais indicado, mantendo efeito por mais de 12 meses no solo e diminuindo o impacto de contaminação na água de drenagem urbana. Já os fertilizantes de rápida liberação podem contaminar as águas drenadas pelas coberturas verdes.

Vale ressaltar que a seleção da vegetação mais adequada ao clima e do tipo do substrato a ser implantado poderia reduzir, ou até mesmo eliminar, a necessidade do uso de fertilizantes, mitigando os impactos provenientes desta manutenção (EMILSSON et al., 2007; LUCKET, 2009).

A escolha adequada e cuidadosa da composição do substrato é outro fator importante para a minimização da influência das coberturas verdes na qualidade da água. O substrato pode ser o responsável pela presença de bactérias, partículas (geração de turbidez e sólidos) e alguns metais na água (MORGAN et al., 201; MENDEZ et al., 2011).

Um exemplo da importância da composição do substrato é que os substratos orgânicos tendem a possuir elevadas concentrações de Cu. No entanto, este micronutriente forma complexos estáveis com a matéria orgânica, e a pequena parte disponível às plantas, em uma forma mais solúvel, ocorre quando o pH do substrato encontra-se entre 5,0 e 6,5. (ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, 2007).

A Tabela 2.8 apresenta um resumo dos trabalhos citados, os quais indicaram alguma diminuição da qualidade da água drenada pelas coberturas verdes, representada, principalmente, por lixiviação de metais, nutrientes e demais elementos e indicadores de poluição microbiológica.

Tabela 2.8– Estudos que indicam diminuição da qualidade da água de chuva, ao passar pelas coberturas verdes.

Diminuição da qualidade indicada	Parâmetro	Referências
Liberção de metais	Zn	Nicholson et al. (2010) Mendez et al. (2011)
	Ar	Mendez et al. (2011)
	Pb	Nicholson et al. (2010) Mendez et al. (2011)
	Fe	Vijayaraghavan et al. (2012)
	Cu	Vijayaraghavan et al. (2012)
	Liberção de nutrientes	Fósforo total
	Nitrogênio total	Moran et al. (2004)
Liberção de outros compostos relacionados à poluição do escoamento	cor	De cuyper; Dinne e Van de Vel (2004) Jaslow (2008) USEPA (2009b)
	Condutividade elétrica	De cuyper; Dinne e Van de Vel (2004) USEPA (2009b) Mendez et al. (2011)
	turbidez	USEPA (2009b) Morgan et al. (2011)
	DQO	De cuyper; Dinne e Van de Vel (2004)
	COD	Mendez et al. (2011)

2.2 QUALIDADE DA ÁGUA NÃO POTÁVEL: PARÂMETROS E DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para uso seguro de água não potável nas edificações torna-se necessário, inicialmente, determinar os parâmetros a serem monitorados.

Nesse sentido, uma primeira referência se constitui nos parâmetros usualmente empregados para a avaliação da qualidade de águas brutas, quais sejam (VON SPERLING, 1995):

- Parâmetros físicos: cor, temperatura, sabor e odor e turbidez;
- Parâmetros químicos: pH, alcalinidade, acidez, dureza, Ferro e Manganês, cloretos, Nitrogênio, Fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica e micropoluentes inorgânicos e orgânicos;
- Parâmetros microbiológicos: grupo de coliformes.

A água de abastecimento em edificações deve atender, tanto à percepção imediata ao usuário, por meio dos parâmetros cor, textura, cheiro e gosto, como aos requisitos de saúde, os quais envolvem a avaliação de parâmetros que potencializam riscos à saúde do usuário, quando do consumo acidental.

Solderholm (2011) apresenta os principais parâmetros de qualidade da água relacionados com a saúde dos usuários, juntamente com o tipo de tratamento mais adequado, os quais são reproduzidos na Tabela 2.9.

Tabela 2.9– Parâmetros de qualidade da água de abastecimento.

Parâmetro	Substância	Fonte	Efeitos desta substância na água ou nas pessoas	Processo usual de tratamento
Desinfetantes químicos	Cloramina	Cloramina	- Odor e sabor ruins - Irritação na pele do usuário - Colapso na tubulação	Filtração média
Dureza	Bicarbonato de Cálcio dissolvido, bicarbonato de magnésio e bicarbonato de potássio	Solo e lençol freático (maior frequência em águas subterrâneas)	Formação de espuma na tubulação; dificuldade na remoção de resíduos de sabão.	Troca iônica; Filtração média; Injeção de componentes químicos.
Sulfeto de hidrogênio	Sulfeto de hidrogênio	Esgoto	- Corrosão; - Mau cheiro; - Mortal se inalado em grande quantidade;	Oxidação/filtração Filtração média Ozônio
Metais	Bicarbonato ferroso (em forma dissolvida, não oxigenada) e Óxido de ferro (forma precipitada)	Tubulação, entre outros.	- Mau cheiro (quando também há incrustações acumuladas na tubulação); - Gosto metálico; - Cor avermelhada (oriunda também de equipamentos)	Oxidação/filtração Injeção de químicos
Manganês	Manganês ou bicarbonato manganoso (em forma dissolvida)		- Manchas pretas de difícil remoção nos equipamentos sanitários	Oxidação/filtração Filtração por membrana Ozônio
Organismos	Bactérias	Ambientes com enxofre e ferro são propícios para o desenvolvimento de bactérias	- Odores desagradáveis; - Descoloração; - Biofilme;	Oxidação/filtração Filtração por membrana Filtração mecânica Injeção de químicos UV Ozônio
pH		- pH baixo: altos níveis de dióxido de carbono dissolvidos - pH alto: alto nível de minerais alcalinos presentes no solo (bicarbonatos e cálcio)	- pH baixo: gosto azedo e corrosão da tubulação; - pH alto: gosto azedo e agressividade a metais, tais como o Alumínio;	Troca iônica; Injeção de químicos Filtração média
Sílica			- Entupimento de tubulações - Colmatação de membranas	
Ácido Húmico		- Folhas em decomposição e vegetação - Mais encontrados em águas superficiais	- Cor amarelada - Gosto ruim	Troca iônica; Filtração por membrana Ozônio

Fonte: adaptado de SOLDERHOLM (2011)

Tabela 2.8– Parâmetros de qualidade da água de abastecimento, efeitos e tratamentos (continuação).

Parâmetro	Substância	Fonte	Efeitos desta substância na água ou nas pessoas	Processo usual de tratamento
Sólidos totais dissolvidos	Qualquer substância dissolvida na água		- Gosto ruim; - Corrosividade elevada, - Incrustações nas tubulações e equipamentos	Troca iônica; Filtração por membrana
Turbidez	Substâncias em suspensão na água	- Partículas; - Alto nível de oxigênio na água	- Efeito turvo na água	Filtração mecânica
Arsênico	Substância inorgânica	- Encontrada naturalmente em águas subterrâneas - Mais comum nas proximidades de siderurgias e metalúrgicas	- Substância cancerígena	Oxidação/filtração Filtração por membrana Filtração média
Vírus e bactérias	<i>E. coli</i> , Legionella, Salmonella, Rotavírus dentre outros	- natural - contato com excretas humanas e de animais	- Distúrbios gastrointestinais e problemas pulmonares.	Filtração por membrana Filtração mecânica Injeção de químicos UV Ozônio
Cobre	Cobre	- Lixiviação de tubos de cobre e equipamentos	- Danos no fígado e anemia	Troca iônica; Filtração por membrana Filtração média
Mercúrio			- danos nos rins - danos fatais	Filtração por membrana Filtração média
Nitritos e Nitratos		- Excretas humanas e de animais; - fertilizantes encontrados nas águas de abastecimento	- redução da capacidade das células do sangue em absorver oxigênio	Troca iônica; Filtração por membrana
Giardia e Chyptosporidium		- Contato com excretas de animais	- Problemas gastrointestinais	Filtração por membrana Filtração mecânica UV Ozônio
Radioativos			- Produtos cancerígenos e tóxicos ao homem	Troca iônica; Filtração por membrana
Trihalometanos e compostos orgânicos voláteis		- Infiltração de resíduos industriais ou reação de desinfetantes químicos com compostos orgânicos da água.	- Produtos cancerígenos	Filtração por membrana Filtração média Ozônio

Fonte: adaptado de SOLDERHOLM (2011)

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2011) apresenta os seguintes padrões de qualidade para:

- águas de abastecimento doméstico: devem possuir uma qualidade relacionada à aceitação estética, sem substâncias químicas e organismos potencialmente prejudiciais à saúde dos usuários;
- águas destinadas à irrigação: deve ter uma salinidade não excessiva e ser isenta de substâncias químicas que prejudiquem o solo, as plantações e a saúde, no

caso da rega de hortaliças, além da ausência de organismos também prejudiciais à saúde;

- águas para as atividades com contato direto com o usuário: não pode possuir substâncias químicas e organismos prejudiciais à saúde, além de baixas concentrações de sólidos em suspensão e óleos e graxas;
- águas para as atividades de recreação e lazer: a qualidade deverá obedecer ao nível de água de contato com o usuário; e
- águas para atividades apenas contemplativas: deve possuir aparência agradável.

O aproveitamento de água de chuva proveniente de coberturas requer o conhecimento da qualidade da água coletada e o uso final ao qual esta se destina.

Vários fatores podem influenciar na qualidade desta água, desde o tipo de material das coberturas até aspectos climáticos. Evans et al. (2007) confirmaram a relação entre direção e velocidade dos ventos na contagem de bactérias da água coletada de cobertura. Desta forma, relatou-se a necessidade de restrição de usos desta água para atividades menos nobres. Fungos e bactérias também podem causar problemas de saúde, tais como irritações na pele. Em outro estudo, Evans, Coombes e Dunstan (2006) concluíram que o período de estiagem apresenta maior relação com a alta contagem de coliformes totais que a intensidade de chuva.

Tendo em vista a proteção da saúde do usuário, a água não potável precisa de padrões mínimos de qualidade para uso nas edificações. Não existe uma norma ou regulamentação sobre sistemas prediais de água não potável no Brasil, apenas a norma de sistemas de aproveitamento de água pluvial, NBR15527 (ABNT, 2007), que apresenta parâmetros de qualidade da água para fins de aproveitamento.

Em função da falta de documentos normativos e regulatórios nacionais que contemplem valores limite para os parâmetros de qualidade da água, alguns documentos nacionais e estrangeiros têm sido utilizados pelos profissionais que atuam no projeto, execução, uso e operação de sistemas de água não potável, os quais são apresentados na Tabela 2.10.

Tabela 2.10– Parâmetros de qualidade de água não potável para aproveitamento em edificações.

Parâmetro	I	II	III	IV
pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 8
Cor aparente	≤ 10uH	< 30uH		< 15 uH
Turbidez	≤ 2 uT	< 5uT	≤ 2 NTU	< 2 uT e, para usos menos restritivos, < 5 uT
Odor e aparência	Não desagradáveis		inodoro e incolor	
Oleos e graxas	≤ 1 mg/L			
DBO	≤ 10 mg/L		10 mg/L	
Compostos orgânicos voláteis	ausentes			
Nitrogênio Total	--	5-30 mg/L		
Nitrogênio amoniacal	≤ 20 mg/L	--		
Fósforo Total	≤ 0,1mg/L	--		
Sólido suspenso total	≤ 5mg/L	< 20mg/L		
Sólido dissolvido total	≤ 500 mg/L	--		
Coliformes fecais	Não detectáveis	≤ 200/ 100 mg/L	Não detectável /100 mL	
Coliformes totais				Ausência em 100mL
Coliformes termotolerantes				Ausência em 100mL
Sódio		3 a 9*		
Cloretos		<350mg/L*		
Cloro residual		Máx. 1mg/L*	min 1,0 mg/L***	0,5 a 3,0 mg/L
Sódio		≤ 3,0**		
Cloretos		< 100m**g/L		
Boro		0,7 mg/L (culturas alimentícias) 3,0 mg/L (regas de jardim e similares)		

I - SAUTCHUK et al (2005), padrão de qualidade de água recomendado para águas de Reuso Classe 1 (lavagem de veículos e descarga de bacias sanitárias)

II – SAUTCHUCK et al (2005), padrão de qualidade de água recomendado para águas de Reuso Classe 3 (irrigação de áreas verdes e rega de jardins)

III – USEPA (2012): GUIDELINES FOR WATER REUSE padrão de qualidade de água indicado para o reuso urbano (para todos os tipos de irrigação, lavagem de veículos, descarga de bacias sanitárias, sistemas de combate a incêndio, sistemas comerciais de ar condicionado, e usos, acessos e exposição similares a estes)

IV – ABNT, NBR15527 (2007) Água de Chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis- Requisitos

* para irrigação superficial ** para irrigação com aspersores

*** recomendação aplicada apenas quando o cloro é utilizado como tratamento primário, sendo necessária a espera de no mínimo 90 minutos para desinfecção e 30 minutos para qualquer contato com a água.

Algumas normas e legislações voltadas para a qualidade de águas de abastecimento (CETESB, 2012; CONAMA, 2011) e para a água dos rios (USEPA, 2012) determinam limites de concentrações para parâmetros inorgânicos, tais como os metais, conforme apresentado na Tabela 2.11.

Tabela 2.11– Parâmetros de qualidade de águas para abastecimento e águas de rios.

Parâmetros	CETESB	CONAMA (valores máximos permitidos)	USEPA (água doce)
Cádmio (mg/L)	0,005 a 0,01	0,001	0.25
Chumbo (mg/L)	0,01 a 0,033	0,01	
Cromo total (mg/L)	0,05 a 0,059	0,05	11
Níquel (mg/L)	0,02 a 0,025	0,025	52
Mercurio (mg/L)	0,001 a 0,002	0,0002	0.77
Ferro dissolvido (mg/L)	0,3 a 5	0,3	
Manganês (mg/L)	0,1 a 0,5	0,1	
Zinco (mg/L)	5 a 5,9		120
Alumínio dissolvido (mg/L)		Max 0,1	
Cobre dissolvido (mg/L)		0,009	
Fósforo Total		0,02	

Existem também na literatura parâmetros qualitativos para a água em função do seu uso, tais como os apresentados em Sautchuck et al. (2005), os quais podem ser visualizados na Tabela 2.12.

Tabela 2.12– Parâmetros qualitativos de qualidade da água em função do tipo de uso.

Fonte: SAUTCHUCK et al (2005)

<p>▪ Água para irrigação, lavagem de piso e rega de jardim</p> <p>não deve apresentar mau cheiro não deve conter componentes que agriçam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas não deve ser abrasiva não deve manchar superfícies não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana</p>
<p>▪ Água para descargas em bacias sanitárias:</p> <p>não deve apresentar mau-cheiro não deve ser abrasiva não deve manchar superfícies não deve deteriorar os metais sanitários não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana</p>
<p>▪ Água para refrigeração e sistema de ar condicionado:</p> <p>não deve apresentar mau-cheiro não deve ser abrasiva não deve manchar superfícies Não deve deteriorar máquinas Não deve formar incrustações</p>
<p>▪ Água para lavagem de veículos:</p> <p>não deve apresentar mau-cheiro não deve ser abrasiva não deve manchar superfícies Não deve conter sais ou substâncias remanescentes após a secagem não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.</p>
<p>▪ Água para uso ornamental:</p> <p>Deve ser incolor Não deve ser turva não deve apresentar mau cheiro não deve deteriorar os metais sanitários e equipamentos não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana</p>

3. MATERIAIS E MÉTODOS

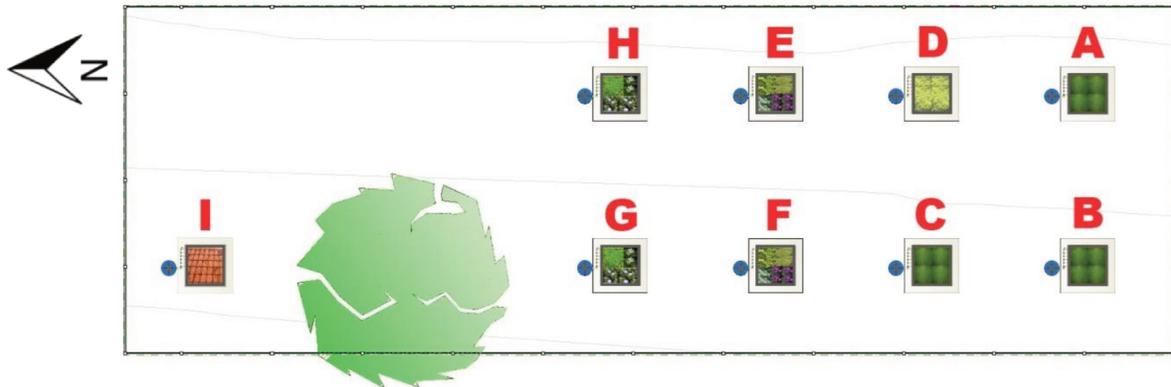
Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizadas nove coberturas experimentais, oito coberturas verdes e uma cobertura convencional (com telhas cerâmicas), aqui denominadas células-teste, todas estas instaladas na área experimental da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Estadual de Campinas (Figura 3.1).

As células-teste, identificadas com as letras A a I (Figura 3.2), foram executadas dentro de projeto de pesquisa financiado pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) que teve como objetivo avaliar o desempenho térmico e a capacidade de retenção de água pluvial em coberturas verdes (SILVA, 2012).

Figura 3.1– Localização da área experimental onde foram instaladas as células-teste.



Figura 3.2– Identificação das células-teste: A a H (coberturas verdes) e I (cobertura convencional).



Cada célula possui uma área de projeção horizontal de $7,61\text{m}^2$ ($2,76\text{m} \times 2,76\text{m}$), $3,15\text{ m}$ de altura e uma área de cobertura de $6,05\text{m}^2$. Tanto as coberturas verdes, como a cobertura convencional, foram instaladas sobre laje plana de concreto impermeabilizada e com declividade de 2% . A Figura 3.3 ilustra as células-teste investigadas.

As coberturas investigadas possuem diferentes configurações, conforme apresentado na Tabela 3.1.

Figura 3.3– Células-teste investigadas: (a) coberturas verdes e (b) cobertura com telhas cerâmicas



(a)



(b)

Três tipos de substratos, provenientes de dois fornecedores, foram instalados nas coberturas verdes estudadas:

- substrato tipo 1 (fornecedor X): coberturas A, E e H.
- substrato tipo 2 (fornecedor X): coberturas B, F e G;
- substrato tipo 3 (fornecedor Y): coberturas C e D.

Tabela 3.1– Caracterização das coberturas verdes instaladas nas células-teste.

Célula -teste	Manta drenante	Classificação do sistema (profundidade do substrato)	Tipo inicial do substrato	Sistema	Espécie vegetal - nome científico (nome popular)
A	Manta drenante com duas camadas de geotêxtil, e filamentos de polipropileno entre elas	Extensivo (0,10 m)	1	Contínuo	<i>Zoysia japonica</i> (grama esmeralda)
B	Manta drenante com uma camada de geotêxtil e filamentos de polipropileno	Extensivo (0,10 m)	2	Contínuo	
C	Georrede para contenção do substrato.	Extensivo (0,09 m)	3	Modular	
D	Georrede para contenção do substrato.	Extensivo (0,09 m)	3	Modular	
E	Manta drenante com duas camadas de geotêxtil, e filamentos de polipropileno entre elas	Extensivo (0,10 m)	1	Contínuo	<i>Aptenia cordifolia</i> (rosinha do sol), <i>Portulaca grandifolia</i> (onze horas), <i>Echeveria elegans</i> (rosa de pedra) e <i>Lampranthus productus</i> (Cacto Margarida).
F	Manta drenante com uma camada de geotêxtil e filamentos de polipropileno	Extensivo (0,10 m)	2	Contínuo	
G	Manta drenante com uma camada de geotêxtil e filamentos de polipropileno	Semi-intensivo (0,25 m)	2	Contínuo	<i>Arachis repens</i> (grama amendoim), <i>Evolvulus glomeratus</i> (evolvulus) e <i>Lantana undulata</i> (Lantana branca).
H	Manta drenante com duas camadas de geotêxtil, e filamentos de polipropileno entre elas	Semi-intensivo (0,25 m)	1	Contínuo	
I	—	Cobertura de referência	--	Telhado cerâmico	--

Os substratos das coberturas verdes foram caracterizados em laboratório. O ensaio de análise granulométrica foi desenvolvido segundo a NBR 7181 (ABNT, 1984). Para a realização desse ensaio, foram coletados 200mL de amostras dos substratos de cada cobertura verde em setembro de 2011, cerca de um ano após o término da fase de implantação inicial das coberturas verdes.

Os demais índices físicos (massa específica, densidade aparente, porosidade e índice de vazios) foram determinados de acordo com Terzaghi, Peck e Mesri (1996).

A caracterização química (determinação do pH e das quantidades de Fósforo, Carbono, Ferro, Cobre, Zinco, e matéria orgânica), foi realizada utilizando o método dos extratores (ITHAL, 2012).

Após o plantio das mudas, o acompanhamento do seu desenvolvimento foi efetuado durante três meses, com irrigação periódica e extração das plantas invasoras. Depois desse período, finalizado em outubro de 2010, a irrigação e manutenção foram suspensas. Ressalta-se que não foi efetuada qualquer adição de fertilizantes durante todo o período do monitoramento (Figura 3.4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 3.4– Condições de instalação e manutenção das células teste.



A ausência da irrigação e de manutenção visou atender aos requisitos da certificação LEED (USGBC, 2009) no que se refere a áreas verdes, mencionados nas seções SSc5.1- Proteção ou restauração de habitats, SSc5.2 – maximização de espaço aberto vegetado, além do atendimento ao critério SSc2 – Densidade de desenvolvimento e conectividade à comunidade do entorno.

3.1 INSTRUMENTAÇÃO, PROCEDIMENTO DE COLETA E ENSAIOS LABORATORIAIS

A altura pluviométrica foi medida por meio de um pluviógrafo, modelo TE525WS da Campbell Scientific®, instalado no mesmo local que as coberturas verdes (Figura 3.5). Os dados de precipitação foram coletados em intervalos de 1 hora.

Figura 3.5– Pluviógrafo instalado na área experimental, onde se localizam as células-teste.



Para as análises, estes dados foram agrupados considerando-se como eventos isolados aqueles separados por intervalos acima de seis horas sem registro de precipitação, conforme VanWoert *et al.* (2005).

Para a coleta de amostra de água direto da atmosfera, a qual foi efetuada somente na C2, foi empregado uma garrafa PET, devidamente higienizado antes da realização da coleta (Figura 3.6), colocado no local no momento inicial da chuva.

Figura 3.6– Dispositivo para a coleta da água de chuva direto da atmosfera (C2)



As células-teste foram providas de um sistema de captação da água drenada, composto por um tubo de dreno da cobertura e cinco tubos de coleta, com capacidade de armazenamento de 2,6 L cada. Os recipientes de coleta foram executados com tubos de PVC esgoto, série normal DN 75, cada qual finalizado por um registro de esfera de PVC (Figura 3.7). As coletas realizadas no presente trabalho foram efetuadas somente no tubo 1.

Figura 3.7– Dispositivo para a coleta das amostras de água drenada pelas coberturas.



As coletas de amostras da água drenada pelas coberturas verdes e pela cobertura convencional foram efetuadas em sete eventos de chuva, durante dois períodos de monitoramento.

Duas coletas (C1 e C2) foram realizadas cerca de seis meses após a fase inicial de implantação das coberturas, em abril de 2011, delimitando o período I de monitoramento. As demais coletas (C3 a C7) foram realizadas cerca de nove meses após as duas primeiras (C1 e C2), em janeiro e fevereiro de 2012, conformando o período II de monitoramento.

Os registros existentes no dispositivo de coleta de cada célula-teste foram mantidos constantemente abertos e somente eram fechados algumas horas anteriores aos eventos de chuva em que seriam efetuadas as coletas. Após cada evento de chuva em estudo, aguardava-se um período de aproximadamente 12 horas, de forma a garantir a drenagem de volume de água suficiente para os ensaios.

As amostras de água destinadas aos ensaios dos parâmetros físicos e químicos foram coletadas com o emprego de garrafas de plástico de 1,5L e 2,0L. Para os ensaios de

caracterização microbiológica foram utilizados frascos de vidro esterilizados em autoclave.

Em campo, o procedimento ocorreu da seguinte forma:

1. coleta de cerca de 200mL, na garrafa de plástico, para os ensaios de caracterização física e química;
2. coleta de cerca de 100mL, nos frascos de vidro estéreis, para realização dos ensaios dos parâmetros microbiológicos;
3. coleta do volume restante no primeiro tubo de coleta, novamente na garrafa plástica, garantindo o volume de amostra necessário para realização de todos os ensaios previstos;
4. abertura dos demais registros para o descarte do volume não aproveitado. Conforme destacado anteriormente, os registros permaneciam abertos até a realização da próxima coleta, quando o mesmo procedimento era realizado.

Imediatamente após as coletas, as amostras eram encaminhadas para o laboratório para a realização dos ensaios. As amostras não utilizadas nesse momento foram preservadas sob refrigeração para a realização das análises *a posteriori*, de acordo com o método determinado.

Os ensaios realizados em laboratório consistiram na determinação dos seguintes parâmetros: cor aparente, turbidez, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, cor verdadeira, condutividade, pH, Ferro, COD, DQO, NTK, Fósforo Total, Cádmio, Cromo, Cobre, Ferro, Manganês, Zinco, Coliformes totais e *E.coli*. Para todos os ensaios foram empregados os procedimentos constantes em APHA, AWWA e WEF (2004), citados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2– Ensaio de qualidade da água realizados em laboratório.

Parâmetros Físicos	Método
Cor aparente	SM20 2120C
Cor verdadeira	
Turbidez	SM20 2130 B
Condutividade	SM20 2510 B
Sólidos totais	
Sólidos totais fixos	
Sólidos suspensos voláteis	
Parâmetros Químicos	
Ferro	SM20 3030-E e SM20 3111-B
DQO	SM20 5520 D
NTK	SM20 4500 N Org B e SM20 4500 NH3 C
Fósforo total	SM20 4500 P-B4 e E
pH	SM20 4500 H ⁺ B
COD	SM20 5310 B
Cádmio	SM20 3030-E e SM20 3111-B
Cromo	
Cobre	
Manganês	
Zinco	
Parâmetros Microbiológicos	
Coliformes totais	SM20 9223 B
E. coli	

Nota: SM - Standard Methods (APHA, AWWA e WEF, 2004)

Vale destacar que, para a definição dos ensaios a serem realizados, considerou-se os parâmetros usualmente empregados para a avaliação da qualidade de água e, também, os usos mais frequentes da água não potável em edifícios, quais sejam, descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e rega de jardim.

A análise comparativa entre os resultados dos parâmetros físico-químicos da água drenada pelas coberturas foi efetuada por meio do teste não paramétrico de Mann-Whitney, com nível de significância igual a 0,05, considerando-se as coberturas aos pares. Este teste foi selecionado devido ao pequeno número e a não evidência de normalidade dos dados (BUNCHAFT e KELLNER, 2001; VOLPATO e BARRETO, 2011). Para essa análise, os dados dos dois períodos de coleta foram considerados conjuntamente.

Todos os resultados usualmente expressos em termos do limite de detecção (< LD) foram substituídos pelos referentes valores de detecção, para a realização da análise estatística.

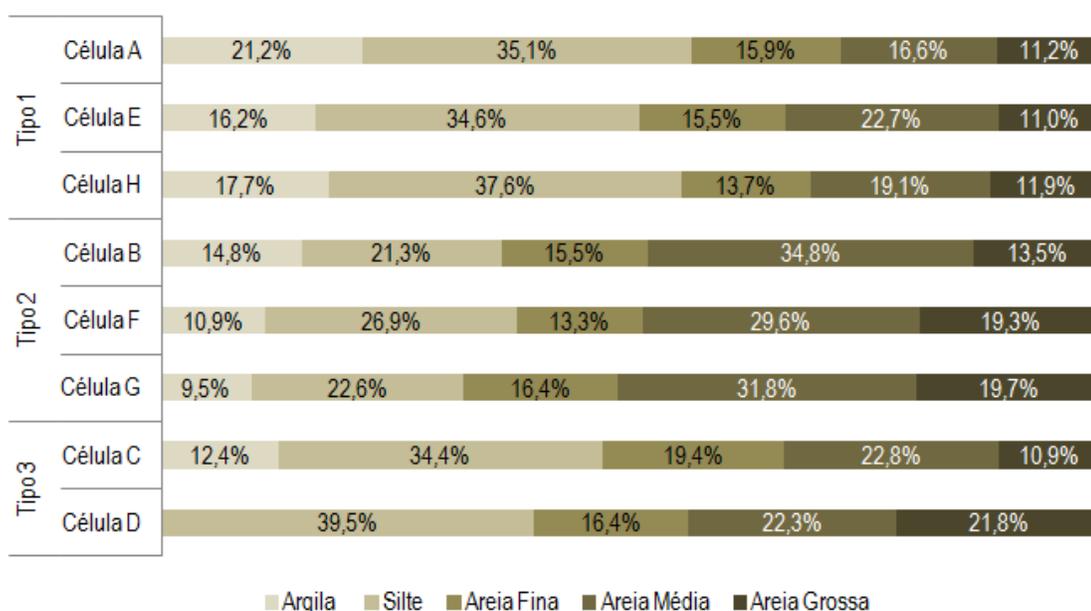
Os resultados obtidos foram confrontados com os valores recomendados para a água não potável constantes em Sautchuck et al (2005), USEPA (2012) e NBR 15527 (ABNT,

2007), os quais tem sido utilizados no país para avaliar as necessidades de tratamento para fins de uso em atividades que prescindam de água potável.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da caracterização física dos substratos é apresentado na Figura 4.1 e a caracterização química é apresentada na Tabela 4.1.

Figura 4.1– Composição granulométrica dos substratos das coberturas verdes investigadas: células-teste A, E e H - substrato Tipo 1; células-teste B, F e G - substrato Tipo 2; células-teste C e D - substrato Tipo 3. Amostras coletadas em setembro de 2011.



Considerando a NBR 6502 (ABNT, 1995), os substratos investigados são classificados como:

- Células A, E e H (Tipo 1): silte-arenoso e
- Células B, F, G (Tipo 2), C e D (Tipo 3): areia-siltosa

A ocorrência de solos siltosos no Brasil é rara e, por outro lado, agregados de argila estabilizados pela matéria orgânica possuem granulometria similar ao silte, assim, infere-se que as parcelas de silte encontradas nos substratos correspondem à argila.

Tabela 4.1– Concentração de nutrientes, valores de pH e de porcentagem de matéria orgânica presentes nos substratos das coberturas verdes investigadas - Data de coleta das amostras e realização dos ensaios: outubro de 2011. Fonte: ITHAL (2012)

Classif. inicial do substrato	Célula-teste	Fósforo ^a (mg/dm ³)	Carbono (g/dm ³)	Ferro (mg/dm ³)	Cobre (mg/dm ³)	Zinco (mg/dm ³)	pH ^b	M. O. (%)
Tipo 1	A	93,0	43,0	90,0	1,5	6,0	6,6	7,4
	E	83,0	38,0	123,0	1,5	14,0	6,8	6,5
	H	84,0	35,0	78,0	1,2	7,0	7,0	6,0
Tipo 2	B	165,0	27,0	186,5	3,0	25,0	6,8	4,6
	F	165,0	20,0	77,5	3,2	20,0	6,7	3,4
	G	175,0	19,0	89,0	2,5	25,0	7,0	3,3
Tipo 3	C	270,0	32,0	192,0	3,5	50,0	6,9	5,5
	D	215,0	37,0	643,0	5,5	40,0	6,7	6,4

^a determinado pelo método da resina

^b determinado pelo método H₂O

M.O. – matéria orgânica

Os substratos investigados apresentam teores de matéria orgânica iguais ou superiores a 4,5%, limite estabelecido para a classificação de solos com alto teor de matéria orgânica (EMBRAPA, 2012). Essa característica é determinante para a qualidade da água drenada pelas coberturas verdes, conforme será detalhado posteriormente.

4.1 EVENTOS DE CHUVA EM QUE FORAM REALIZADAS AS COLETAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA PARA ANÁLISE

A Figura 4.2 e a Figura 4.3 apresentam o perfil das alturas pluviométricas dos eventos de chuva, nos quais foram efetuadas as coletas das amostras para os ensaios em laboratório, respectivamente, nos períodos I e II.

Figura 4.2– Eventos de precipitação correspondentes às coletas das amostras para a realização dos ensaios em laboratório, períodos I (Abril de 2011) e II (Janeiro e Fevereiro de 2012).

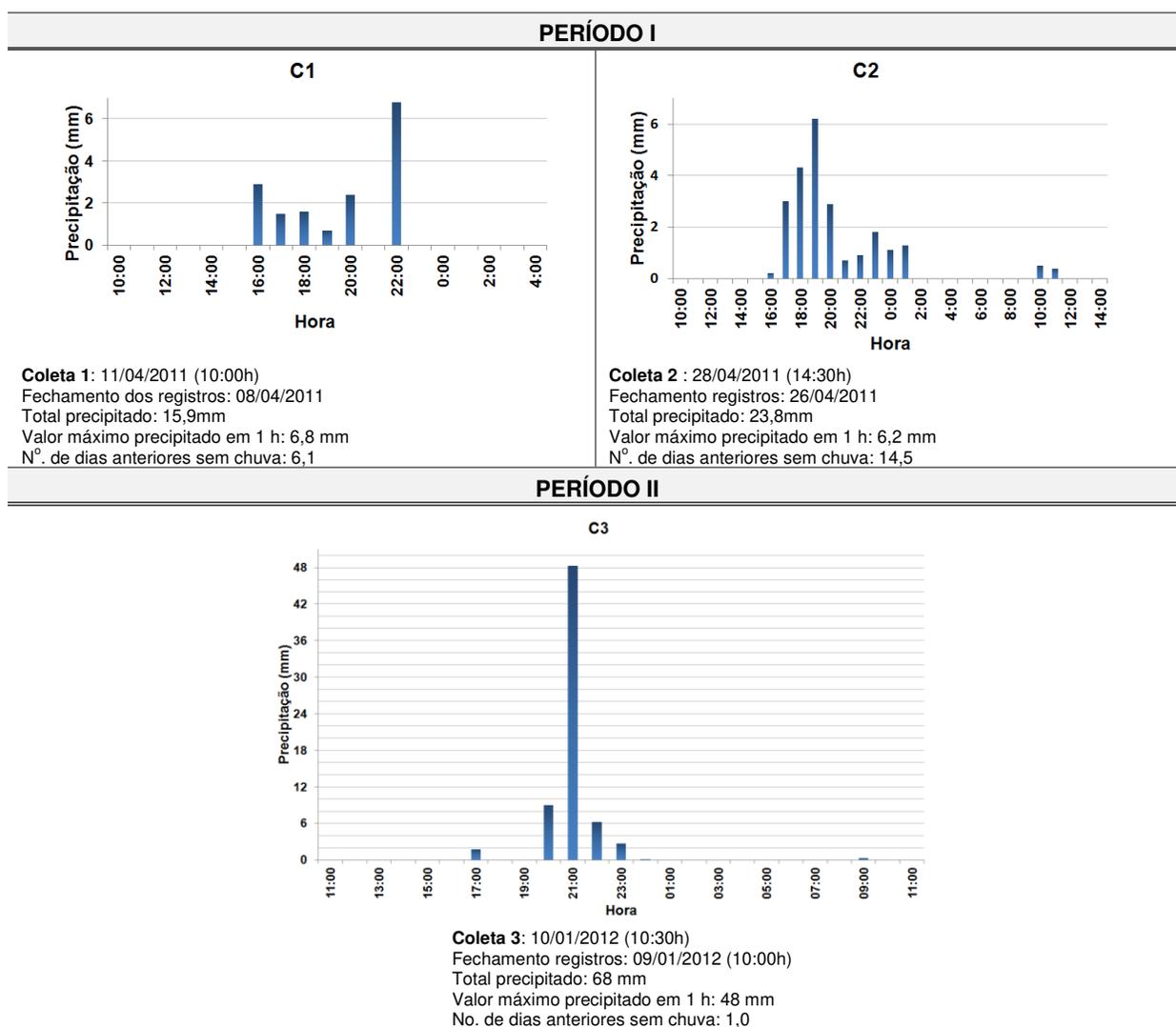
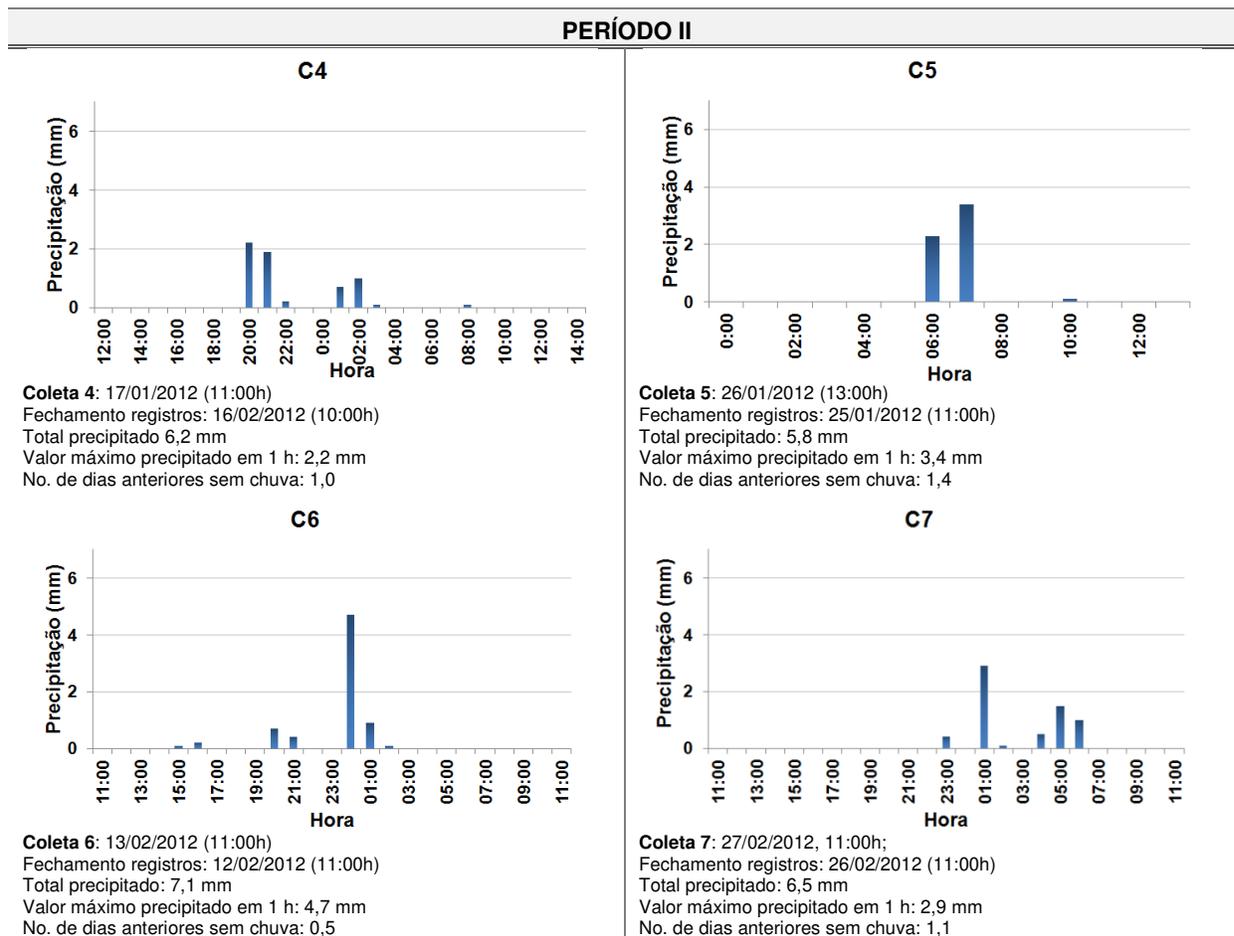


Figura 4.3– Eventos de precipitação correspondentes às coletas das amostras para a realização dos ensaios em laboratório, período II de monitoramento (Janeiro e Fevereiro de 2012)



4.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A Figura 4.4 ilustra os recipientes empregados em cada uma das sete coletas e as amostras correspondentes. A Figura 4.5 ilustra os frascos de vidro empregados para a coleta das amostras para a realização dos ensaios de caracterização microbiológica. A análise visual das amostras indicou, em geral, que:

- na coleta **C1**, a amostra da célula-teste A apresentou-se diferenciada das demais, com uma forte cor alaranjada associada à turbidez; as demais amostras apresentaram tons de amarelo e um pouco de turbidez (célula-teste F). Observou-se, de modo geral, a presença de sólidos grosseiros em suspensão, com a presença de alguns pequenos insetos (formigas) e por partículas provenientes do solo, sendo que a amostra da célula D continha formigas e pequenos insetos em maior quantidade do que as demais. A amostra coletada da cobertura de referência apresentou sólidos grosseiros visíveis, de rápida sedimentação;
- na coleta **C2**, a amostra da célula A apresentou novamente uma cor alaranjada forte, associada à turbidez; verificou-se a presença de insetos, porém em menor quantidade do que na **C1**. Além disso, a célula E, apesar de cor clara, apresentou-se visivelmente turva;
- na **C3**, a amostra coletada da célula A apresentou-se clara e turva. Houve presença de sólidos grosseiros, de rápida sedimentação, nas amostras das células B, D, E e F. As amostras das células G e H apresentaram um tom amarelo mais forte. Não houve presença de insetos nessa coleta;
- na **C4**, as amostras coletadas das células A e E apresentaram as cores mais claras; a amostra da célula B apresentou-se um pouco turva; notou-se a presença de sólidos sedimentáveis apenas na amostra da célula C, apesar de que em pequena quantidade; a amostra da célula G apresentou cor mais amarelada;

- na **C5**, o volume drenado nas células E, G e H foi insuficiente para a realização dos ensaios; a amostra com cor mais forte foi a da célula G; foi observada turbidez na amostra da célula D;
- na **C6**, apenas na célula H o volume drenado foi insuficiente para a realização dos ensaios; não houve presença de sólidos sedimentáveis nas amostras; as amostras das células A e E apresentaram as cores mais claras e a amostra da célula G a cor mais forte;
- na **C7**, o volume drenado pela célula G foi pequeno, mas suficiente para a realização dos ensaios; as amostras das células F e G apresentaram cores mais amareladas; a amostra mais clara e límpida foi a da célula A.

Figura 4.4– Recipientes e amostras da água drenada pelas coberturas verdes A, E, e H (substrato 1, sistema contínuo; A e E são extensivas, com substrato com 0,10 m de profundidade, H é semi-intensiva, com substrato com 0,25 m de profundidade) - coletas C1 a C7.

Célula	Tipo do substrato	Coleta						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A	1							
E						ND		
H		ND	ND			ND	ND	

ND – não disponível

Figura 4.4 (continuação)– Recipientes e amostras da água drenada pelas coberturas verdes B, F e G (substrato 2, sistema contínuo; F e G são semi-intensivas, com substrato com 0,25 m, B é extensiva, com substrato com 0,10 m de profundidade) e cobertura de referência - I (telhas cerâmicas) – coletas C1 a C7.

Célula	Grupo (classificação inicial dos substratos)	Coleta						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
B	2		ND					
F								
G						ND		
I								

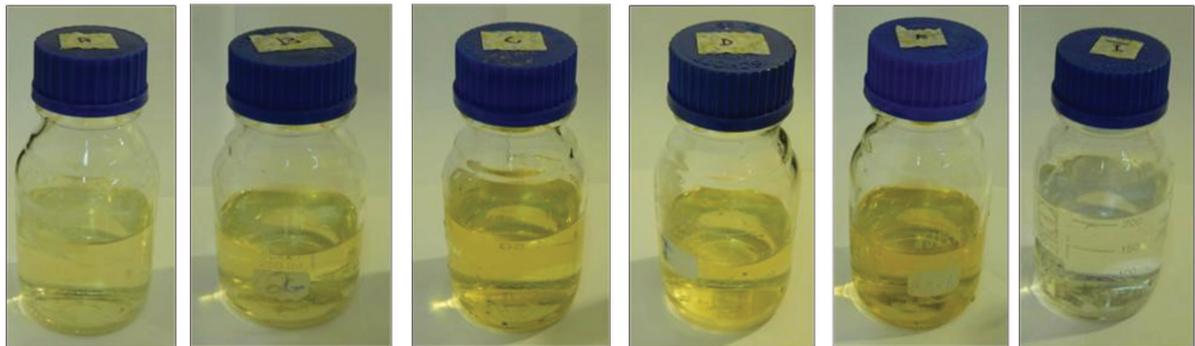
ND – não disponível

Figura 4.4 (continuação)– Recipiente e amostras da água drenada pelas coberturas verdes C e D (substrato 3, sistema modular) – coletas C1 a C7.

Célula	Grupo (classificação inicial dos substratos)	Coleta						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C	3							
D								

ND – não disponível

Figura 4.5– Amostras de água da C5 para a caracterização microbiológica (da esquerda para a direita): células A, B, C, D, F e I.

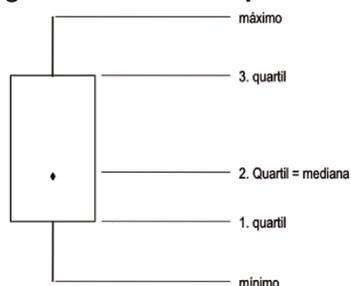


4.2.1 PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS

Os resultados dos ensaios de caracterização física e química da água drenada pelas coberturas verdes e convencional são apresentados nesse item, por tipo de parâmetro investigado.

Para a visualização da faixa de valores obtidos nas sete coletas, foram elaborados gráficos do tipo “caixa” (*Box-plot*). Nesse tipo de gráfico (Figura 4.6) são apresentados os valores mínimo, primeiro quartil (25% dos valores obtidos estão abaixo dele); segundo quartil (mediana, ou seja, 50% dos valores estão abaixo dele); terceiro quartil (75% dos valores estão abaixo dele) e o valor máximo.

Figura 4.6– Gráfico tipo “caixa”.



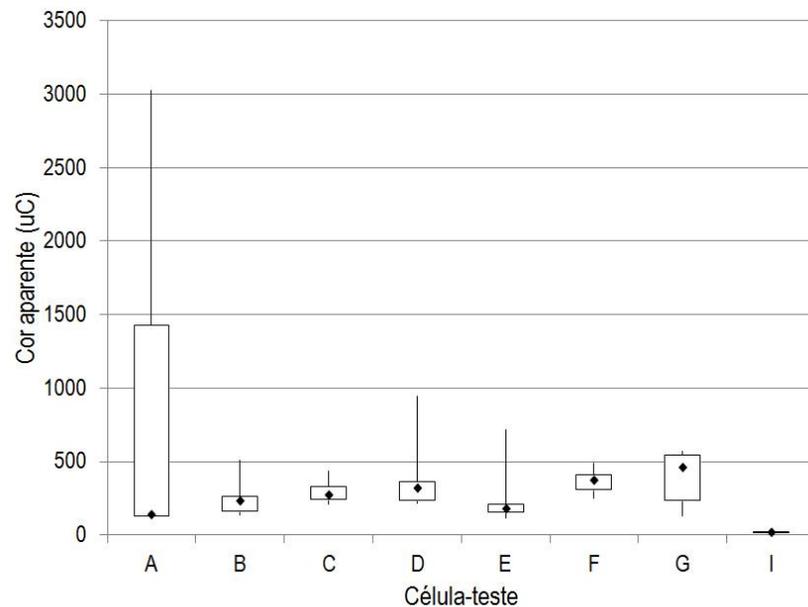
Ressalta-se que o volume drenado pela cobertura H foi muito baixo na maioria das coletas realizadas, o que impossibilitou a análise comparativa dos resultados obtidos por meio do teste estatístico citado no capítulo de Material e Métodos. Em função disso, os dados dos parâmetros referentes a essa cobertura são apresentados e analisados separadamente das demais coletas.

Conforme destacado no capítulo de Material e Métodos, a análise dos parâmetros investigados foi realizada por meio do teste não paramétrico de Mann-Whitney, para um nível de significância $\alpha = 0,05$, considerando-se as coberturas aos pares.

4.2.1.1 COR APARENTE

A Figura 4.7 apresenta a distribuição dos valores encontrados para a cor aparente, nos dois períodos de coleta.

Figura 4.7– Valores de cor aparente (uC) das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.



No caso da cobertura H, o volume drenado permitiu que se realizasse este ensaio em apenas quatro das sete coletas e os valores variaram entre 117 (C1) e 329 uC (C7).

Para um grau de significância de 0,05, os valores obtidos para a cor aparente das amostras coletadas das coberturas verdes não foram significativamente diferentes entre si.

A cobertura A apresentou valores mais elevados da cor aparente do que as demais no período I, devido à maior lixiviação de partículas do substrato, o qual apresenta os maiores teores de argila dentre os três tipos investigados. Contudo, no período II, a água drenada por esta cobertura apresentou um dos valores mais baixos de cor aparente. Substratos com maior teor de argila demoram mais para atingir a estabilização, daí a obtenção de melhores resultados no período II.

As amostras coletadas das coberturas com substrato de menor espessura apresentaram, em geral, uma diminuição dos valores de cor aparente do período I para o II. Exceção para as coberturas C e F, cujos valores foram similares para as amostras coletadas nos dois períodos.

Já a cobertura G, que apresenta substrato com maior espessura, os valores de cor aparente no período II foram superiores aos do período I. Infere-se que, nesse caso, possa ter ocorrido a solubilização do Ferro, permitindo a sua movimentação (carreamento), apesar do pequeno teor desse metal na composição do substrato. Esta tendência foi verificada também para as amostras da cobertura H, a qual, contudo, possui um menor de número dados.

Por sua vez, a amostra coletada diretamente da atmosfera, na C2, apresentou valor nulo para a cor aparente. A passagem da água pelas coberturas verdes e convencional conferiu cor à água, sendo que os valores obtidos para a cobertura convencional mostraram-se bastante inferiores à água drenada pelas coberturas verdes.

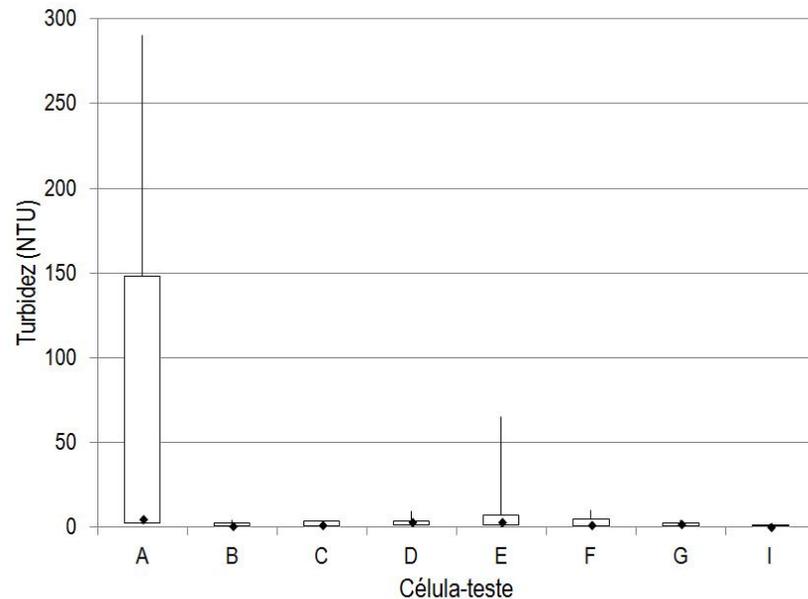
Os valores de cor aparente das amostras coletadas das coberturas verdes foram sempre superiores aos limites estabelecidos para a água não potável constantes nos documentos selecionados da literatura, os quais variam de inferior a 10 uC, para águas de reuso classe 1, a inferior a 30 uC, para águas de reuso classe 3, ambos constantes em Sautchuck et al (2005).

O valor médio da cor aparente para a cobertura convencional foi igual a 18 uC, compatível com a água de reuso classe 3, porém, superior aos valores constantes nos demais documentos consultados, incluindo a ABNT (2007).

4.2.1.2 TURBIDEZ

A Figura 4.8 apresenta os valores da turbidez das amostras coletadas nos dois períodos.

Figura 4.8– Valores de turbidez das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.



O volume drenado pela cobertura H permitiu que se realizasse este ensaio em apenas três das sete coletas. Os valores obtidos foram próximos aos das amostras das demais coberturas e variaram entre 0,6 e 2,9 NTU.

Em todas as células verificou-se uma redução da turbidez quando comparados os dois períodos de coleta, ficando o valor final abaixo de 2 NTU, que é considerado baixo.

As amostras coletadas da cobertura A apresentaram valores de turbidez superiores aos das demais coberturas, em praticamente todas as coletas, em especial na C1 e na C2. Nas demais coberturas verdes os dados foram muito similares entre si.

Considerando-se apenas os dados do período II, os valores de turbidez foram maiores nas amostras da C3, que foi realizada após um evento de chuva com altura precipitada bastante superior às demais.

Para o grau de significância considerado, apenas os valores da turbidez da água coletada pela cobertura A foram significativamente superiores aos da cobertura convencional, devido à maior lixiviação das partículas do solo dessa cobertura.

Comparando-se as coberturas verdes entre si, apenas os dados da cobertura A foram significativamente superiores aos da cobertura B. Isso se deve à diferença de

composição do solo das duas coberturas: a cobertura A apresenta mais partículas finas que a cobertura B e isso conferiu características diferenciadas para a água drenada por estas duas coberturas.

Por sua vez, a água coletada diretamente da atmosfera (C2) apresentou turbidez igual a 1,4 NTU, valor praticamente igual ao obtido para a cobertura convencional nessa coleta, porém inferior aos das amostras da água coletada pelas coberturas verdes, indicando uma diminuição da qualidade da água, nesse quesito, pela passagem pelas coberturas verdes.

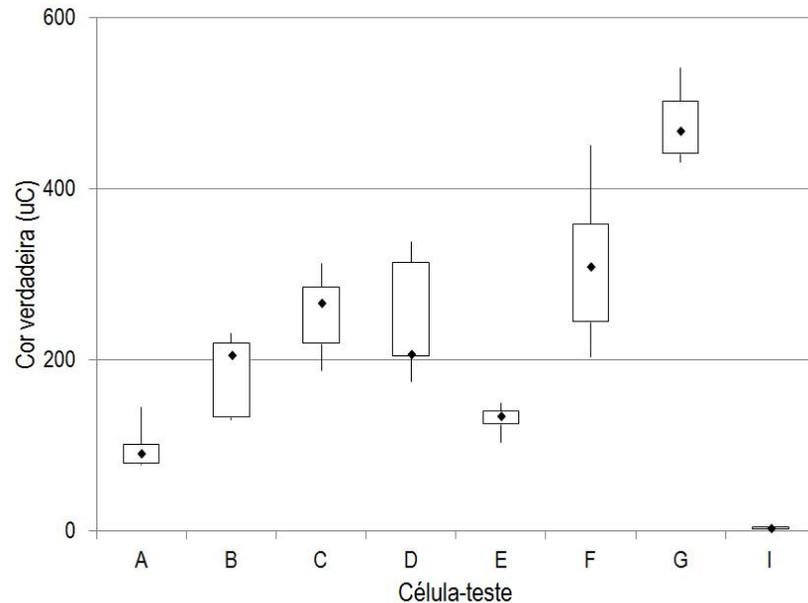
A maioria dos estudos consultados na literatura indica que há um aumento da turbidez da água drenada pelas coberturas verdes, tanto em relação àquela coletada diretamente da atmosfera, como à drenada por coberturas convencionais.

Os valores limites de turbidez para a água não potável, nos documentos consultados, variam de igual ou inferior a 2 NTU, para águas de reuso classe 1 (SAUTCHUK et al, 2005), para água para reuso urbano em geral (EPA, 2004) e para usos mais restritivos (ABNT, 2007) a inferior a 5 NTU, para água de reuso Classe 3 e para usos menos restritivos (ABNT, 2007). Com exceção das coberturas A e E, as quais apresentaram valores discrepantes no período de coleta I (C2 ou C1), o valor médio da turbidez da água drenada das coberturas verde e convencional foi inferior a estes limites.

4.2.1.3 COR VERDADEIRA

A Figura 4.9 apresenta os valores da cor verdadeira das amostras coletadas no período II de coleta. Este parâmetro não foi avaliado no período I.

Figura 4.9– Valores de cor verdadeira das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) no período II de coleta (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.



O volume drenado pela cobertura H permitiu que se realizasse este ensaio em apenas três das sete coletas e os valores variaram entre 202 e 319 uC, que são valores próximos aos obtidos para as demais coberturas verdes.

Para o grau de significância considerado, os valores da cor verdadeira das coberturas verdes foram significativamente superiores aos obtidos para as amostras coletadas da cobertura convencional.

Além disso, este parâmetro foi um dos que mais se apresentaram significativamente diferentes, quando comparadas duas coberturas verdes entre si.

Nesse sentido, destacam-se as coberturas A e G. No caso da cobertura A, os valores da cor verdadeira foram significativamente superiores aos obtidos por todas as demais coberturas verdes (com exceção da E). Já os dados da cobertura G só não foram significativamente diferentes dos obtidos para a cobertura F.

Em ambos os casos, isso foi causado pela maior lavagem de matéria orgânica e componentes que geram cor na água.

Os resultados das coberturas A e E não foram significativamente diferentes porque a composição das duas coberturas é bastante similar, diferindo apenas no tipo de vegetação.

Os valores da cor verdadeira decaíram e depois cresceram novamente da C3 para a C7. Este comportamento é consistente com as variações decorrentes do desenvolvimento da vegetação (crescimento e morte), que causa a solubilização de compostos orgânicos, além das características dos próprios substratos

Não existem valores limites desse parâmetro para a água não potável nos documentos e norma consultados.

4.2.1.4 FERRO E DEMAIS METAIS

A Figura 4.10 apresenta os valores de Ferro das amostras coletadas nos dois períodos e a Tabela 4.2 apresenta os resultados obtidos para os demais metais. A maioria dos resultados foi inferior ao limite detectável (LD) pelos equipamentos empregados para os ensaios.

No caso da cobertura H, o volume drenado permitiu que estes ensaios fossem realizados em apenas três das sete coletas, sendo que os valores variaram entre 0,12 e 0,18 mg/L, ou seja, próximos dos valores obtidos pelas demais coberturas, com exceção da A, que apresentou alguns valores superiores a esse.

Figura 4.10– Valores de Ferro das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.

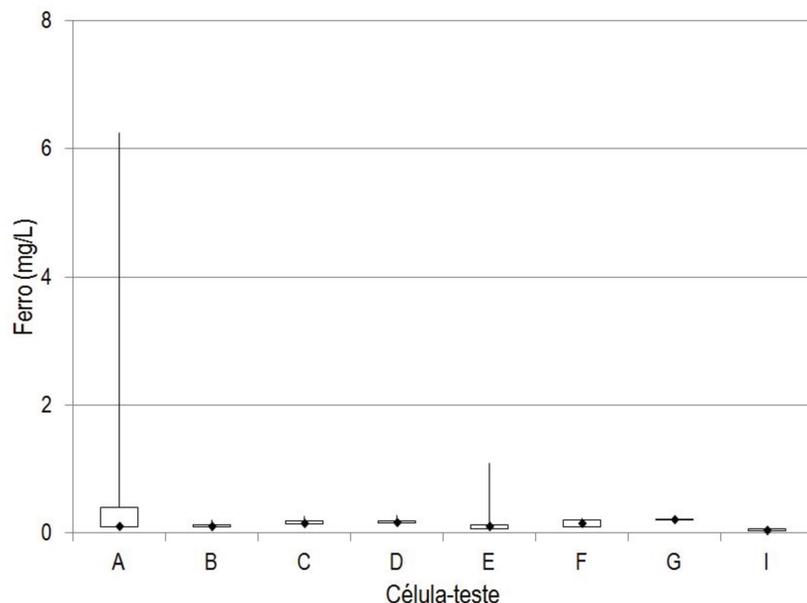


Tabela 4.2– Valores dos metais (Cu, Zn, Cd, Ni e Pb) das amostras coletadas nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012).

Coleta	Célula-teste	Metais					
		Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)
C1	A	<LD ₁	0,1	<LD ₁	<LD ₁	<LD ₁	<LD ₁
	B			S/A			
	C	<LD ₁	0,09	<LD ₁	<LD ₁	<LD ₁	<LD ₁
	D	0,1	0,07				
	E			S/A			
	F	<LD ₁					
	G			S/A			
C2	A	<LD ₁	0,95	<LD ₁	<LD ₁	<LD ₁	<LD ₁
	B			S/A			
	C	0,9	<LD ₁				
	D	0,8	0,09	<LD ₁	<LD ₁	<LD ₁	<LD ₁
	E		0,07				
	F	<LD ₁	<LD ₁				
	G			S/A			
I	<LD ₁	1,46	<LD ₁	<LD ₁	<LD ₁	<LD ₁	

S/A – sem amostra

LD – Limite de Detecção/ SM20 3030-E e SM20 3111-B

C1 e C2 (período I de monitoramento): LD₁ (Cu)= 0,06 mg/L; LD₁ (Zn)= 0,06 mg/L; LD₁ (Cd)= 0,09 mg/L, LD₁ (Cr)= 0,11 mg/L; LD₁ (Ni)= 0,06 mg/L, LD₁ (Pb)= 0,11 mg/L.

Tabela 4.3– Valores dos metais (Cu, Zn, Cd, Ni e Pb) das amostras coletadas no período II (janeiro e fevereiro de 2012)

Coleta	Célula-teste	Metais					
		Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)
C3	A	<LD ₂					
	B						
	C						
	D						
	E						
	F						
	G						
	H						
	I						
C4	A	<LD ₂	<LD ₂	<LD ₂	<LD ₂	0,04	<LD ₂
	B						
	C						
	D						
	E						
	F						
	G						
	H						
	I						
C5	A	<LD ₂	<LD ₂	<LD ₂	<LD ₂	LD ₂	<LD ₂
	B						
	C						
	D						
	E						
	F						
	G						
	H						
	I						
C6	A	<LD	<LD	<LD	<LD	LD	<LD
	B						
	C						
	D						
	E						
	F						
	G						
	H						
	I						
C7	A	<LD	<LD	<LD	<LD	0,05	<LD
	B						
	C						
	D						
	E						
	F						
	G						
	H						
	I						

S/A – sem amostra LD – Limite de Detecção/ SM20 3030-E e SM20 3111-B
 C3 a C7 (período II de monitoramento): LD₂ (Cu)= 0,03 mg/L; LD₂ (Zn)= 0,14 mg/L; LD₂ (Cd)= 0,10 mg/L; LD₂ (Cr)= 0,12 mg/L;
 LD₂ (Ni)= 0,03 mg/L; LD₂ (Pb)= 0,17 mg/L.

As amostras das coberturas B e E apresentaram teores de Ferro que não foram significativamente diferentes dos obtidos para a cobertura convencional, para o grau de significância considerado.

Quando comparadas as coberturas verdes aos pares, verifica-se que os resultados da concentração de Ferro não foram significativamente diferentes, apesar das concentrações diferentes desse metal no substrato.

Não existem limites para o teor de Ferro e demais metais na água não potável nos documentos consultados. Contudo, mesmo considerando a faixa limite apresentada por CETESB, 2012, para águas brutas para fins de abastecimento (0,3 a 0,5 mg/L), vê-se que todas as amostras atenderam a este limite.

Em geral, não foram detectados teores dos demais metais nas amostras das coberturas verdes e da cobertura convencional e, quando o foram, os valores foram próximos do limite detectável pelo equipamento empregado.

A presença de Zinco foi detectada em todas as amostras provenientes da cobertura convencional. Os valores de Zinco nas amostras da cobertura convencional foram sempre superiores aos das coberturas verdes. Isto se deve a presença de rufos e calhas em aço galvanizado apenas na cobertura convencional. As coberturas verdes possuem apenas uma borda em aço galvanizado, o que não sugere uma influência significativa deste metal para as coberturas verdes.

A partir da C4 verificou-se a presença de Níquel, em baixa concentração, em todas as coberturas, o que pode ser explicado pela diferença do limite de detecção do equipamento utilizado.

Não foi possível explicar o teor de cobre somente na C2, nas amostras das coberturas C e D.

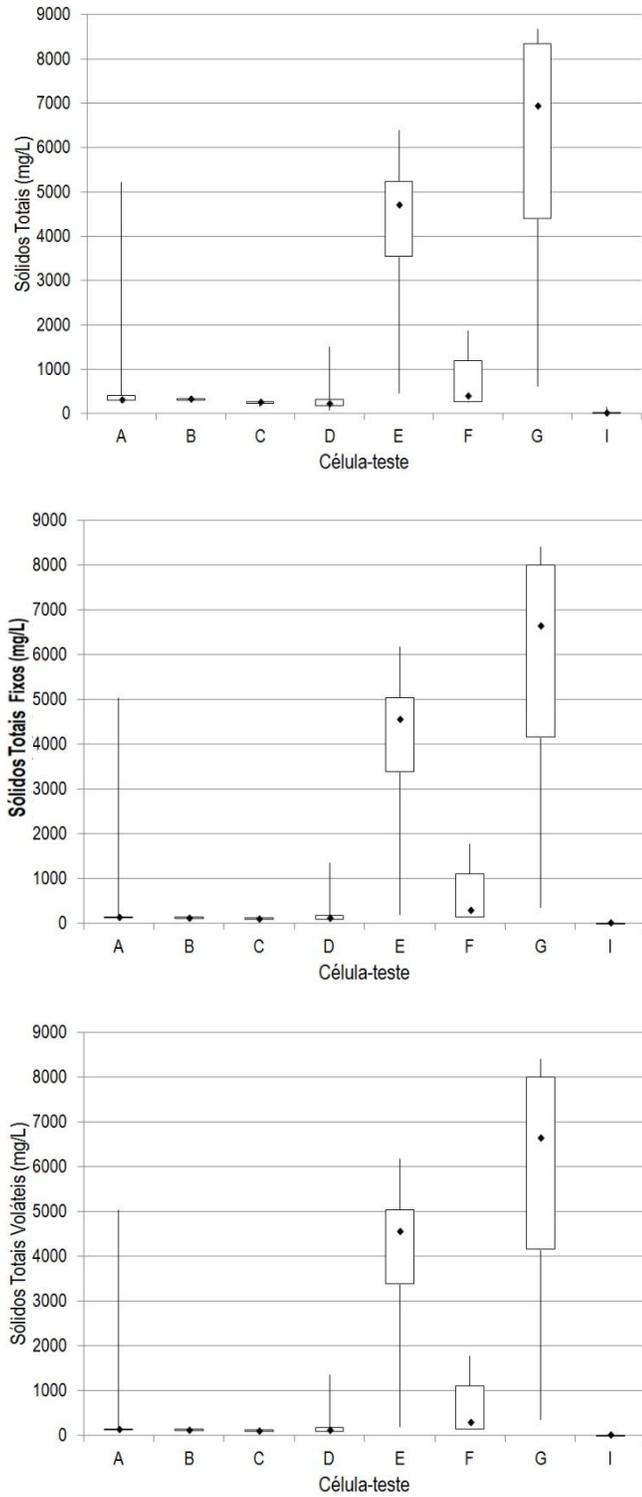
No caso dos demais metais, a maioria dos estudos pesquisados indica que as coberturas verdes atuam como depósitos desses componentes, contribuindo para a melhoria da qualidade da água.

4.2.1.5 SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS E SÓLIDOS TOTAIS FIXOS

A Figura 4.11 apresenta os valores de sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV) das amostras coletadas nos dois períodos em estudo.

O volume drenado pela cobertura H permitiu a realização desses ensaios em apenas três das sete coletas. Os valores obtidos de ST, entre 453 e 577,9, de STF, entre 258,6 e 281,9, e de STV, entre 182,7 e 296, apresentam-se dentro da faixa de valores obtidos pelas demais coberturas.

Figura 4.11– Valores de sólidos totais, totais fixos e totais voláteis das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados



A grande variabilidade dos valores de ST, STF e STV das coberturas E e G pode ser explicada pela presença de sais lixiviados pelo substrato, ou seja, de sólidos totais fixos. Na comparação das coberturas verdes, aos pares, essas duas coberturas foram as que tiveram todos os resultados significativamente maiores do que os obtidos para todas as demais.

Quando comparados os resultados de ST, STF e de STV, verifica-se que os resultados foram significativamente superiores aos obtidos para a cobertura convencional. Isto se deve ao fato de as coberturas verdes contribuírem com materiais orgânicos e inorgânicos para a água drenada.

Por sua vez, a água coletada diretamente da atmosfera, na C2, apresentou um valor de 3,8 mg/L, para ST e de 6,4 mg/L, para STF, ambos inferiores ao valor obtido para a água drenada pela cobertura convencional nessa coleta.

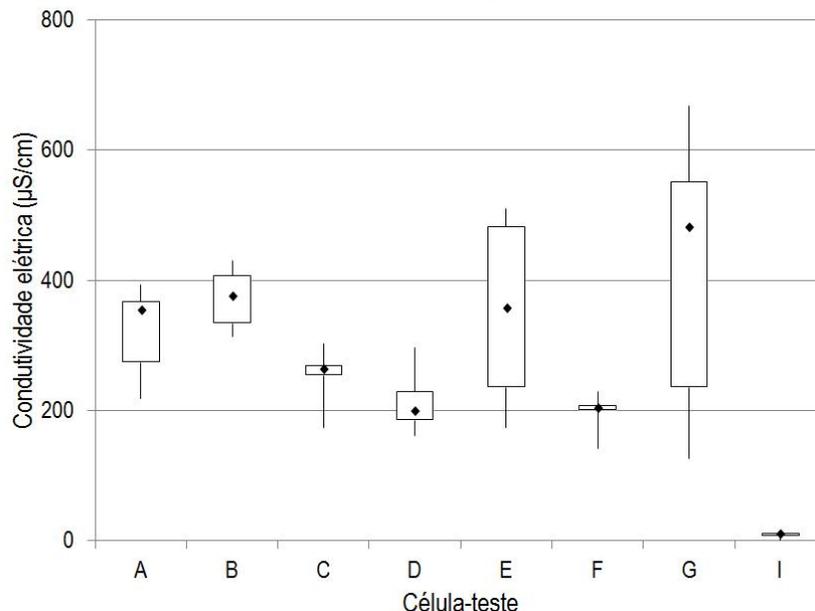
Não existem limites para os valores de ST, STF e STV para a água não potável nos documentos consultados

4.2.1.5 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A Figura 4.12 apresenta os valores da condutividade elétrica das amostras coletadas nos dois períodos investigados.

No caso da cobertura H, o volume drenado permitiu que se realizasse este ensaio em apenas três das sete coletas e os valores variaram entre 163 e 574 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que são superiores aos das demais coberturas, com exceção da G, que apresentou alguns valores superiores a esse. Estas duas coberturas, G e H, possuem maior espessura de substrato, o que pode ter proporcionado maior solubilização de íons.

Figura 4.12– Valores da condutividade elétrica das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos de monitoramento: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.



Os valores de condutividade elétrica foram maiores nas coletas do período II, em relação ao período I, com exceção das coberturas D e F.

Por sua vez, a água coletada diretamente da atmosfera, na C2, apresentou condutividade igual a 5,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cerca de metade do valor obtido para a água coletada da cobertura convencional. No caso das coberturas verdes, o valor da condutividade da água drenada foi muito superior, em qualquer uma das coletas consideradas. Assim, este parâmetro teve um aumento com a passagem da água pelas coberturas.

Os valores da condutividade foram significativamente maiores nas coberturas verdes do que na convencional. Isso se deve ao fato de que os substratos das coberturas verdes contribuem para o aumento de íons dissolvidos na água drenada.

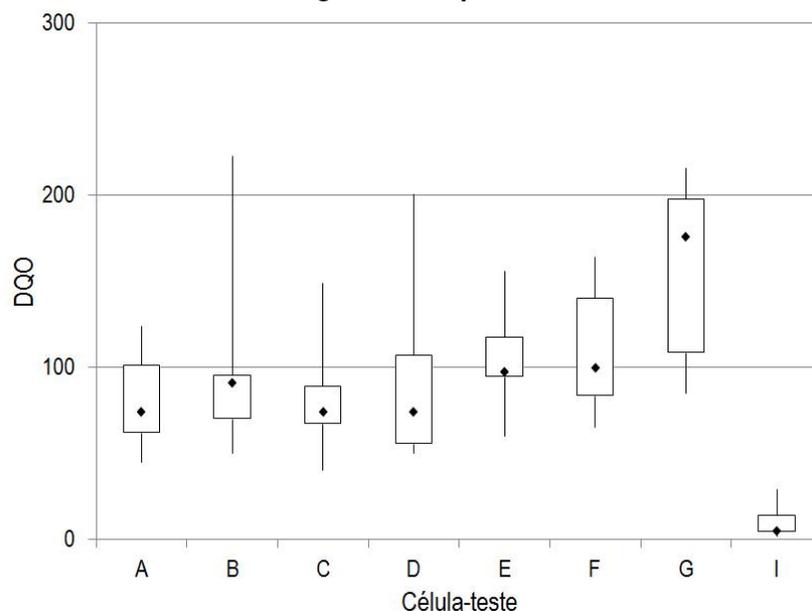
Comparando-se as coberturas verdes entre si, aos pares, verifica-se que as coberturas C, D e F apresentaram resultados significativamente diferentes da cobertura A e da cobertura B. Além destas, as coberturas C e F foram diferentes entre si. Isso se deve às diferenças entre as quantidades de sais lixiviados por estas coberturas.

Não existem limites estabelecidos para este parâmetro para a água não potável nos documentos consultados.

4.2.1.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO - DQO

A Figura 4.13 apresenta os valores da DQO das amostras coletadas nos dois períodos. O volume drenado pela cobertura H permitiu que se realizasse este ensaio em apenas três das sete coletas e os valores variaram entre 60 e 169, ou seja, dentro da faixa verificada para as demais coberturas.

Figura 4.13– Valores da DQO das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro De 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.



Os valores da DQO diminuíram do período I para o período II, com exceção das coberturas G e H. Estas duas coberturas apresentaram valores bastante elevados no período II em relação ao I. Comportamento similar foi verificado no teor de carbono orgânico dissolvido (COD). Isso evidencia a presença de matéria orgânica nas amostras coletadas, o que decorre dos altos teores no substrato.

Por sua vez, a água coletada diretamente da atmosfera na C2 apresentou DQO de 2,0mg/L, ou seja, praticamente metade do valor obtido para a cobertura convencional nessa mesma coleta. Já as coberturas verdes apresentaram valores de DQO bastante superiores, não somente na C2, mas em todas as demais coletas.

Os valores da DQO das amostras coletadas das coberturas verdes foram significativamente superiores aos valores encontrados para a cobertura convencional, devido à presença da matéria orgânica no substrato das coberturas verdes.

Quando comparadas as coberturas verdes entre si, aos pares, vê-se que a cobertura G apresentou resultados significativamente superiores aos das coberturas A, C e D, para o grau de significância considerado. O substrato da cobertura G teve estabilização mais lenta, o que pode explicar os resultados obtidos.

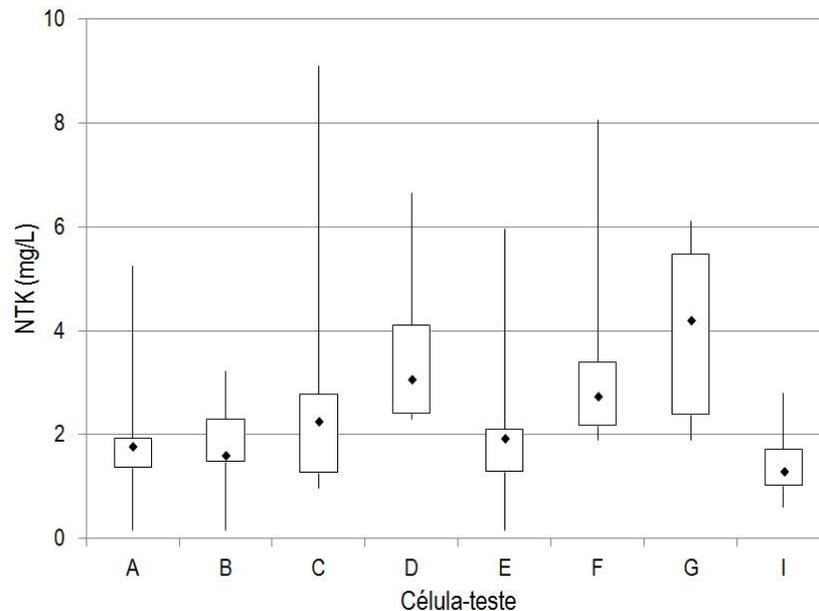
Não há limites para a DQO na água não potável nos documentos consultados.

4.2.1.7 NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL - NTK

A Figura 4.14 apresenta os valores de NTK das amostras coletadas nos dois períodos. Este parâmetro foi determinado somente a partir da C2.

O volume drenado pela cobertura H permitiu que se realizasse este ensaio em apenas três das sete coletas e os valores variaram entre 1,3 e 2,4 mg/L, ou seja, dentro da faixa obtida pelas demais coberturas nessas três coletas.

Figura 4.14– Valores de NTK das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.



Em geral, os valores de NTK diminuíram do período I para o período II de coleta, com exceção da cobertura G, que apresentou comportamento similar dos demais parâmetros relacionados à lixiviação de componentes do solo.

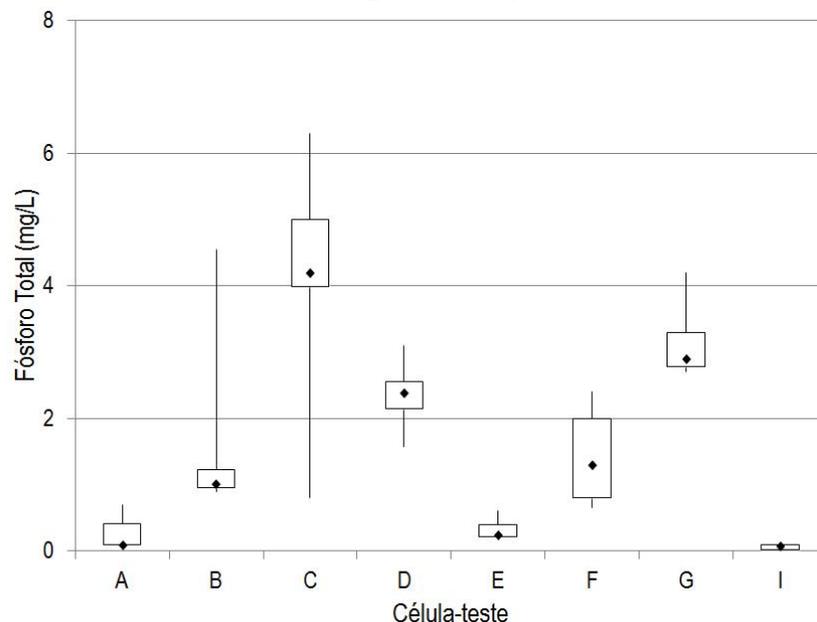
Apenas as amostras coletadas das coberturas D, F e G apresentaram valores de NTK significativamente superiores aos obtidos para a cobertura convencional, para o grau de significância considerado. Além disso, o NTK da amostra coletada da cobertura D também apresentou resultado significativamente diferente do obtido para a cobertura A. Apesar disto, não foi identificada uma tendência no comportamento das coberturas verdes em relação a este parâmetro.

Não existem limites para NTK na água não potável nos documentos consultados. Contudo, verifica-se que os valores variaram entre 1 a 4 mg/L, considerados baixos.

4.2.1.8 FÓSFORO TOTAL

A Figura 4.15 apresenta os valores de Fósforo Total das amostras coletadas nos dois períodos investigados. O volume drenado pela cobertura H permitiu que se realizasse este ensaio em apenas três das sete coletas e os valores variaram entre 0,07 e 0,2, ou seja, abaixo dos valores obtidos para as demais coberturas.

Figura 4.15– Valores de Fósforo Total das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados.



Houve diminuição da concentração de Fósforo Total quando comparados os resultados dos períodos I e II de coletas, com exceção nas amostras das coberturas C e D. Esse comportamento também foi citado na literatura pesquisada. Vale destacar, contudo, que este comportamento depende das características do substrato.

Os valores de Fósforo Total das amostras coletadas de todas as coberturas verdes foram significativamente superiores aos da cobertura convencional.

Comparando-se os teores de Fósforo Total das amostras coletadas das coberturas verdes aos pares, a maioria dos resultados foi significativamente diferente para o grau de significância considerado. Devido à característica de retenção do Fósforo pelo substrato, provavelmente relacionado à presença de matéria orgânica no mesmo, a incidência deste elemento na água drenada ocorre apenas quando ele é carregado juntamente com outros componentes do substrato.

Vale destacar que os valores de Fósforo total das amostras coletadas da cobertura B foram significativamente diferentes apenas da cobertura E.

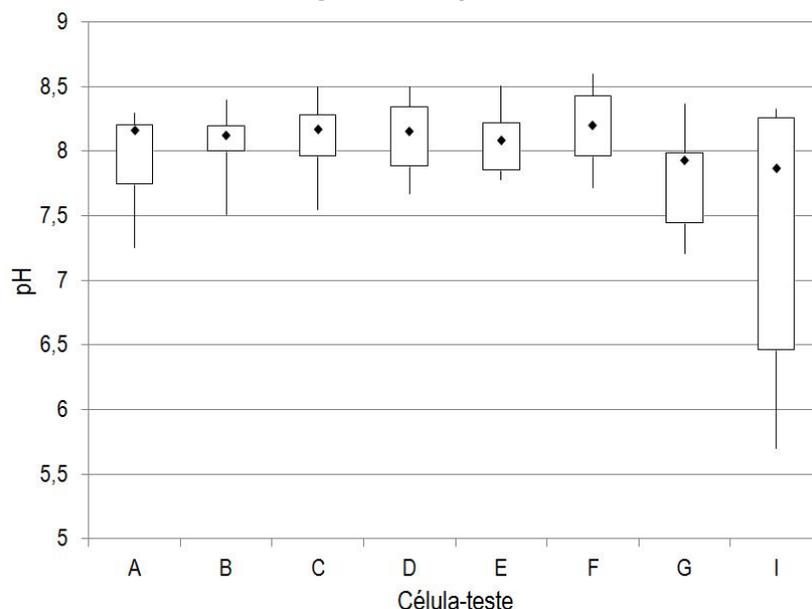
Dos documentos selecionados para a análise da qualidade da água não potável, apenas SAUTCHUK et al (2005) apresenta o limite de 0,1 mg/L de Fósforo (águas de reuso classe 1). Esse valor não foi ultrapassado apenas nas amostras coletadas da cobertura convencional e em algumas amostras da cobertura A e H, as quais apresentavam menor teor desse componente no substrato, e somente no período II.

4.2.1.10 pH

A Figura 4.16 apresenta os valores do pH das amostras coletadas nos dois períodos de estudo.

O volume drenado pela cobertura H permitiu a realização desse ensaio em apenas três das sete coletas efetuadas. Os valores obtidos variaram entre 6,8 e 8,5, dentro da faixa obtida para as demais coberturas.

Figura 4.16– Valores do pH das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) nos dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados



O pH da água drenada pelas coberturas (verdes e convencional) foi superior a 7,0. Exceção para apenas uma das amostras da cobertura convencional, no período II de coletas. Não existiram diferenças significativas entre os valores obtidos para as amostras coletadas das coberturas verdes e da convencional. O mesmo foi verificado quando comparadas as coberturas verdes entre si.

A passagem da água pelas coberturas diminuiu a acidez da água da chuva. O valor do pH da água coletada diretamente da atmosfera, na C2, foi 5,6, enquanto que a água drenada pela cobertura convencional apresentou um pH igual a 7,1 e as coberturas verdes apresentaram valores entre 7,2 (G) e 8,2 (A), nessa mesma coleta.

Solos com pH em torno de 6,0-6,5 apresentam as condições ótimas para o desenvolvimento das plantas, com maior disponibilidade de nutrientes. Todos os substratos investigados apresentaram valores superiores a esta faixa e isso pode ter influenciado a incidência de nutrientes na água drenada.

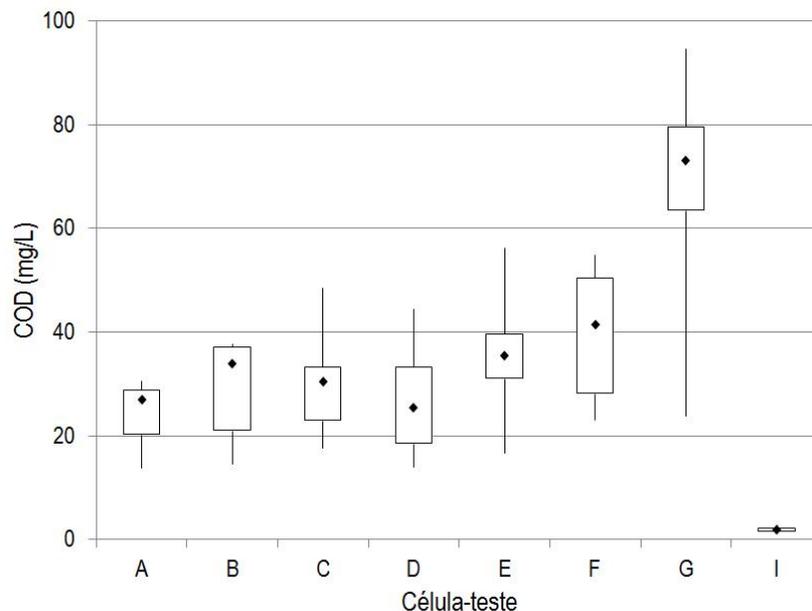
No caso da água não potável, os documentos consultados apresentam valores do pH para a água não potável variando de 6 e 9. Todos os valores obtidos, com exceção da amostra da cobertura convencional na C1, que foi ligeiramente inferior ao limite mínimo, estiveram dentro dessa faixa.

4.2.1.11 CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO – COD

A Figura 4.17 apresenta os valores de COD das amostras coletadas nos dois períodos investigados.

O volume drenado pela cobertura H permitiu a realização desse ensaio em apenas em três das sete coletas. Os valores obtidos variaram entre 42,2 e 97,3. Esses valores, juntamente com os obtidos para a cobertura G, foram mais elevados do que os obtidos para as demais coberturas. As duas coberturas possuem maior espessura do substrato e maior conteúdo de matéria orgânica, indicado também pelo maior valor da DQO, citado anteriormente.

Figura 4.17– Valores de COD das amostras coletadas das coberturas verdes (A a G) e com telhas cerâmicas (I) dois períodos: I (abril de 2011) e II (janeiro e fevereiro de 2012). Pontos demarcados em cada retângulo correspondem à mediana dos dados



Os valores de COD diminuíram do período I para o período II, com exceção da cobertura G.

O valor do COD da água coletada diretamente da atmosfera na C2 (2,9 mg/L) foi próximo do valor obtido para a cobertura convencional. Já os valores obtidos para as coberturas verdes foi bastante superior, o que se deve à presença de matéria orgânica na água drenada pelas coberturas verdes.

Os resultados obtidos para as coberturas verdes foram significativamente superiores aos da cobertura convencional para o grau de significância considerado, o que se explica pela presença de matéria orgânica em maior quantidade nas coberturas verdes.

Quando analisadas as coberturas verdes aos pares, os resultados obtidos para a cobertura G foram significativamente superiores apenas aos da cobertura D. O substrato da cobertura D estabilizou mais rapidamente do que o da cobertura G, que teve este processo bem mais lento do que as demais coberturas.

Não existem limites especificados para a água não potável nos documentos consultados.

4.2.2 PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS

A Tabela 4.4 apresenta as concentrações de Coliformes Totais e *E.coli* nas amostras coletadas nos dois períodos. Vale destacar que este ensaio somente pôde ser realizado apenas a partir da C2.

Tabela 4.4– Caracterização microbiológica das amostras coletadas das coberturas verdes (A a H) e de referência (I), nas coletas C2 a C7.

Coleta	Célula	Análises microbiológicas	
		Coliformes totais (NMP/100mL)	<i>E.coli</i> (NMP/100mL)
C2	A	> 2,4x10 ³	1,0
	B	s/a	
	C		<1,0
	D		4,0
	E		<1,0
	F	> 2,4x10 ³	<1,0
	G		> 2,4x10 ³
	H		1,0
	I		2,0
C3	A		< 1,0
	B		
	C		10,0
	D		
	E	> 2,4x10 ³	
	F		
	G		< 1,0
	H		
	I		
C4	A	2,4x10 ³	< 1,0
	B	1,4x10 ³	
	C		1,0
	D		
	E	>2,4x10 ³	<1,0
	F		2,0
	G		
	H	2,0x10 ³	<1,0
	I	>2,4x10 ³	
C5	A	>2,4x10 ³	
	B	1,3x10 ²	<1,0
	C		
	D	>2,4x10 ³	1,0
	E	s/a	
	F	>2,4x10 ³	1,0
	G	s/a	
	H		
	I	>2,4x10 ³	2,0
C6	A	>2,4x10 ³	4,9x10 ²
	B	2,4x10 ³	
	C		<1,0
	D		
	E	>2,4x10 ³	4,0
	F		2,0
	G		<1,0
	H		
	I	>2,4x10 ³	3,0
C7	A	>2,4x10 ³	<1,0
	B	5,5x10 ²	
	C	>2,4x10 ³	3,0
	D	2,4x10 ³	
	E		1,0
	F		
	G	>2,4x10 ³	
	H		<1,0
	I		

s/a sem amostra

A água coletada diretamente da atmosfera na C2 apresentou coliformes totais no valor de $1,7 \times 10^3$ NMP/100 mL. No caso das coberturas verdes, este valor resultou $> 2,4 \times 10^3$ NMP/100 mL. Nas demais coletas, os valores foram, em geral, superiores a esses. Isso deve à presença de bactérias nos substratos estudados.

No entanto, a cobertura convencional também indicou contagem de coliformes totais acima de $2,4 \times 10^3$ NMP/100 mL. Conforme citado na literatura, os microrganismos existentes na atmosfera podem contribuir para a contaminação da água da drenada pelas coberturas. (EVANS et al, 2006).

No caso do *E.coli*, a amostra coletada diretamente da atmosfera na C2 apresentou valor inferior a 1,0 NMP/100mL. Em geral, a passagem da água pelas coberturas verdes nesse mesmo evento de chuva não provocou alteração no valor desse parâmetro, com exceção da cobertura G, onde possivelmente ocorreu alguma contaminação; não foi encontrada nenhuma outra explicação para este comportamento diferenciado.

Já o valor de *E.coli* da cobertura convencional na C2 foi um pouco superior ao da água de chuva nessa mesma coleta.

A variação de resultados de *E.coli*, tanto nas coberturas verdes como na convencional, considerando-se todas as coletas, pode ser justificada pela diversidade de contaminantes ambientais, tais como dejetos de pássaros, entre outros.

Apenas ABNT (2007) apresenta valor limite para coliformes totais na água não potável. Todos os valores obtidos na presente pesquisa foram superiores ao valor limite constante nos documentos consultados, ou seja, ausência em 100mL de amostra.

4.2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A passagem da água pelas coberturas verdes modifica alguns parâmetros da água coletada diretamente da atmosfera. Considerando-se apenas os dados das amostras coletadas em um evento de chuva (C2), verificou-se que a cor aparente, turbidez, condutividade, DQO, COD e pH tiveram os respectivos valores aumentados com a passagem da água pelas coberturas verdes.

Além disso, foram detectados maiores valores de coliformes totais na água drenada pelas coberturas verdes do que na amostra de água coletada diretamente da atmosfera. No caso da *E.coli*, a água coletada diretamente das coberturas verdes apresentou valores similares ao da água coletada diretamente da atmosfera, com exceção das coberturas D e G. A cobertura G apresentou concentrações muito superiores de *E.coli*, o que indica uma possível contaminação no momento da coleta.

A água drenada pela cobertura convencional na C2 mostrou valores superiores ao da água coletada direto da atmosfera somente nos parâmetros sólidos totais e sólidos totais fixos. Todos os demais parâmetros físico-químicos foram iguais ou inferiores aos da água da chuva. Tanto coliformes totais como *E. coli* foram superiores na amostra coletada da cobertura convencional do que na amostra coletada diretamente da atmosfera, indicando contaminação da água na passagem pela cobertura convencional, possivelmente pela presença de dejetos de pássaros na cobertura.

Os parâmetros físico-químicos da água drenada pelas coberturas verdes foram, em geral, significativamente diferentes dos obtidos para a cobertura convencional para o grau de significância de 0,05. Exceção para Ferro, NTK e pH, em que os valores obtidos em algumas coberturas verdes foram similares aos da cobertura convencional.

Existiram diferenças significativas entre os teores de Fósforo, tanto quando comparados os resultados das amostras das coberturas verdes entre si como com a cobertura convencional, o que se deve ao carregamento de compostos do substrato/vegetação.

O teor de metais foi quase sempre inferior aos limites detectados pelos equipamentos empregados para os ensaios, com exceção do Zinco, que foi detectado principalmente nas amostras da cobertura convencional, devido à existência de calha e rufo desse material.

Já os parâmetros microbiológicos da água drenada pelas coberturas verdes foram similares entre todas as coberturas e, em alguns casos, inferiores ao encontrados para a cobertura convencional.

Apesar das diferentes combinações de tipos e espessura do substrato, vegetação, manta geotêxtil ou mesmo de tipo de sistema (contínuo ou modular), os resultados encontrados indicaram poucas diferenças entre os parâmetros físicos e químicos quando comparadas as coberturas verdes aos pares, para o grau de significância de 0,05, em aplicação de método estatístico não paramétrico.

Merece destaque a melhoria de alguns parâmetros ao longo do tempo, quais sejam: cor aparente, turbidez, DQO, NTK e COD. O único parâmetro que aumentou ao longo das coletas efetuadas foi a condutividade. Por sua vez, o pH se manteve praticamente constante. Para os parâmetros microbiológicos não foi identificada nenhuma tendência de mudança com a idade da cobertura.

Verificou-se também que os valores obtidos para alguns parâmetros de qualidade, como, por exemplo, turbidez, aumentaram em função do volume precipitado nas coberturas verdes extensivas em sistema contínuo, porém, não foi possível identificar uma tendência a ser generalizada.

Diante do cenário geral ao qual as coberturas verdes foram expostas, verificou-se que a cobertura A apresentou os melhores resultados em termos da qualidade da água drenada, após um período de implantação correspondente, no presente estudo, a aproximadamente oito meses. Além disso, esta cobertura foi aquela em que a vegetação apresentou um bom desenvolvimento, mesmo sem rega ou manutenção.

Por outro lado, a cobertura G apresentou os piores resultados de qualidade da água drenada e, sobretudo, a vegetação não reagiu bem à falta de manutenção, apresentando invasão por outras espécies, em detrimento das espécies originais.

Com relação aos parâmetros constantes na norma brasileira NBR 15527 (ABNT, 2007), apenas os valores da turbidez e do pH foram atendidos pelas amostras de água drenada pelas coberturas verdes e convencional.

Verificando-se as exigências dos demais documentos acerca da qualidade da água não potável, observa-se que o teor de Fósforo, cujo limite, constante em Sautchuck (2005), para água de reuso classe I, foi ultrapassado pelas coberturas verdes e atendido pela cobertura convencional.

Desta forma, a água drenada por coberturas verdes deve sofrer tratamento antes do seu uso, de forma a minimizar os riscos à saúde dos usuários e a deteriorização dos componentes do sistema predial. Contudo, verificou-se que não há necessidades diferenciadas de tratamento em relação à água coletada pela cobertura convencional, considerando as exigências para a água não potável. A cor verdadeira, por exemplo, poderia ser removida pela aplicação de cloro, já utilizado no processo de desinfecção.

Pode-se inferir também que para a obtenção de um afluente de maior qualidade para o sistema de tratamento, o aproveitamento da água drenada por coberturas verdes deveria ocorrer somente após decorrido um certo período da implantação das mesmas, em que há uma maior estabilização do sistema solo/vegetação. A duração desse período depende de muitas variáveis, mas sugere-se um período mínimo de 6 meses para a estabilização do sistema. Vale ressaltar a premissa estabelecida no início da pesquisa, qual seja, a ausência de rega e de manutenção (adição de fertilizantes), o que pode implicar em diferentes recomendações nesse sentido.

Baseado na análise dos resultados obtidos nesse estudo propõe-se um ajuste dos parâmetros de qualidade da água drenada da norma brasileira NBR 15527 (ABNT, 2007) a serem monitorados, de modo a também contemplar as características das coberturas verdes:

- cor verdadeira – apesar de ser um ensaio um pouco mais complexo do que a cor aparente, este parâmetro representou melhor a qualidade da água, permitindo a identificação dos sólidos solúveis;
- turbidez - porque trata-se de um parâmetro representativo da quantidade de sólidos em suspensão e sedimentáveis como argila e silte;
- Ferro – por conta da composição do solo de algumas regiões brasileiras, os quais podem ser utilizados como substrato; vale destacar que esse composto

pode ser o responsável pela cor e também pela formação de biofilme em tubulações e reservatórios;

- NTK – porque permite a identificação de compostos amoniacais presentes em dejetos de pássaros e outros animais, além de compostos orgânicos;
- sólidos totais – por conta da granulometria e partículas de sólidos (materiais orgânicos e inorgânicos) presentes no substrato ;
- pH;
- Coliformes totais;
- *E.coli*, cujo ensaio é menos trabalhoso e mais rápido do que de coliformes termotolerantes.
- condutividade elétrica(apenas em usos mais específicos, tais como o aproveitamento industrial porque indica a solubilização de íons e presença de sais que podem comprometer determinados processos).

Além dos parâmetros citados, propõe-se a realização dos ensaios para a determinação do teor de Fósforo e da DQO, porém de forma esporádica. O Fósforo pode colaborar para a proliferação de microrganismos a partir da formação biofilme nas tubulações e reservatórios do sistema. A determinação da DQO é um indicativo do comportamento do teor de matéria orgânica proveniente do solo e vegetação.

Por fim, recomenda-se a determinação da dureza, dependendo do uso que será dado à água, uma vez que elevados valores desse parâmetro determinam, por exemplo, maior consumo de sabão. A determinação desse parâmetro não foi efetuada nessa pesquisa porque foram considerados os usos mais frequentes da água não potável nas edificações nacionais, quais sejam: descarga em bacias sanitárias, lavagem de grandes áreas de pisos (em que o sabão não é adicionado) e rega de jardim.

Quanto à periodicidade de realização dos ensaios de qualidade da água não potável para fins de aproveitamento, a norma brasileira especifica intervalos mensais para a maioria dos parâmetros, com exceção dos microbiológicos. Em função da variabilidade dos resultados obtidos nesta pesquisa, considera-se que esta periodicidade possa ser maior e, por exemplo, coincidir com as atividades de manutenção preventivas do sistema de tratamento previsto e, também, no início/final de longos períodos de estiagem ou de chuva.

Os ensaios de Fósforo e DQO poderiam ser realizados apenas para monitoramento e mais esporadicamente, por exemplo, a cada duas atividades de manutenção do sistema.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, verifica-se a necessidade de tratamento da água drenada por coberturas verdes para o seu aproveitamento nas edificações.

A maioria dos parâmetros de qualidade de água avaliados apresentaram valores acima dos limites definidos nos documentos consultados para água de reuso ou aproveitamento na edificação. No entanto, o mesmo tipo de tratamento recomendado para a água drenada por coberturas convencionais se aplica às águas drenadas pelas coberturas verdes.

Há necessidade de se respeitar um período de estabilização do sistema composto por vegetação/solo antes de aproveitar esta água na edificação. Este período depende de diversas variáveis que constituem o referido sistema, no entanto, pode-se estimar um período mínimo de seis meses para que a água tenha um padrão de qualidade mais estável. Ressalta-se que a determinação deste período nesta pesquisa se refere às coberturas verdes sob ausência de rega e de manutenção (adição de fertilizantes). Situações diferentes desta podem implicar em recomendações distintas para o período de estabilização.

A partir da caracterização das águas drenadas por coberturas verdes, sugere-se uma modificação dos parâmetros de qualidade de água de chuva para usos não potáveis na edificação presentes na NBR 15527 (ABNT, 2007), de forma a abranger águas drenadas por coberturas verdes. Os parâmetros turbidez, pH e coliformes totais devem ser mantidos. Os parâmetros cor aparente e coliformes termotolerantes poderiam ser substituídos por cor verdadeira e *E.coli*, respectivamente. Alguns parâmetros deveriam ser inseridos: Ferro, NTK, sólidos totais, teor de Fósforo e DQO. Além disso, o parâmetro dureza deve ser avaliado sempre que o uso da água envolver o emprego de sabão.

A periodicidade prevista na NBR 15527 (ABNT, 2007) para a realização dos ensaios de caracterização da água pode ser modificada, podendo estes ocorrer a cada manutenção preventiva do sistema de tratamento e também após longos períodos de estiagem ou de chuva. As análises de teor de Fósforo e DQO poderão ocorrer mais espaçadamente, a cada duas manutenções do sistema.

REFERÊNCIAS

Abreu, C. A.; Lopes, A. S.; Santos, G. **XI - Micronutrientes**. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F. de; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (Editores). *Fertilidade do Solo*. (1ª. Edição). Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.p.645-736.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 Ed. Washington D.C., EUA, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: solo – análise granulométrica – método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527**: água de chuva – aproveitamento de cobertura em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BECKERS, E., DEGRÉ, A. **Roof storage systems: Modelling and performance's comparison**. 2005. Disponível em: <http://www.fsagx.ac.be/ha/pdf/divers_ToitureVerte_EN.pdf> Acesso em: set. 2011.

BERNDTSSON, J. C.; EMILSSON, T.; BENGTTSSON, L. The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. **Science of the Total Environment**, v. 355, p. 48– 63, 2006.

BERNDTSSON, J. C. Green Roof performance toward management of runoff water quantity and quality: a review. **Ecological engineering**, 2009, v. 26, p. 351-360.

BLISS, D. . J.; NEUFELD, R. D.; RIES, R. J. Storm water runoff mitigation using a green roof. **Environmental Engineering Science**, v. 26, n. 2, 2009.

BUNCHAFT, G.; KELLNER, L. H. M. H. **Estatística sem mistérios**. 2a. Ed. Vozes. Petrópolis. 2001.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **IAP - Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público**. CETESB, 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/03.pdf>>. Acesso em: out. 2012.

CONAMA. **Resolução nº 430**, 13 de maio de 2011.

COOK-PATTON, S. C.; BAUERLE, T. L. Potential Benefits of Plant diversity on vegetated roofs: A literature review. **Journal of environmental management**, 15 setembro 2012. p. 85-92.

DE CUYPER, K.; DINNE, K.; VAN DE VEL, L. Rainwater discharge from green roofs. In: CIB W062 International Symposium on Water Supply and Drainage in Building, 2004, Paris. **Anais...**: [s.n.]. 2004. p. 1-12.

Department of Natural Resources – Maryland. 1999. Acesso em: nov. 2011.

EMBRAPA. Embrapa: Solos. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/>>. Acesso em: jul. 2012.

EMILSSON, T.; BERNDTSSON, J. C.; MATTSSON, J. E. R. K. Effect of using conventional and controlled release fertiliser on nutrient runoff from various vegetated roof systems. **Ecological engineering**, v. 29, p. 260–271, 2007.

EVANS, C. A.; COOMBES, P. J.; DUNSTAN, R. H. Wind, rain and bacteria: the effect of weather on the microbial composition of roof-harvest rainwater. **Water Research**, v. 40, p. 37-44, 2006.

EVANS, C. A. et al. Identifying the major influences on the microbial composition of roof harvest rainwater and the implications for water quality. **Water Science and Technology**, v. 55, n. 4, p. 245-253, 2007.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. **Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites**. 1. ed. [S.l.]: – FLL, 2004.

GREGOIRE, B. G.; CLAUSEN, J. C. Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. **Ecological Engineering**, v. 37, p. 963–969, 2011.

HATHAWAY, A. M.; HUNT, W. F.; JENNINGS, G. D. A field study of green roof hydrologic and water quality performance. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. Vol. 51, n. 1, p. 37-44, 2008.

HUI, S. C. M. Benefits and potential applications of green roof systems in Hong Kong. In: 2nd Megacities International Conference, 2, 2006, Guangzhou, China. **Anais...** 2006. p. 351-360.

HUI, S. C. M.; CHAN, H. Development of modular green roofs for high-density urban cities. In: World Green Roof Congress, 2008, London. **Anais...** 2008. p. 1-12.

ILHA, M. S. O.; REIS, R. P. A. **O ciclo insustentável da água nas cidades como reverter?** Revista Hydro, Ano V, n. 52, Conexão. Aranda Editora. São Paulo – SP. p. 48-51. 2011.

ITHAL. **Ensaio de nutrientes dos solos**. 2012. Campinas, SP.

JASLOW, L. Integrating Rainwater collection systems with green roofs. In: **Greening Rooftops for sustainable communities conference, awards e trade show**. Baltimore, 2008.

KOLB, W. **Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais**. 4 Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Petrolina: [s.n.]. 2003. p. 1-10.

LUCKET, K. **Green roof construction and maintenance**. 1. ed. [S.l.]: GreenSource Books, 2009.

MELBOURNE WATER & KNOX CITY COUNCIL. **Water sensitive urban design (WSUD)**. 2002. Disponível em:

<http://library.melbournewater.com.au/content/wsud/MW_WSUD_Brochure.pdf>. Acesso em: ago. 2011.

MENDEZ, C. B. et al. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Research**, p. 1-11, 2011.

MORGAN, S.; ALYASERI, I.; RETZLAFF, W. Suspended solids in an turbidity of runoff from green roofs. **International Journal of Phytoremediation**, v. 13, p. 179-193, 2011.

MORAN, A.; HUNT, B.; JENNINGS, G. **A North Carolina field study to evaluate green roof runoff quality, runoff quantity and plant growth**. 2nd North America Green Roof conference: greening rooftops for sustainable communities. [S.l.]: Portland. 2004.

NICHOLSON, N. et al. **Rainwater harvesting from roofs for non-potable reuse**. Low Impact Development 2010: Redefining Water in the City. [S.l.]: © 2010 ASCE. 2010. p. 21-30.

OLIVEIRA, L.H. **Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios**. 1999. Tese de doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 344 p. 1999.

ROWE, D. B. Green roofs as a means of pollution abatement. **Environmental Pollution**, v. 150, p. 2100 - 2110, 2011.

SANTOS, Daniel Costa. **Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental**. Revista Ambiente Construído. Vol.2, n.4, ANTAC, Porto Alegre - RS. 2002.

SAUTCHUK, C., et al. **Conservação e reuso de água em edificações**. ANA, FIESP, SindusCon-SP, São Paulo. 151p. 2005.

SILVA, V.G. **Avaliação da contribuição de coberturas verdes no desempenho térmico e controle de escoamento superficial de água pluvial**. Relatório final de auxílio a pesquisa regular. Processo FAPESP # 2008/01818-9. Abril 2012. (circulação restrita).

SILVEIRA, A. L. L. Hidrologia Urbana no Brasil. In : BRAGA, B.; TUCCI, C.E.M.; TOZZI, M., (Org.) **Drenagem urbana, gerenciamento, simulação, controle**. Editora da Universidade - ABRH Publicações, n.3, Porto Alegre. 1998.

SOLDERHOLM, B. **Plumbing systems & design**. Disponível em: <<http://psdmagazine.com/20110616Pipeline>> . Acesso em: ago. 2011.

TEEMUSK, A.; MANDER, Ü. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events. **Ecological Engineering**, v. 30, p. 271-277, 2007.

Terzaghi, K.; Peck, R. B.; Mesri, G.. **Soil mechanics in engineering practice**, 3rd Edition, Wiley, 1996.

TUCCI, Carlos E. M. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil**. Global Water Partnership. Division de Recursos Naturales e Ifraestructura – CEPAL. REGA, Vol.1, n.1, 59-73p. 2004

United States Environmental Protection Agency. **Quality criteria for water 1986**. Office of Water, Regulation and Standard, Washington: USEPA, 1986. Disponível em: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/aqlife/upload/2009_01_13_criteria_goldbook.pdf> . Acesso em: jul. 2011.

United States Environmental Protection Agency (a). **Reducing urban heat islands: compendium of strategies green roofs**. USEPA, 2009, 29p. Disponível em: <www.epa.gov/heatisd/resources/pdf/GreenRoofsCompendium.pdf>. Acesso em: jul. 2012.

United States Environmental Protection Agency (b). **Green roofs for stormwater runoff control**. Washington: USEPA, 2009, 81p. Disponível em: <http://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=205444>. Acesso em: jun. 2011.

United States Environmental Protection Agency. **Guidelines for water reuse**. Washington: USEPA, 2012, 643p. Disponível em: <<http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/Water-Reuse-Guidelines-625r04108.pdf>>. Acesso em: dez. 2012.

United States Green building council. **LEED 2009 for new construction and major renovations rating system**. USGBC: 2009. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=8868>> . Acesso em: abr. 2012.

VANWOERT, N. D. E. A. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. **J Environ Qual**, v. 34, n. 3, p. 1036-1044, May 11 2005.

VECCHIA, F. Cobertura verde leve (cvl): ensaio experimental. In: ENCAC, ENLACAC, 2005, Maceió. **Anais...**: [s.n.]. 2005. p. 2146-2155.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M.; BALASUBRAMANIAN, R. A field study to evaluate runoff quality from green roofs. **Water Research**, v. 46, p. 1337-1345, 2012.

VOLPATO, G; BARRETO, R. Estatística sem dor!!! Best Writing, Botucatu. 2011. 64p.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias : introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.

WATER BY DESIGN. **Concept design guidelines for water sensitive urban design**. 2009. Disponível em: <waterbydesign.com.au>. Acesso em: abr. 2011.

WATER BY DESIGN. **Stormwater harvesting guidelines**. 2011. Disponível em: <waterbydesign.com.au>. Acesso em: ago.2011.

Water & Knox City Council. **The Water Sensitive Urban Design (WSUD) Implementation Guidelines for the City of Knox** . Abril 2002.

WEILER, S.; SCHOLZ-BARTH, B. **Green roof systems: a guide to the planning, design, and construction of landscapes over structure**. 1. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

Apêndice A

Resultados dos ensaios laboratoriais de qualidade de água.

Quadro A 1– Resultados dos ensaios realizados na C1.

Células	C1								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Cor aparente (uC)	3024	510	247	945	214	491	132	117	30
Cor verdadeira (uC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbidez (NTU)	270	4	3,6	9,2	8,1	10	2,4	-	1,1
Sólidos Totais (mg/L)	5225,4	-	161,9	373,8	-	262	-	-	30
STfixos (mg/L)	180,7	-	72,3	153,6	-	123,6	-	-	22
Stvoláteis (mg/L)	5044,7	-	89,6	220,2	-	138,4	-	-	8
NTK (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	8,2	8,2	8,3	8,5	8,0	8,2	7,3	6,8	5,8
Condutividade de (µS/cm)	272	328	174	296	174	204	163	163	9,83
DQO	124	223	76	201	124	154	85	70	29
Fósforo Total (mg/L)	0,62	4,54	0,8	1,58	-	2,2	-	-	0,08
DOC (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes Totais (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro A 2– Resultados dos ensaios realizados na C2.

Células	C2								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Cor aparente (uC)	2480		438	366	720	374	165		14
Cor verdadeira (uC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbidez (NTU)	290	-	3,6	2,7	65	4,3	4,4	-	1,5
Sólidos Totais (mg/L)	456,4	-	290,7	1497	-	394	-	-	10,1
STfixos (mg/L)	313,7	-	136,6	144,8	276,5	107,1	98,4	-	10,2
Stvoláteis (mg/L)	142,7	-	154,1	1352,2	-	286,9	-	-	-
NTK (mg/L)	5,25	-	9,1	6,65	5,95	8,05	4,2	-	2,8
pH	8,2	-	7,9	7,8	7,8	7,7	7,2	-	7,1
Condutividade de (μ S/cm)	218	-	254	227	222	229	125,5	-	12,47
DQO	114	-	149	134	156	164	89	-	5
Fósforo Total (mg/L)	0,7	-	4,2	2,2	0,6	2,4	4,2	-	<LD
DOC (mg/L)	29	-	48,5	44,5	56,3	54,9	23,7	-	2,8
Ferro (mg/L)	6,25	-	0,26	0,28	1,09	0,23	-	-	0,06
Coliformes Totais (NMP/100mL)	$>2,4 \times 10^5$	-	$>2,4 \times 10^5$						
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	$<0,1 \times 10$	-	0,1x10	$<0,4 \times 10$	0,1x10	0,1x10	$>2,4 \times 10^5$	0,1x10	$<0,2 \times 10$

**Legenda: Fósforo Total LD= 0,009mg/L
 Ferro LD= 0,023mg/L
 NTK LD= 0,16mg/L**

Quadro A 3– Resultados dos ensaios realizados na C3.

	C3								
Células	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Cor aparente (uC)	368	268	360	258	182	246	570	299	20
Cor verdadeira (uC)	145	220	313	207	137	204	490	284	2
Turbidez (NTU)	26	2,7	3,1	3,7	4,6	4,9	2,7	2,9	1,7
Sólidos Totais (mg/L)	255,5	293,2	234,9	207,8	4567,7	764,1	5651,4	453	7,1
STfixos (mg/L)	123,1	160,8	129,6	78,7	119	55,2	224,9	270,3	5,65
Stvoláteis (mg/L)	132,4	132,4	105,3	129,1	4448,7	708,9	5426,5	182,7	1,45
NTK (mg/L)	<0,16*	<0,16*	2,9	3,4	1,3	2,1	2,4	<0,16*	0,6
pH	7,3	7,5	7,6	7,7	7,8	7,8	8,0	8,2	7,9
Condutividade de (µS/cm)	277	313	270	161	283	142	502	451	7,41
DQO	89	97	102	62	94	65	203	169	5
Fósforo Total (mg/L)	0,2	1,3	4,7	3,1	0,4	1,8	3,3	0,2	<LD
DOC (mg/L)	30,58	37,17	33,59	19,41	31,04	22,99	79,58	66,76	1,54
Ferro (mg/L)	0,49	0,13	0,16	0,17	0,11	0,11	0,22	0,18	0,07
Coliformes Totais (NMP/100mL)	>2,4x10 ⁵								
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	<0,1x10	<0,1x10	1x10	<0,1x10	<0,1x10	<0,1x10	<0,1x10	<0,1x10	<0,1x10

**Legenda: Fósforo Total LD= 0,009mg/L
Ferro LD= 0,023mg/L
NTK LD= 0,16mg/L**

Quadro A 4– Resultados dos ensaios realizados na C4.

Células	C4								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Cor aparente (uC)	127	135	234	215	114	258	451	211	22
Cor verdadeira (uC)	80	130	220	205	104	245	431	202	5
Turbidez (NTU)	4,7	0,7	1,5	1,3	1,1	1,3	1,1	1,1	1,2
Sólidos Totais (mg/L)	283,3	266,7	236,9	164,5	451,4	250,9	619,2	476,7	9,8
STfixos (mg/L)	162,5	155,9	136,9	94,4	250,1	111,2	256,6	258,6	2,25
Stvoláteis (mg/L)	120,8	110,8	100	70,1	201,3	139,7	362,6	218,1	7,55
NTK (mg/L)	1,3	1,6	2,1	2,3	2,1	1,9	1,9	1,3	1,8
pH	7,7	8,0	8,2	8,2	8,5	8,6	8,4	8,5	8,3
Condutividade de ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	393	394	268	193	499	205	569	574	10,7
DQO	45	50	40	50	60	69	169	119	10
Fósforo Total (mg/L)	0,1	1	5,3	2,4	0,2	1,3	2,9	0,1	<LD
DOC (mg/L)	13,78	14,43	17,68	13,87	16,6	24,86	63,47	42,16	1,62
Ferro (mg/L)	0,1	0,04	0,14	0,11	0,04	0,1	0,23	0,12	<LD
Coliformes Totais (NMP/100mL)	$2,4 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$	$>2,4 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	$>2,4 \times 10^5$				
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	$<0,1 \times 10$	$<0,1 \times 10$	$0,1 \times 10$	$<0,1 \times 10$	$<0,1 \times 10$	$0,2 \times 10$	$<0,1 \times 10$	$<0,1 \times 10$	$<0,1 \times 10$

**Legenda: Fósforo Total LD= 0,009mg/L
 Ferro LD= 0,023mg/L
 NTK LD= 0,16mg/L**

Quadro A 5– Resultados dos ensaios realizados na C5.

Células	C5								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Cor aparente (uC)	125	140	212	217	-	360	-	-	18
Cor verdadeira (uC)	77	134	188	175	-	309	-	-	2
Turbidez (NTU)	2,9	0,35	0,95	3,5	-	1	-	-	1
Sólidos Totais (mg/L)	315,5	327,9	267	74,1	-	259,7	-	-	147,95
STfixos (mg/L)	198,6		162,5	40,4	-	122,4	-	-	78,25
Stvoláteis (mg/L)	116,9		104,5	33,7	-	137,3	-	-	69,7
NTK (mg/L)	1,6	2,3	1,0	2,3	-	3,5	-	-	1,0
pH	8,3	8,4	8,5	8,4	-	8,6	-	-	5,7
Condutividade de (μ S/cm)	354	411	303	231	-	209	-	-	0,2
DQO	57	64	62	50	-	99	-	-	18
Fósforo Total (mg/L)	0,1	0,9	6,3	2,1	-	0,7	-	-	0,02
DOC (mg/L)	18,51	21,11	21,28	18,31	-	38,33	-	-	1,959
Ferro (mg/L)	0,1	0,1	0,2	0,2	-	0,2	-	-	0,1
Coliformes Totais (NMP/100m L)	$>2,4 \times 10^5$	$1,3 \times 10^2$	$>2,4 \times 10^5$	$>2,4 \times 10^5$	-	$>2,4 \times 10^5$	-	-	$>2,4 \times 10^5$
<i>E.coli</i> (NMP/100m L)	$<0,1 \times 10$	$<0,1 \times 10$	$<0,1 \times 10$	$0,1 \times 10$	-	$0,1 \times 10$	-	-	$0,2 \times 10$

**Legenda: Fósforo Total LD= 0,009mg/L
 Ferro LD= 0,023mg/L
 NTK LD= 0,16mg/L**

Quadro A 6– Resultados dos ensaios realizados na C6.

Células	C6								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Cor aparente (uC)	121	218	303	355	146	381	466	-	12
Cor verdadeira (uC)	91	205	285	338	132	359	445	-	3
Turbidez (NTU)	1,6	0,5	0,6	0,7	0,4	0,7	0,65	-	0,50
Sólidos Totais (mg/L)	311,8	374,6	265,7	214,6	6388,7	1864,1	8225,2	-	18,45
STfixos (mg/L)	153,5	267	113,9	118,4	204,2	84,4	363,4	-	6,5
Stvoláteis (mg/L)	158,3	107,6	151,8	96,2	6184,5	1779,7	7861,8	-	11,95
NTK (mg/L)	1,932	1,4812	0,966	4,347	<LD	3,059	5,474	-	1,127
pH	8,2	8,2	8,3	8,3	8,2	8,3	8	-	8,2
Condutividade de ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	372	430	255	178	510	201	668	-	7,9
DQO	68	90	73	80	98	100	183	-	5
Fósforo Total (mg/L)	0,09	1,02	3,88	2,72	0,24	0,9	2,78	-	<LD
DOC (mg/L)	25,8	33,89	32,41	33,83	35,41	44,43	73,07	-	2,281
Ferro (mg/L)	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	-	<LD
Coliformes Totais (NMP/100mL)	$>2,4 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$	$>2,4 \times 10^5$	-	$>2,4 \times 10^5$				
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	$4,9 \times 10^2$	$<0,1 \times 10$	$<0,1 \times 10$	$<0,1 \times 10$	$0,4 \times 10$	$0,2 \times 10$	$<0,1 \times 10$	-	$0,3 \times 10$

**Legenda: Fósforo Total LD= 0,009mg/L
 Ferro LD= 0,023mg/L
 NTK LD= 0,16mg/L**

Quadro A 7– Resultados dos ensaios realizados na C7.

Células	C7								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Cor aparente (uC)	136	239	271	316	171	437	570	329	19
Cor verdadeira (uC)	101	231	266	314	150	451	542	319	5
Turbidez (NTU)	1,7	0,6	0,696	0,75	1,2	0,6	0,6	0,6	0,6
Sólidos Totais (mg/L)	343,8	340,4	253,7	268,2	4849,5	1632,6	8675	577,9	16,75
STfixos (mg/L)	216,5	173	158,3	148,7	182,5	111,1	269,3	281,9	11,9
Stvoláteis (mg/L)	127,3	167,4	95,4	119,5	4667	1521,5	8405,7	296	4,85
NTK (mg/L)	1,9	3,2	2,4	2,7	1,9	2,4	6,1	2,4	1,4
pH	7,8	8,1	8,0	8,0	8,2	8,2	7,9	8,2	8,3
Condutividade (µS/cm)	363	358	263	199	432	202	461	502	13,6
DQO	74	92	74	74	97	127	216	241	>2
Fósforo Total (mg/L)	0,1	0,9	4,1	2,4	0,2	0,7	2,7	0,1	<LD
DOC (mg/L)	28,09	37,78	28,48	31,23	39,59	52,54	94,65	97,25	1,319
Ferro (mg/L)	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	-	0,2	0,1
Coliformes Totais (NMP/100mL)	>2,4x10 ⁵	5,5x10 ²	>2,4x10 ⁵	2,4x10 ⁵	>2,4x10 ⁵				
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	<0,1x10	<0,1x10	0,3x10	0,1x10	0,1x10	<0,1x10	<0,1x10	<0,1x10	<0,1x10

**Legenda: Fósforo Total LD= 0,009mg/L
 Ferro LD= 0,023mg/L
 NTK LD= 0,16mg/L**