



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

MÁRCIA MERYLLIS ALVES PEREIRA

**EFEITO DO SUBSTRATO NA QUALIDADE DA ÁGUA ESCOADA EM TELHADOS
VERDES ECOLÓGICOS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

CARUARU
2024

MÁRCIA MERYLLIS ALVES PEREIRA

**EFEITO DO SUBSTRATO NA QUALIDADE DA ÁGUA ESCOADA EM TELHADOS
VERDES ECOLÓGICOS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Tecnologia ambiental.

Orientador (a): Dra. Érika Pinto Marinho.

Co-orientação: Dra. Sylvana Melo dos Santos

CARUARU

2024

MÁRCIA MERYLLIS ALVES PEREIRA

**EFEITO DO SUBSTRATO NA QUALIDADE DA ÁGUA ESCOADA EM TELHADOS
VERDES ECOLÓGICOS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: tecnologia ambiental.

Aprovada em: 29/01/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr^a. Érika Pinto Marinho (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr^o. Diego César dos Santos Araújo (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr^o. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por nunca me deixar desistir ou sequer fraquejar, apresentando todos os dias, ao longo dessa trajetória de curso, formas de vencer. Obrigada, em segundo lugar, à minha mãe por acreditar e lutar para que eu pudesse concluir esta etapa na minha vida acadêmica. Este sonho também é seu; és o dedo de Deus na minha vida. Ainda, ao meu pai e aos meus irmãos, foi árduo o caminho até aqui. Passamos por muitas dificuldades, reconheço cada dedicação de vocês para a realização desse sonho. Minha felicidade também é de vocês. Sou infinitamente grata e prometo que posso mais e vou atrás, pelo amor da nossa família e do nosso Senhor Jesus.

Ao meu namorado, pelo apoio durante todas as fases da minha vida, colaborando sempre de maneira positiva no meu lado profissional e pessoal. Trouxe leveza para os meus dias, acalmando e aguentando todas as exaustões de longos momentos até altas horas. O companheirismo e a compreensão contribuíram para o incentivo diário nos estudos, influenciando na dedicação total ao mestrado. Obrigada por todo o apoio durante a realização do experimento, meu amor. Minha realização também é sua.

À minha orientadora Érika Pinto Marinho por todos os ensinamentos e pelas possibilidades geradas para realizar o experimento. Ainda à coorientadora Sylvana Melo, por colaborar direta e indiretamente com esta pesquisa. A vocês, toda minha gratidão. Obrigada por estarem sempre à disposição durante esse período do mestrado. À minha companheira de trajetória, Jessica, por todo o apoio, trocas de conhecimento e por dividir o fardo do experimento. Tornaste tudo mais objetivo.

À UFPE, ao PPGECAm e toda a parte de coordenação e professores, em especial a Anderson Paiva, por colaborar com grandes conhecimentos, possibilitando meu avanço profissional. Ainda aos técnicos, Rafael, Everton, Valquíria e Emanuele, por toda a disponibilidade e auxílio na realização dos ensaios. Minha gratidão especialmente aos técnicos do laboratório de Química Wagner e Henrique. Vocês foram essenciais para que tudo acontecesse da melhor maneira. Em nenhum momento demonstraram dificuldades em me auxiliar nas dúvidas e nas realizações dos ensaios. Obrigada por tudo.

E a todos os que colaboraram de forma direta ou indireta para que pudesse chegar até aqui, em especial minha família. A todos vocês, muito obrigada!

RESUMO

Telhados verdes têm a capacidade de drenar águas pluviais em áreas urbanas, melhorando o conforto térmico e contribuindo para a qualidade do ar e da paisagem urbana, além de seu potencial para captar água em regiões de escassez hídrica. No entanto, sua adoção é limitada pelos altos custos, que podem ser minimizados pelo uso de garrafas PET. O reaproveitamento da água captada requer ajustes na composição do substrato para remover impurezas. Este estudo investigou o efeito de diferentes substratos em telhados verdes na qualidade da água escoada durante chuvas simuladas no Agreste Pernambucano, usando a média das chuvas intensas dos últimos 50 anos. Foram analisados substratos orgânicos e inorgânicos, além do impacto do armazenamento da água da primeira chuva, por 30 e 90 dias. Foram criados quatro arranjos com a vegetação Aranto (*Kalanchoe laetivirens*) e substratos compostos de solo comercial e diferentes materiais. O Arranjo 01- (referência) utilizou apenas solo comercial como referência, enquanto os Arranjos 02, 03 e 04 consistiram em misturas de solo comercial com bagaço de coco verde, bagaço de cana-de-açúcar e caqueira de telha, respectivamente, em proporção de 1:4. Após as precipitações controladas, as águas escoadas nos telhados foram analisadas quanto aos parâmetros físico-químicos, incluindo pH, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, condutividade, amônia, fósforo, nitrato, nitrito, fosfato, ferro total, sulfato, sólidos dissolvidos totais, dureza total, cálcio, cloreto e alcalinidade. Esses resultados foram comparados com padrões estabelecidos por regulamentações como CONAMA 357/2005, EMBRAPA (2010) e normas técnicas (NBR 15527/2019 e NBR 13.969/1997). Realizou-se a análise estatística através da (ANOVA) para verificar semelhanças entre os dados das coletas quinzenais e demonstrou que apesar da numerosa quantidade de semelhanças significativas entre os sistemas, houve diferenças, o Arranjo 01- (referência) apresentou uma maior quantidade de diferenças significativas em relação aos outros sistemas para a qualidade de água. O substrato do Arranjo 01- (referência) se destacou por reter o maior volume de água entre os sistemas, cerca de 35,56%, sendo o único com valores de nitrato adequados conforme a EMBRAPA (2010). O Substrato do Arranjo 02 teve os menores valores para pH, condutividade e sólidos dissolvidos totais das coletas quinzenais. O substrato do Arranjo 03 foi o mais permeável, retendo apenas 25,56%, ele apresentou a maior quantidade de valores adequados aos parâmetros das normativas nas coletas

quinzenais, destacando-se como a melhor formulação para a qualidade da água escoada. O substrato do Arranjo 04 demonstrou a menor diminuição de sulfato e dureza total entre os quatro arranjos para a amostra armazenada por 90 dias, com o armazenamento, foi possível visualizar que todos os sistemas respeitaram a mesma quantidade de parâmetros. No Arranjo 03, houve conformidade para a turbidez na análise dos 30 e 90 dias já no Arranjo 04 apenas na análise dos 90 dias. A incorporação do bagaço de cana-de-açúcar no substrato, afetou positivamente mais parâmetros do que o bagaço de coco e o material inorgânico caqueira de telha.

Palavras-chave: Garrafas PET. Substrato. Material reciclado. reaproveitamento de água. Escassez hídrica.

ABSTRACT

Green roofs have the capacity to drain rainwater in urban areas, improving thermal comfort and contributing to air quality and the urban landscape, in addition to their potential to capture water in regions of water scarcity. However, its adoption is limited by high costs, which can be minimized by using PET bottles. The reuse of captured water requires adjustments to the composition of the substrate to remove impurities. This study investigated the effect of different substrates in green roofs on the quality of water run-off during simulated rainfall in Agreste Pernambucano, using the average intense rainfall of the last 50 years. Organic and inorganic substrates were analyzed, as well as the impact of storing water from the first rainfall for 30 and 90 days. Four arrangements were created with Aranto vegetation (*Kalanchoe laetivirens*) and substrates made up of commercial soil and different materials. Arrangement 01- (reference) used only commercial soil as a reference, while Arrangements 02, 03 and 04 consisted of mixtures of commercial soil with green coconut bagasse, sugarcane bagasse and tile culm, respectively, in a 1:4 ratio. After controlled precipitation, the water draining from the roofs was analyzed for physicochemical parameters, including pH, turbidity, apparent color, true color, conductivity, ammonia, phosphorus, nitrate, nitrite, phosphate, total iron, sulfate, total dissolved solids, total hardness, calcium, chloride and alkalinity. These results were compared with standards established by regulations such as CONAMA 357/2005, EMBRAPA (2010) and technical standards (NBR 15527/2019 and NBR 13.969/1997). Statistical analysis (ANOVA) was carried out to verify similarities between the data from the fortnightly collections and showed that despite the large number of significant similarities between the systems, there were differences, with Arrangement 01- (reference) showing a greater number of significant differences in relation to the other systems for water quality. The substrate in Arrangement 01 (reference) stood out for retaining the largest volume of water among the systems, around 35.56%, and was the only one with adequate nitrate values according to EMBRAPA (2010). The substrate in Arrangement 02 had the lowest values for pH, conductivity and total dissolved solids of the fortnightly collections. The substrate in Arrangement 03 was the most permeable, retaining only 25.56%, it had the highest number of values in line with the parameters of the regulations in the fortnightly collections, standing out as the best formulation for the quality of the run-off water. The substrate in Arrangement 04 showed the smallest

decrease in sulphate and total hardness among the four arrangements for the sample stored for 90 days. With storage, it was possible to see that all the systems complied with the same number of parameters. In Arrangement 03, there was compliance for turbidity in the 30 and 90 day analysis, while in Arrangement 04 only in the 90 day analysis. The incorporation of sugar cane bagasse into the substrate positively affected more parameters than coconut bagasse and the inorganic material tile culm.

Keywords: PET bottles. Substrate. Recycled material. water reuse. Water scarcity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Camadas que constituem um telhado verde.....	25
Figura 2 –	Esquema ilustrativo dos sistemas de telhado extensivo e intensivo.....	31
Figura 3 –	Fluxograma de etapas/análises da pesquisa.....	46
Figura 4 –	Localização do Brasil na América do Sul destacando a cidade de Caruaru no estado de Pernambuco.....	47
Figura 5 –	Vegetação <i>Kalanchoe laetivirens</i> , (Aranto).....	50
Figura 6 –	Esquema de montagem dos arranjos, simulação de chuva e coleta de água.....	50
Figura 7 –	Ilustração esquema do telhado verde ecológico.....	51
Figura 8 –	Etapas para a construção da estrutura de suporte do telhado verde ecológico.....	52
Figura 9 –	Telhado verde ecológico com tela de proteção contra interferência do meio externo.....	54
Figura 10 –	Estufa utilizada para o armazenamento do telhado verde.....	54
Figura 11 –	Camadas antecedentes ao substrato.....	55
Figura 12 –	Solo comercial, utilizado para o preparo de todos os substratos dos arranjos.....	56
Figura 13 –	Processo de preparação do bagaço de coco verde para uso no substrato do Arranjo 02.....	57
Figura 14 –	Processo de preparação do bagaço de cana-de-açúcar para o uso no substrato do Arranjo 03.....	58
Figura 15 –	Processo de preparação da caqueira de telha para uso no substrato do Arranjo 04.....	60
Figura 16 –	Substratos finalizados.....	60
Figura 17 –	Esquematização real do telhado verde ecológico.....	61
Figura 18 –	Vegetação no início da pesquisa e após a finalização das análises.....	74
Figura 19 –	Volumes retidos nos arranjos do telhado verde ecológico.....	81
Figura 20 –	Resultados de pH para as análises quinzenais dos Arranjos 01- (referência), 02, 03 e 04.....	84
Figura 21 –		

	Resultados de turbidez para as análises quinzenais dos Arranjos 01- (referência), 02, 03 e 04.....	86
Figura 22 –	Resultados de cor aparente e cor verdadeira, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04..	88
Figura 23 –	Resultados de condutividade elétrica, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	90
Figura 24 –	Resultados de amônia, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	92
Figura 25 –	Resultados de fósforo, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	93
Figura 26 –	Resultados de nitrato, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	95
Figura 27 –	Resultados de nitrito, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	96
Figura 28 –	Resultados de fosfato, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	97
Figura 29 –	Resultados de ferro total, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	99
Figura 30 –	Resultados de sulfato, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	100
Figura 31 –	Resultados de sólidos dissolvidos totais, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	102
Figura 32 –	Resultados de dureza total, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	103
Figura 33 –	Resultados de cálcio, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	105
Figura 34 –	Resultados de cloreto, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	106
Figura 35 –	Resultados de alcalinidade, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04.....	108
Figura 36 –	Águas escoadas nos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04 após a 30 dias e 90 dias de armazenamento.....	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Principais tipologias de telhado verde e suas características..	24
Quadro 2 –	Pesquisas que usam garrafas PET no telhado ecológico.....	43
Quadro 3 –	Valor dos materiais gastos na elaboração do suporte de madeira.....	62
Quadro 4 –	Valor dos materiais gastos na elaboração das camadas dispostas nos arranjos.....	62
Quadro 5 –	Quantitativo das simulações de chuva sintética entre os meses de outubro de 2022 a março de 2023.....	65
Quadro 6 –	Densidade volumétrica do substrato das amostras úmidas e secas, conforme MAPA (2007).....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Peso da carga do telhado verde relativo à carga conforme sua classificação.....	31
Tabela 2 –	Normativa sobre qualidade de água da chuva.....	36
Tabela 3 –	Características da Kalanchoe Laetivirens.....	50
Tabela 4 –	Características da composição dos Arranjo 01- (referência), Arranjo 02, Arranjo 03 e Arranjo 04.....	51
Tabela 5 –	Metodologia dos parâmetros físico-químicos realizados para análise de qualidade da água escoada nos telhados verdes	67
Tabela 6 –	Valores de pH das amostras recolhidas em cada sistema individual de arranjo.....	72
Tabela 7 –	Composição química do solo comercial obtida por FRX.....	75
Tabela 8 –	Ensaio para verificação da uniformidade da composição das garrafas.....	79
Tabela 9 –	Ensaio para verificação da uniformidade da composição das garrafas.....	82
Tabela 10 –	Resultados de pH das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	111
Tabela 11 –	Resultados de turbidez das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	111
Tabela 12 –	Resultados de cor aparente das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	112
Tabela 13 –	Resultados de cor verdadeira das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	113
Tabela 14 –	Resultados de condutividade elétrica das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	113
Tabela 15 –	Resultados de amônia das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	114
Tabela 16 –	Resultados de fósforo das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	115
Tabela 17 –	Resultados de nitrato das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	115
Tabela 18 –		

	Resultados de fosfato das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	116
Tabela 19 –	Resultados de ferro total das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	117
Tabela 20 –	Resultados de sulfato das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	118
Tabela 21 –	Resultados de sólidos dissolvidos totais das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	119
Tabela 22 –	Resultados de dureza total das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	119
Tabela 23 –	Resultados de cálcio das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento.....	120
Tabela 24 –	Resultados de cloreto obtidos nas análises após 30 dias e 90 dias de armazenamento.....	121
Tabela 25 –	Resultados de alcalinidade obtidos nas análises após 30 dias e 90 dias de armazenamento.....	122

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CE	Condutividade elétrica
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade – duração – frequência
IPA	Instituto Agrônômico de Pernambuco
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PET	Politerefitalato de Etileno
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	22
2.1	Objetivos gerais	22
2.2	Objetivos específicos	22
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
3.1	Telhado verde.....	23
3.2	Estruturação e classificação do telhado verde.....	24
3.2.1	<i>Camada impermeabilizante.....</i>	25
3.2.2	<i>Camada drenante.....</i>	26
3.2.3	<i>Camada filtrante.....</i>	26
3.2.4	<i>Substrato.....</i>	27
3.2.4.1	<i>Influência do clima no substrato.....</i>	29
3.2.5	<i>Vegetação.....</i>	29
3.2.6	<i>Classificação.....</i>	30
3.2.6.1	<i>Extensivo.....</i>	31
3.2.6.2	<i>Intensivo.....</i>	32
3.3	Leis que estimulam a aplicação do telhado verde.....	32
3.4	Definição de telhado ecológico.....	33
3.4.1	<i>Telhado verde ecológico com materiais sustentáveis.....</i>	33
3.5	Qualidade de água de telhados verdes.....	35
3.5.1	<i>Parâmetros de qualidade da água.....</i>	36
3.5.1.1	<i>pH.....</i>	37
3.5.1.2	<i>Turbidez.....</i>	38
3.5.1.3	<i>Cor.....</i>	38
3.5.1.4	<i>Condutividade elétrica.....</i>	38
3.5.1.5	<i>Nitrogênio e fósforo.....</i>	39
3.5.1.6	<i>Ferro.....</i>	40
3.5.1.7	<i>Cloreto e sulfato.....</i>	40
3.5.1.8	<i>Sólidos dissolvidos totais.....</i>	40
3.5.1.9	<i>Dureza.....</i>	41
3.5.1.10	<i>Alcalinidade, carbonatos e bicarbonatos.....</i>	41
3.6	Influência do substrato para a qualidade da água.....	42

4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
4.1	Área de estudo.....	47
4.2	Telhado verde ecológico.....	48
4.2.1	<i>Composição do telhado verde ecológico.....</i>	<i>49</i>
4.2.2	<i>Montagem do sistema e tratamento dos materiais incorporados ao substrato.....</i>	<i>50</i>
4.2.2.1	<i>Etapas de montagem do telhado verde ecológico.....</i>	<i>50</i>
4.2.2.2	<i>Estrutura de madeira do telhado verde ecológico.....</i>	<i>50</i>
4.2.2.3	<i>Processos para montagem do substrato.....</i>	<i>54</i>
4.2.3	<i>Custo médio do telhado elaborado.....</i>	<i>61</i>
4.2.4	<i>Simulação de chuva.....</i>	<i>64</i>
4.2.5	<i>Análises de qualidade de água.....</i>	<i>65</i>
4.3	Análise estatística.....	67
4.4	Caracterização do solo comercial.....	68
4.4.1	<i>pH do solo.....</i>	<i>68</i>
4.4.2	<i>Composição química do solo comercial.....</i>	<i>68</i>
4.4.3	<i>Percentual de umidade (umidade atual)</i>	<i>69</i>
4.4.4	<i>Densidade volumétrica.....</i>	<i>69</i>
4.4.5	<i>Densidade aparente seca.....</i>	<i>70</i>
4.4.6	<i>Densidade de partículas.....</i>	<i>70</i>
4.4.7	<i>Porosidade.....</i>	<i>71</i>
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
5.1	Análise do solo.....	72
5.1.1	<i>pH do solo.....</i>	<i>72</i>
5.1.2	<i>Fluorescência de raio-X (FRX) e perda ao fogo.....</i>	<i>75</i>
5.1.3	<i>Densidade volumétrica.....</i>	<i>76</i>
5.1.4	<i>Densidade de partícula.....</i>	<i>78</i>
5.1.5	<i>Porosidade.....</i>	<i>78</i>
5.2	Análises da qualidade de água.....	79
5.2.1	<i>Análise das garrafas individuais.....</i>	<i>79</i>
5.2.2	<i>Volume de água retido nas coletas quinzenais.....</i>	<i>80</i>
5.2.3	<i>Análise da qualidade da água quinzenal.....</i>	<i>83</i>
5.2.3.1	<i>pH.....</i>	<i>84</i>

5.2.3.2	<i>Turbidez.....</i>	86
5.2.3.3	<i>Cor aparente e verdadeira.....</i>	88
5.2.3.4	<i>Condutividade elétrica.....</i>	90
5.2.3.5	<i>Amônia.....</i>	91
5.2.3.6	<i>Fósforo.....</i>	93
5.2.3.7	<i>Nitrato.....</i>	94
5.2.3.8	<i>Nitrito.....</i>	96
5.2.3.9	<i>Fosfato.....</i>	97
5.2.3.10	<i>Ferro total.....</i>	98
5.2.3.11	<i>Sulfato.....</i>	100
5.2.3.12	<i>Sólidos dissolvidos totais.....</i>	101
5.2.3.13	<i>Dureza total e cálcio.....</i>	103
5.2.3.14	<i>Cloreto.....</i>	106
5.2.3.15	<i>Alcalinidade.....</i>	107
5.2.4	<i>Análise da qualidade da água armazenada por 30 dias e 90 dias.....</i>	110
6	CONCLUSÕES.....	125
6.1	Trabalhos futuros.....	128
	REFERÊNCIAS.....	129
	APÊNDICE A – TEMPO DE RETENÇÃO E VOLUME COLETADO DAS AMOSTAS QUINZENAS DOS ARRANJOS.....	151
	APÊNDICE B – VALORES DA ÁGUA DESTILADA APLICADA AS AMOSTRAS QUINZENAS.....	152
	APÊNDICE C – VALORES OBTIDOS PARA O ARRANJO 01-REFERÊNCIA, NAS ANÁLISES QUINZENAS.....	153
	APÊNDICE D– VALORES OBTIDOS PARA O ARRANJO 2 NAS ANÁLISES QUINZENAS.....	154
	APÊNDICE E – VALORES OBTIDOS PARA O ARRANJO 3 NAS ANÁLISES QUINZENAS.....	155
	APÊNDICE F – VALORES OBTIDOS PARA O ARRANJO 4, NAS ANÁLISES QUINZENAS.....	156

APÊNDICE G- ANÁLISE DA ANOVA PARA TODOS OS ARRANJOS A PARTIR DOS VALORES OBTIDOS NAS COLETAS QUINZENAS.....	157
APÊNDICE H – VALORES OBTIDOS PARA A ÁGUA ARMAZENADA DA COLETA 01, APÓS 30 E 90 DIAS.....	160

1 INTRODUÇÃO

A ocupação urbana também interfere na qualidade da água, em função da causa intensa impermeabilização do solo, o que resulta no aumento do escoamento superficial e acelera as enxurradas para os corpos receptores, e riscos de erosão e inundação (Tucci, 2008).

O telhado verde entra nesse contexto como um sistema de drenagem auxiliar. A aplicação de telhado verde em edificações pode absorver importantes volumes de água de chuva e liberá-los em um ritmo reduzido e controlado, se constituindo como uma importante medida para promover o desenvolvimento sustentável em centros urbanos (Willes, 2014).

Durante e após fortes chuvas, os materiais de planta, substrato e a camada de drenagem projetada em um telhado verde podem absorver quantidades significativas de precipitação e escoamento de águas pluviais (Cantor, 2008). Stovin, Vesuviano e Kasmin (2011) mencionam que os telhados verdes têm a capacidade de retenção do escoamento de tempestades ainda que os eventos de precipitação sejam de alta frequência, para eles também esse sistema possui a capacidade de filtrar a água, possibilitando a sua reutilização.

Além de contribuir na retenção de água, a implantação dos telhados verdes pode colaborar na redução dos impactos ambientais, como a promoção da qualidade do ar (consumindo gases poluentes), proporcionando conforto térmico e acústico, redução de ilhas de calor, entre outras (Cruz e Leoni, 2008; Guedes *et al.*, 2019; Borges *et al.*, 2020 e Scarassattiet *et al.*, 2021). Indubitavelmente, estudos dessa natureza assumem grande importância no atual cenário de crescente escassez hídrica e contínua disseminação da tecnologia dos telhados verdes (Pessoa, 2016).

Segundo Gonzaga (2017), no Brasil o interesse pelo uso de telhados verdes ainda é relativamente pequeno, com maior difusão no Rio Grande do Sul, onde encontramos algumas empresas especializadas na aplicação e construção de coberturas verdes. No caso de Pernambuco, em Recife, existe legislação que torna obrigatório o uso dessa técnica, a Lei Municipal 18.112/2015 (Recife, 2015). Essa lei vem tornar obrigatório em seu primeiro artigo, que as edificações habitacionais multifamiliares com mais de 4 pavimentos e as não-habitacionais com mais de 400 m² de área de cobertura possuam telhado verde em seus projetos a partir da vigência da

lei (Almeida; Medeiro, 2021). Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências (Recife, 2015). Em Caruaru, também no estado de Pernambuco, foi instituído o Programa IPTU Verde por meio da Lei Complementar Nº 62/2018, que propõe a adoção de medidas que protejam o meio ambiente e estimulem o desenvolvimento sustentável através da redução do tributo, sendo incluída nessas medidas a utilização de telhado verde com espécies nativas da região (Caruaru, 2018).

A captação e reuso da água escoada no telhado verde pode ampliar as vantagens desta tecnologia por aumentar a oferta de água em populações que vivem lugares com grandes períodos de estiagem, como os municípios localizados no semiárido. A seca no Estado de Pernambuco é frequente, principalmente para a região do Agreste e do Sertão, deixando alguns municípios em situação de calamidade pública, como observado em 2021 e 2022. Entretanto, o fenômeno de percolação da água no substrato e contato com a vegetação arrastam matéria orgânica e inorgânica, modificando assim as propriedades da água. Por isso, é necessário investigar a qualidade da água a fim de propor formas adequadas de reuso.

Sabe-se que os altos custos associados à sua construção e manutenção restringem sua ampla utilização. No entanto, é possível construir telhados verdes ecológicos usando garrafas PET, o que pode ajudar a popularizar esta tecnologia entre a classe de baixa renda, ampliando os benefícios coletivos do telhado verde para as cidades. O uso de materiais alternativos, como materiais reciclados ou disponíveis localmente, pode diminuir o impacto da construção de telhados verdes no meio ambiente, reduzindo o processo de fabricação e transporte com menor emissão de carbono (Ekis *et al.* 2020).

Entre as camadas que compõem o telhado verde, merece atenção a escolha do substrato, pois, além de servir para o desenvolvimento da cobertura vegetal, pode auxiliar na eliminação de algumas impurezas presentes na água que passa pelo sistema, conseguindo controlar ainda o volume de água de chuva. Logo o substrato, que é parte fundamental desse sistema, deve ser analisado com a finalidade de encontrar alternativas que aumentem sua capacidade de qualidade/sorção da água e das impurezas presentes (Loiola; Mary; Silva, 2019).

Os substratos podem ser de natureza orgânica ou inorgânica (Ampim *et al.*, 2010). O uso de materiais inorgânicos no substrato de telhados verdes (tais como: vermiculita esfoliada, perlita expandida, tijolo esmagado e areia) juntamente com componente orgânico (coco-turfa verde) foi estudado por Vijayaraghavan e Raja (2014) para fins de remoção de metais pesados e demonstraram eficiência de 99% para remoção de cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cromo (Cr).

Ekis *et al.* (2020) estudaram outros materiais que podem ser empregados nessa camada, como por exemplo o uso de materiais reciclados inorgânicos como concreto esmagado, tijolos esmagados, serragem e composto municipal de resíduos. Segundo os autores, a mistura de adubo e resíduos municipais mostrou propriedades físicas e químicas aceitáveis e influenciou positivamente o crescimento das plantas, semelhante ao substrato comercial e um pouco melhor em alguns aspectos, como adaptação a localidade e redução das emissões de carbono.

Considerando as alterações climáticas e todo o cenário mundial é importante avaliar os efeitos da qualidade da água escoada por telhados verdes ecológicos, aplicações de materiais reciclados em substratos pode promover uma melhoria na qualidade da água possibilitando dessa maneira fins de reuso, algo de suma importância, especialmente para populações de regiões que estão sujeitas a baixa oferta de chuvas.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito de diferentes materiais combinados ao substrato nos parâmetros de qualidade de água escoada em telhado verde ecológico construído com vegetação nativa da região semiárida.

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver, implantar e utilizar um protótipo móvel para investigar coberturas alternativas, como os telhados ecológicos, em um ambiente com precipitação controlada, com base em dados de precipitação dos últimos 50 anos da cidade de Caruaru-PE;
- Avaliar a interferência de substratos constituídos com diferentes composições, como parte da infraestrutura básica dos arranjos ecológicos, por meio da análise de parâmetros de qualidade da água;
- Verificar a conformidade da água proveniente dos telhados com os parâmetros de qualidade de água definidos para lançamentos em corpos hídricos, usos para a irrigação e fins domésticos, de acordo com a resolução do CONAMA 357/2005, EMBRAPA (2010), NBR 15527/2019 e NBR 13969/1997.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Telhado verde

Os telhados verdes, também conhecidos como coberturas verdes, ecotelhados ou telhados ecológicos são sistemas arquitetônicos de construção que consistem em instalar uma camada vegetal em coberturas de modo a substituir os elementos tradicionais, como telhas, por exemplo (Ferreira, 2007). Santos *et al.* (2017) dizem que o telhado verde é uma técnica construtiva que consiste na aplicação e uso de uma cobertura vegetal feita com grama e/ou plantas e que, é instalado em lajes ou telhados de residências, fábricas, escritórios e outras edificações. O telhado verde tem por objeto a aplicação de vegetação sobre a cobertura de edificações que recebam tratamento adequado em relação à impermeabilização, barreira anti-raízes e drenagem, favorecendo a eficácia do mesmo (Willes, 2014).

Estes telhados são uma alternativa de cobertura capaz de proporcionar várias vantagens sobre as coberturas convencionais, como por exemplo: diminuição da água de escoamento que seria direcionada ao sistema pluvial; melhoria nas condições de conforto ambiental das edificações e visual paisagístico; proteção do telhado contra a luz do solar e grandes flutuações de temperatura, melhorando assim a vida útil do telhado (Castro; Goldefum, 2008).

Originalmente, o telhado verde, ou eco telhado, teve suas primeiras aparições na antiga Mesopotâmia há 600 anos a.C., atual Sul do Iraque, e na Babilônia, (Franco; Lacerda; Miranda; 2020). Esse telhado ficou conhecido como jardins suspensos da Babilônia (Bueno, 2010). Segundo Sakagami (2016, p.11), a Alemanha é a grande pioneira no uso e disseminação da prática de telhados verdes. Os primeiros registros na história sobre estruturas que vieram posteriormente a dar origem ao que chamamos hoje de telhado verde são datados da pré-história, recobrando cabanas em diversas partes do mundo com o objetivo de manter o clima mais quente ou mais fresco, de acordo com a necessidade do ambiente, (Brandl, 2021). Porém, naquela época, as coberturas verdes eram aproveitadas visando a sua eficiência no isolamento térmico, pela atuação conjunta de solo e vegetação, ajudando a reter calor no interior da edificação em climas frios e, em climas quentes, impedindo a sua penetração (Peck *et al.* 1999). Camilôto (2020, p. 20) afirma que, a utilização de telhados verdes na idade média na Europa esteve relacionada à conservação de água

e à produção de alimentos, já que nessa época havia precariedade em espaços para produção de alimentos.

O primeiro projeto de telhado verde no Brasil foi em 1936, no prédio do MEC e foi construído por Roberto Burle Marx, depois em 1988 no Banco Safra em São Paulo e em 1992, a arquiteta Rosa Grená Kliass e Jamil Kfoury projetaram os jardins do Vale do Anhangabaú em São Paulo (Tomaz, 2005). No Brasil, pouco se sabe sobre o desenvolvimento e as principais características das coberturas verdes, a prática do telhado verde ainda é pouco difundida, e a implantação dessa alternativa tem sido pouco explorada para fins hídricos (Willes, 2014). De acordo com Hydrotec Membrane Corporation (2007), os telhados verdes podem ser concebidos com diferentes conceitos, com relação ao tipo de uso previsto e de vegetação que vai comportar. Brandi (2021, p. 21) menciona que, de acordo com a literatura, pode-se dividir telhados verdes em três tipos: extensivo, intensivo e semi-intensivo. No Quadro 1, são apresentadas as características classificatórias do telhado verde.

Quadro 1- Principais tipologias de telhado verde e suas características

Características	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Profundidade do substrato	Entre 5 e 15 cm	Entre 10 e 20 cm	Acima de 20 cm
Acessibilidade	Na maioria das vezes inacessível	Pode ser parcialmente acessível	Normalmente acessível
Peso totalmente saturado	Leve (70-170 kg.m ⁻²)	Médio (170-290 kg.m ⁻²)	Pesado (290-970 kg.m ⁻²)
Diversidade de plantas	Baixa	Intermediária	Elevada
Comunidades de plantas	Musgo, Sedum, Ervas e gramíneas	Ervas, gramíneas e arbustos	Espécies perenes, arbustos e árvores
Usos	Camada de proteção ecológica	Gramados e jardins	Parque, hortas e jardins
Custos	Baixo	Variado	Elevado
Manutenção	Mínima	Variável	Alta

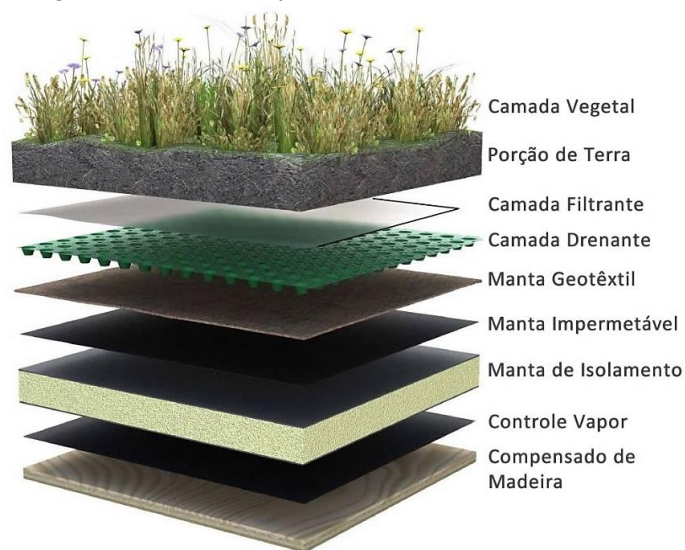
Fonte: Hui (2006), adaptado por Liberalesso (2018).

3.2 Estruturação e classificação do telhado verde

Um telhado verde é constituído de camadas de impermeabilização seguida de alguns componentes, como membrana antirraiz, drenagem, proteção mecânica, substrato e a vegetação a ser aplicada (Baldessar, 2012). Geralmente são compostos de cinco camadas: i) Membrana impermeabilizante e de proteção, que tem como

objetivo garantir a estanqueidade da laje e garantir que as raízes não causem danos à estrutura; ii) camada drenante, que favorece a drenagem da água infiltrada no telhado; iii) camada filtrante, que impede o carreamento de partículas sólidas para as tubulações; iv) substrato:, que tem a função de fornecer condições para a vegetação se manter, além de reter e armazenar a água precipitada; v) vegetação (Hashemi; Mahmud; Ashraf, 2015). A ordem das camadas que compõe o telhado verde pode ser vista na Figura 1.

Figura 1- Camadas que constituem um telhado verde



Fonte: Knopik (2014).

Segundo Scharf e Zluwa (2017, p. 571), quanto maior a espessura do telhado mais eficiente, principalmente no inverno, ou seja, os telhados verdes contribuem para o isolamento térmico, mas a espessura, materiais, estações e camadas são fundamentais.

3.2.1 Camada impermeabilizante

A camada impermeabilizante é responsável pela proteção da laje que recebe o telhado vegetado, de forma que não haja o contato direto com a água que percola entre o sistema. Segundo Araújo (2007, p.5), a função é proteger o elemento estrutural de infiltrações, pode ser utilizado materiais diferentes como betuminosos e sintéticos. No caso do telhado ecológico, essa camada pode ser composta por material reciclado, como a garrafa PET. Geralmente ela é formada por materiais plásticos, como a manta asfáltica e o PVC, para impedir a percolação da água e a formação de infiltrações na

estrutura (Baldessar, 2012). Quando o elemento da estrutura é produzido com materiais resistentes à água, ele poderá cumprir, ao mesmo tempo, o papel das duas primeiras camadas, como é o caso das telhas (Souza, 2020).

Os telhados verdes vêm se tornando cada vez mais interessantes para zonas urbanas devido às limitações que essas áreas têm, as “soluções azul-verdes” que também podem ser incorporadas a este sistema, mas de forma modificada são necessários cuidados na execução que envolve a construção de uma laje biologicamente ativa, mas com garantias de que a água não entre em contato com edifício durante a vida útil do telhado (Andenaes *et al.*, 2018).

Após a realização do tratamento das patologias pré-existentes no telhado, como fissuras e trincas e o reforço estrutural, caso seja identificada a necessidade, deve-se realizar também a limpeza e regularização da superfície, preparando-a para a aplicação da camada impermeabilizante (Brandi, 2021). Independente do material selecionado para compor a camada impermeabilizante, é importante elevar este material pelo menos 40 cm nas paredes para que, em caso de chuva, a água empoçada não ultrapasse a camada impermeabilizante e infiltre na estrutura do telhado (Rebollar, 2017).

3.2.2 Camada drenante

A camada drenante tem como função proporcionar o escoamento das águas, que acabam infiltrando nas camadas superiores do telhado verde, direcionando o fluxo da água para um sistema adequado, como tanque de reuso (Ventura; Barbosa; Nova, 2021). A camada drenante deve ter, no mínimo, 5 cm, podendo variar de espessura em alguns pontos (Carvalho, 2017). Conforme Silva (2011), esta camada pode ser constituída de brita, seixos, argila expandida e tem espessura de 7 a 10 cm.

3.2.3 Camada filtrante

Conforme Souza (2020), acima da camada drenante existe o elemento filtrante, muitas vezes composto por uma fibra sintética (manta geotêxtil) com boa resistência à tração gerada pela sobrecarga do substrato. Araújo (2007) destaca que a camada filtrante, conhecida como manta geotêxtil, é a parte que tem a função de filtrar a água

que penetra no substrato, evitando assim que a água, seja da chuva ou de irrigação, carregue as partículas de solo do telhado.

3.2.4 Substrato

O substrato é muitas vezes um material leve e sintético, que é poroso e inerte, com adição de nutrientes para as plantas (Bliss *et al.*, 2009). Uma das principais características é, de fato, a capacidade de reter parte da água da chuva para a superfície vegetada, tornando-se um coletor em um nível de telhado que reduz a quantidade de água diretamente impactando o nível no solo. (Giacomello; Gaspari, 2021). Foi demonstrado que o aumento da capacidade de retenção de água do substrato, pode aumentar a sobrevivência de cinco suculentas diferentes durante uma seca extrema na Austrália (Farrell *et al.*, 2012). De acordo com Todorov *et al.* (2018), é necessário realizar a comparação entre o escoamento de água em telhados com vegetação e telhados convencionais (telhados de alto albedo) para avaliar a qualidade do escoamento do telhado com entradas de deposição atmosférica.

Os substratos utilizados em coberturas verdes podem ser compostos por uma vasta gama de materiais alternativos, sejam eles elementos naturais ou sintéticos, que objetivam um equilíbrio entre as propriedades físicas ideais desejáveis, como baixa densidade, boa drenagem, e elevada capacidade de retenção de água, promovendo a reutilização destes resíduos (AMPIM *et al.*, 2010; Baldessar, 2012). De uma forma geral, os principais critérios para composição de sistemas de substratos são: a granulometria; a proporção do material orgânico; resistência mínima às intempéries, estabilidade estrutural, permeabilidade à água, máxima capacidade de retenção de água, nutrientes satisfatórios, boa aeração e um pH ideal para o cultivar a ser introduzido (em média entre 6,0 e 7,0) (Oliveira, 2012).

Como não é fácil encontrar materiais puros que poderiam apresentar as características ideais para um bom substrato, a esses são adicionados outros materiais ou produtos, melhorando-os física e quimicamente, integrando a mistura e funcionando como condicionadores (Santos *et al.*, 2000). Para Oliveira (2012), os materiais típicos adicionados à mistura de substratos são: solo superficial estéril, subsolo, areia, grânulos de argila, pedregulho ou cascalho (16 a 32 mm), “clinker” (tijolo vermelho moído, concreto etc), substitutos de turfa (cascas e folhas compostadas, fibra de coco, etc).

Os materiais incrementados a essa camada podem ser reciclados, sendo eles de característica orgânica ou não. A fibra do coco, por exemplo, é aplicada em alguns estudos, como no artigo de Bliss *et al.* (2009), que usaram um substrato composto por xisto expandido, perlita, e casca de coco, medindo 14 cm, a fim de retenção hídrica durante tempestades. Já Oliveira (2012) estudou a aplicação de biomassa seca de coco junto ao solo franco-argiloso, condicionador de solo, gel retentor de umidade, zeólita e um fertilizante de liberação lenta, a fim de melhorar também a capacidade de retenção hídrica além de servir como suporte para o crescimento saudável da vegetação. Carrijo (2002) defende o uso da fibra da casca de coco verde como substrato de boa qualidade para a produção de mudas, devido a sua facilidade de produção, baixo custo e alta disponibilidade.

Segundo Savi (2015) os substratos orgânicos são compostos feitos a partir da matéria vegetal, como resíduos vegetais e agrícolas (casca de pinheiros, fibras de coco, cascas de arroz e resíduos de poda). Outra aplicação orgânica benéfica também, é o bagaço da cana-de-açúcar. Este material demonstrou propriedades adsorventes para metais pesados como Cu, Cr e Pb (FERREIRA *et al.*, 2015) e azul de metileno (Silva; Oliveira, 2012). Nos estudos de Scarassatti (2021), os resultados indicaram que houve redução significativa dos ânions NO_3^- e SO_4^{2-} na água escoada pelo substrato contendo bagaço de cana-de-açúcar, se destacando, portanto, na retenção de nutrientes. Os materiais inorgânicos também podem ser adicionados ao substrato. De acordo com Cantor (2008), em geral, os substratos inorgânicos são os preferidos, com alguns aditivos para se adequar às condições específicas de cada instalação. Os outros materiais inorgânicos, também chamados de lixo seco, são encontrados em quantidade significativa que justificam uma coleta para reaproveitamento posterior, (Hiwatashi, 1998).

Um exemplo de material inorgânico, que pode ser reciclado e adicionado ao substrato é a telha cerâmica, ela recebe essa caracterização de composto, por ser de difícil decomposição. Delduque (2014) expõe que com o reuso da cerâmica vermelha como um meio alternativo no tratamento de água é possível reduzir os impactos ambientais, reduzindo o custo de mineração do material filtrante convencional (areia e carvão antracito) e impactos gerados pelos resíduos da indústria de cerâmica vermelha. O estudo de Elinesio (2018) mostrou que o substrato de "caqueira de telha" pode ser substituinte da Akadama, de forma que na utilização desse elemento como material filtrante, é necessário, o maquinário para a trituração e classificação

granulométrica do resíduo. Farrell *et. al* (2012) também utilizou telha cerâmica junto a outras composições no substrato com o intuito de aumentar a capacidade de retenção da água e obteve sucesso no resultado esperado.

3.2.4.1 *Influência do clima no substrato*

O clima, juntamente com o substrato e o tipo de vegetação, são os responsáveis pela eficiência dos telhados verdes, o fluxo hidrógrafo varia, assim como a intensidade das chuvas (Loiola; Mary; Silva, 2019).

Devido às diferenças nas condições climáticas e na forma de desenvolvimento da área urbana, é subentendido que os sistemas comerciais de telhados verdes de nações ocidentais ou de outros países podem não ser completamente adequados e adaptados ao contexto de outras localidades (Wong; Lau, 2013). Kuoppamäki e Lehvävirta (2016) e Kuoppamäki *et al.* (2016) mencionam que, as altas chuvas causam declínio de temperatura, transpiração por plantas e evaporação do substrato, levando a menor retenção de nutrientes. Por outro lado, a seca também traz danos a vegetação e ao substrato. Extrema umidade e seca severa, temperaturas extremas (geralmente elevadas), altas intensidades de luz e altas velocidades do vento aumentam o risco de dessecação e danos físicos à vegetação e ao substrato (Dunnett; Kingsbury, 2004).

3.2.5 **Vegetação**

Conforme Sá Rodrigues (2018), a vegetação é o principal elemento que compõe os telhados verdes, portanto é de suma importância a escolha da vegetação adequada. “O telhado verde extensivo tem como principal característica o cultivo de plantas rasteiras de pequeno porte, já o intensivo a vegetação varia desde pequenas plantas a árvores frutíferas” (Silva, 2011).

A vegetação diminui o fluxo de calor através da evapotranspiração atuando como uma barreira física da incidência de radiação solar direta e difusa promove o sombreamento do telhado, otimizando o isolamento e a inércia térmica do telhado como um todo (Oliveira, 2012). O tipo de vegetação é necessariamente que esteja de acordo com as condições climáticas da região a *portulaca grandiflora* é uma das espécies vegetais que possui características favoráveis para telhados verdes, como

capacidade de suportar condições de seca, boa cobertura do solo, menor manutenção, multiplicação rápida e raízes curtas e suaves (DDC, 2007).

Tran *et al.* (2019, p. 126) relata que, o gênero *Sedum* através de pesquisas e experiências industriais da Europa e da América do Norte é adequado às condições de telhado verdes, pois são suculentas e tolerantes à seca, além de sobrevirem em substratos de até 5 cm. A maioria dos estudos de pesquisa sobre telhados verdes empregou *sedum* e tem dado menos preferência a outras espécies vegetais (Macivor; Lundholm, 2011; Blanusa *et al.*, 2013).

A planta utilizada nessa pesquisa é do tipo Suculenta *Kalanchoe laetivirens*. De forma geral as espécies de *Kalanchoe* são de fácil cultivo, porém existem poucos registros da melhor forma de cultivo e sobre até que condições restritas de hábitat e necessidade de água essas espécies podem suportar (Pereira *et al.*, 2015). O telhado verde elaborado por Rocha (2020) utilizou esse tipo de vegetação e mostrou adaptação da planta mesmo com o clima semi-árido da cidade de estudo, Caruaru-PE com formato de estrutura adequada para a mesma através do uso de garrafa PET. Sua concepção que englobou o progresso econômico, os aspectos sociais e a preservação ambiental, permitiu o cultivo da vegetação utilizada (*Kalanchoe laetivirens*) em um ambiente adequado e a formatação necessária (Rocha, 2020).

3.2.6 Classificação

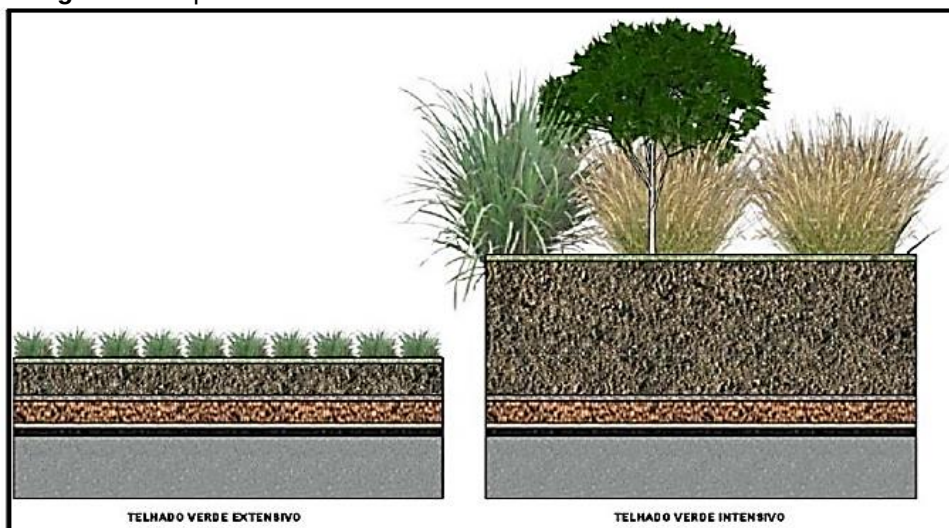
De acordo com Ferraz (2012), existem três principais tipos de cobertura vegetada, o intensivo, o semi-intensivo e o extensivo. Mas, o manual de Snodgrass e McIntyre (2010) assim como o documento britânico Green RoofGuidelines (2014), destaca apenas a existência da classificação do telhado verde como intensivo e extensivo (Dilly, 2016). A classificação alemã de telhados vivos, pelo (Ecotelhado, 2007), mostra que esse tipo de cobertura é dividida em dois grupos sendo um extensivo o qual possui um substrato menos espesso com cerca de 70 e 170 kg/m² e o intensivo mais pesado com cerca de 170 kg/m². Na Tabela 1, tem-se o peso que é atribuído ao telhado verde de acordo com sua classificação.

Tabela 1- Peso da carga do telhado verde relativo à carga conforme sua classificação

Características	Extensiva	Semi-Intensiva	Intensiva
Carga superficial	até 100 Kg.m ²	de 100 a 700 Kg.m ²	de 700 a 1.200 Kg.m ²
Espessura Vegetal	menor que 15 cm	de 15 a 100 cm	superior a 250 cm
Espessura substrato	menor que 10 cm	de 10 a 20 cm	superior a 20 cm
Tipo de vegetação	Herbáceo extensivo	Arbustivo	Arbóreo
Manutenção	Baixa ou nenhuma	Média	Intensa

Fonte: Willes (2014), adaptado de Rola (2008).

Um telhado verde, do tipo extensivo, consiste de um substrato leve e de uma vegetação apropriada, plantada sobre uma base impermeável, podem conter também camadas adicionais, tais como, um sistema de drenagem e irrigação e uma barreira anti-raízes (Willes, 2014). Ainda conforme o mesmo autor o telhado intensivo tem um sistema mais complexo por ser mais robusto necessitando dessa maneira de um projeto específico para cada telhado com essa classificação de acordo com o tamanho da planta que será instalada para que haja um suporte das raízes e levando em conta o desenvolvimento da vegetação. De forma geral, os telhados verdes com substrato de menor altura são denominados de telhados verdes extensivos e os telhados verdes com maior espessura de substrato de telhados verdes intensivos. A Figura 2 ilustra a disposição vegetativa e espessura do telhado conforme a classificação.

Figura 2- Esquema ilustrativo dos sistemas de telhado extensivo e intensivo

Fonte: Dilly (2016).

3.2.6.1 Extensivo

Telhados verdes extensos, também chamados de telhados ecológicos ou leves verdes, têm uma camada substrato de 2 a 20 cm de profundidade, exigem irrigação

mínima ou não, e geralmente são plantados com musgo, suculentas, grama e algumas plantas herbáceas (Dunnett; Kingsbury, 2004; Oberndorfer *et al.*, 2007).

A seleção das plantas para telhados extensos principalmente os de profundidade do substrato inferior a 15 cm, são limitadas devido às plantas que possam suportar irrigações suplementares que podem não estar disponíveis em períodos de seca e os sistemas radiculares rasos e não penetrantes (Tran *et al.*, 2019).

3.2.6.2 *Intensivo*

Telhados verdes intensivos são mais profundos que 20 cm, muitas vezes projetados como jardins para uso humano, e geralmente requerem irrigação e manutenção (Reyes *et al.*, 2016). Eles também podem suportar arbustos selvagens, *coppices*, árvores pequenas e gramado, (Oberndorfer *et al.*, 2007; FLL, 2008). Por ser um telhado com volume mais vantajoso de todas as camadas de composição, ele possui a vantagem de trazer maiores benefícios estéticos, proporcionando uma melhor qualidade de vida para localidade populosa. Esses benefícios podem ser influenciados pelo tipo de telhado instalado, como por exemplo os intensivos que aumentam os espaços de recreação e de vida em áreas que são densamente povoadas (Coma *et al.*, 2016).

3.3 Leis que estimulam a aplicação do telhado verde

Recentemente, várias cidades brasileiras têm incentivado com políticas públicas e legislação específica a introdução dos telhados verdes no meio urbano (Garcia *et al.*, 2015). Podem ser listadas algumas legislações que contém regulamentações quanto à implementação de telhados verdes: do estado de Santa Catarina, Lei nº 14.243 (SANTA CATARINA, 2007), de 11/12/2007; do município de Guarulhos, Lei nº 7.031 de 17 de abril de 2012 (GUARULHOS-SP, 2012); do estado do Rio de Janeiro, Lei nº 6.349 (RIO DE JANEIRO, 2012), de 30/11/2012; do município de João Pessoa-PB, Lei nº 10.047 de 09 de julho de 2013 (JOÃO PESSOA-PB, 2013); do Município de Canoas, Lei nº 5.840 (CANOAS-RS, 2014), de 27/05/2014; do município de Recife, Lei nº 18.112 (RECIFE-PE, 2015), de 12/01/2015;

do município de São Paulo, Lei nº 16.277 (SÃO PAULO-SP, 2015), de 05/10/2015, (Canabrava Neto *et al.*, 2021).

3.4 Definição de telhado ecológico

Segundo Kibert (1994), a construção sustentável tem como objetivo a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e em princípios ecológicos. A construção sustentável tem papel fundamental no desenvolvimento e incentivo de toda uma cadeia produtiva que possa alterar seus processos para um foco mais ecologicamente correto, de forma a reverter o quadro de degradação ambiental e poluição (Mesquita Filho, 2011). Em paralelo, a “construção ecológica”, muito embora confundida com a “construção sustentável”, está relacionada a técnicas de construção que utilizam materiais encontrados no próprio local da construção, propondo a menor interferência possível na paisagem, como por exemplo, as casas dos esquimós, feitas com o gelo encontrado no próprio local e que praticamente se confunde com a paisagem (Kava, 2011).

Entre os tipos de telhados ecológicos estão o telhado marrom e o telhado verde. (Gomes, 2019), para ela a diferença entre esses dois telhados é o fato de um ser vegetado (telhado verde) e o outro não vegetado (telhado marrom).

Nesse contexto, apesar de não ser constatada muitas definições exatas do que é telhado verde ecológico, ele pode ser definido como um telhado verde que reutiliza materiais na sua construção, apresentando um menor custo de elaboração podendo ou não conter todas as camadas que compõe o telhado verde convencional, mas deve possuir a camada vegetativa.

3.4.1 Telhado verde ecológico com materiais sustentáveis

O telhado verde ecológico com aplicações de materiais reciclados para a sua composição vem sendo difundido, a fim de trazer melhorias como por exemplo na temperatura. A incorporação das garrafas PET no contexto do telhado vegetado cria um novo conceito, que é o telhado ecológico (Leonardo, 2021). Os resultados do estudo feito por Funfgelt *et al.* (2012) mostraram vantagem ao fazer uso de garrafas PET no telhado verde, diminuindo cerca de - 0,17 °C, quando comparado ao de telha

de fibrocimento sem vegetação. Um ano antes, Cortés e Castillo (2011) fizeram o uso de garrafa PET para esse sistema também dessa vez com plantações de hortaliças e contataram também a diminuição da temperatura tanto para a telha de fibrocimento como para na temperatura ambiente. Panziera *et al.* (2015) usaram também de PET no sistema aliado à manta de polietileno de alta densidade (PEAD) e partes de garrafas PET, que eram anéis de garrafa PET. Os resultados mostraram diminuição de temperatura em relação ao telhado convencional. Os dois últimos estudos apresentaram uma diminuição de 3°C e 4°C. Rocha (2020) em sua pesquisa, observou o conforto térmico na edificação após a aplicação do telhado verde ecológico com cobertura vegetal de Aranto e arranjo de suporte com garrafas PET. A autora reportou que o telhado verde configurado com PET, diminuiu 3°C a temperatura interna de edificação no semiárido pernambucano, demonstrado assim que apesar dos outros estudos estarem em regiões onde o clima é mais ameno, ainda há uma diminuição térmica quando comparada ao sistema de telhado convencional.

Os custos de instalação e de manutenção do sistema tornam o método tradicional de construção de telhado verde por vezes inviável, em moradias que possuem estruturas mais simples, assim esse fator, faz com que ele seja mais aplicado em prédios. Logo, incrementar materiais reciclados para sua composição e estruturação torna esse sistema mais ecológico e tecnológico. Sabendo-se que o método utiliza as telhas ou a própria laje existente para suporte da vegetação, sendo necessário apenas recipiente impermeabilizado ou tratamento específico na estrutura de concreto que irá receber as camadas do sistema, ainda, é necessário que o método gere um bom funcionamento do sistema, de forma que não prejudique o desenvolvendo da vegetação, ou da própria função do telhado, juntamente com o baixo custo e a manutenção do uso de recursos naturais, incorporando a construção do telhado ecológico vegetativo, o uso de materiais reciclados.

As adaptações por uso de materiais reciclados na construção civil segundo Baptista Junior (2013) se devem a sua grande influência no meio urbano, a utilização de muitos dos recursos naturais não renováveis e pelo fato de ser responsável por um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos, onde os mesmos quando dispostos em locais inapropriados contribuem para a degradação da qualidade ambiental. Conforme Yemal (2011), construções que se utilizam de tecnologias ecologicamente corretas estão conquistando um espaço cada vez maior no mercado europeu e norte americano.

O emprego de materiais reciclados no telhado verde pode gerar além de diminuição térmica, um menor custo de implantação como também a redução do escoamento de água. Na pesquisa de Naranjo *et al.* (2020) foram aplicados materiais reciclados na camada de drenagem do sistema, a fim de gerar economia junto a sustentabilidade da técnica. Neste estudo, foi observada diminuição de temperatura, do volume de água escoada, além de constatar que essa aplicação é mais fácil e de baixo custo de implementação tanto para novas ou antigas estruturas. No estudo de Pereira Júnior e Silva (2011), o custo do telhado foi orçado em R\$ 16,00/m², para a formulação de um telhado verde com o emprego de PET, enquanto as empresas especializadas em instalação de telhados verdes cobram cerca de R\$ 75,00/m².

3.5 Qualidade de água de telhados verdes

Segundo Gimenes (2017), a utilização de telhados verdes para aproveitamento de água de chuva ainda é pouco utilizada no Brasil, mas demonstra potencial de unir diversos benefícios, sendo assim uma alternativa interessante para enfrentar a crise hídrica e a gestão da água nas cidades. Os Telhados verdes têm potencial para atuar como pia para vários metais (Ca, Mg, Al, Fe, Cr, Ni, Zn, Pb e Cd) e neutralizar a natureza ácida da água da chuva (Vijayaraghavan; Joshi, 2014).

De acordo com Seidl *et al.* (2013) e Gromaire *et al.* (2013), o escoamento da água de telhados verdes pode produzir um maior nível de nitrogênio orgânico, fosfato, carbono, além de metais. Em outro estudo, MacMillan (2004) identificou que a água proveniente do telhado verde apresentou concentrações maiores de fósforo total, fosfato e alguns metais quando comparados com um telhado convencional. Alguns estudos da qualidade da água escoada em telhados verdes indicaram variações significativas nos resultados de pH e da concentração de nutrientes e metais pesados, em função das diferenças na construção e manutenção dos telhados, e também dos aspectos da qualidade do ar no local (Berndtsson, 2010).

Ferreira e Moruzzi (2007) observaram que a água de chuva do telhado verde pode ser aproveitada, desde que sejam considerados os aspectos da composição do substrato, vazão do escoamento, tipos de vegetação e o tempo de estabelecimento da vegetação. A água da chuva escoada a partir do telhado verde pode apresentar nutrientes lixiviados da vegetação e substrato, microrganismos e ter a cor alterada, portanto pode ser indicada a utilização de algum tipo de filtro, sem posterior

desinfecção (Vijayaraghavan, 2016). Castro (2011) destaca que a presença da cobertura verde em terraços e telhados aumenta os valores de sólidos totais, fósforo total, nitrogênio, nitrato, turbidez, DBO, além de tornar o pH mais alcalino (próximo a 8).

3.5.1 Parâmetros de qualidade da água

Para definir os possíveis usos da água de chuva, após ser captada através de uma superfície, é necessário conhecer, a princípio, a qualidade da mesma (gomes, 2018). A ABNT (2007) se refere ao aproveitamento das águas de chuva, porém o uso dos telhados verdes (cobertura verde) para essa finalidade não foi explorado (Reis e Silva, 2014).

Gimenes (2017) mostra que existem duas questões sobre o uso de água proveniente do sistema de telhado verde, a primeira é que estudos mostram que ela possui uma quantidade de contaminantes e a segunda, refere-se ao tempo em que a água passa a ficar retida ou não devido a variação climática e incidência de chuva. Assim, a problemática da utilização da água de chuva efluente ao telhado verde envolve dois aspectos importantes: o volume de água aproveitável (quantidade) e a sua qualidade (Ferreira, 2007). As normas do Brasil que regulamentam a qualidade de água da chuva são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2- Normativa sobre qualidade de água da chuva

NORMATIVA	FINALIDADE
NBR 15.527/2007	Dispõe sobre os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.
CONAMA 357/2005	Classifica os corpos d'água e dá diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes
NBR 13.969/1997	Dispõe sobre o projeto, a construção e a operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos.
“Qualidade da água para Tetos verdes irrigação” (ALMEIDA, 2010) da EMBRAPA	Recomenda os limites de alguns parâmetros de qualidade da água a ser destinada à irrigação
Portaria do MS 2.914/2011	Dispões sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Fonte: Adaptado de Gimenes (2017).

A NBR 15527/2007 não é muito abrangente em termos de parâmetros de qualidade da água, logo é recomendável adotar os critérios já previstos na resolução Conama 357/2005, na qual para cada classe de uso da água, são indicados diversos parâmetros de qualidade que a mesma deve apresentar (Garrido Neto, 2012). Neste caso, os parâmetros mais analisados para a qualidade de água de potabilidade do telhado verde que se aplicam a NBR 15527/2007 conforme Gimenes (2017), são: pH, Cor, Turbidez, Coliformes totais, Cloro residual livre, Coliformes termotolerantes, no caso da CONAMA 357/2005 e MS 2914/2011, os parâmetros são: cor, turbidez, pH, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, ortofosfato, coliformes totais, coliformes termotolerantes (*E. coli*).

Em relação aos parâmetros analisados para o possível reuso da água em diferentes atividades conforme a NBR 13.969/1997, são: pH, Turbidez, SDT, Cloro Residual, OD e Coliformes Fecais. Já, em relação a irrigação, a Embrapa, menciona a análise dos parâmetros comumente utilizados. Habitualmente as determinações que se realizam na água são: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Total de Sais Dissolvidos (TSD), íons: sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}), cloretos (Cl^-), sulfatos (SO_4^{-2}), carbonatos (CO_3^{-2}) e bicarbonatos (HCO_3^-) (Embrapa, 2010). Além disso, ela indica que é necessário a análise do íon boro (B^+) devido a possível toxicidade presente na água proveniente da irrigação.

3.5.1.1 pH

Para Melo e Andrade Neto (2007), o pH, além de ser de importante análise pelo que representa para as reações químicas e bioquímicas, é de fundamental importância porque indica a presença de inúmeros sólidos e gases dissolvidos na água. No que se refere à água escoada dos telhados verdes, os valores obtidos para este parâmetro podem limitar seu emprego na irrigação do próprio sistema, uma vez que o pH interfere no crescimento da planta devido ao seu efeito na disponibilidade de nutrientes, em especial de microelementos (Bailey; Nelson; Fonteno, 2000).

Segundo Lost (2008), o pH é um dos parâmetros mais difíceis de interpretar, uma vez que existe um grande número de fatores que podem causar influência em suas concentrações, como os sólidos dissolvidos, temperatura da água, oxidação da matéria orgânica e a fotossíntese, e também efluentes domésticos, industriais e esgotos. Para Ayers e Wescot (1999), a faixa de pH considerada normal para a água

de irrigação está entre 6,5 e 8,4. Na ausência de poluentes, o pH da água da chuva é de aproximadamente 5,7, indicando nível de acidez normal devido à formação de ácido carbônico (H_2CO_3), derivado do dióxido de carbono (CO_2), cuja presença é normal na atmosfera (Jaques, 2005).

3.5.1.2 *Turbidez*

A turbidez é uma medida fotométrica, em que se analisa a matéria em suspensão e sua capacidade de interferir no fluxo de energia luminosa, ou seja, a turbidez representa o grau de interferência à passagem da luz na água, ocasionando uma aparência turva (Sincero; Sincero, 2003). A turbidez mostra o quanto o feixe de luz consegue incidir na água. A unidade de medida é turbidez (uT). Para águas superficiais, a turbidez natural está em uma faixa de 3 a 500 uT e para águas subterrâneas em faixa inferior a 1,0 uT (Libânio, 2010). Segundo Nogueira (2018, p.17), a turbidez no escoamento é influenciada pelo tipo de substrato e pela presença ou não de vegetação, o que tem implicações para os períodos de estabelecimento.

3.5.1.3 *Cor*

A cor da água, pode variar de acordo com a quantidade de matéria sólida presente, esse aspecto, faz com que haja rejeição das pessoas quanto ao seu uso, por método ela pode ser classificada como cor aparente e cor verdadeira “a coloração da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas que pode ser relacionado com a concentração de carbono orgânico no ambiente aquático” (Libânio, 2010, p. 27). A cor distingue-se entre cor aparente, onde pode estar inclusa uma parcela devido à turbidez da água e cor verdadeira, quando esta é removida (Von Sperling, 2005). Na cor aparente inclui uma parcela de sólidos em suspensão, que estão relacionados com a turbidez, e a cor verdadeira considera apenas as partículas dissolvidas, com diâmetro inferior a 1 μm (Farias, 2012).

3.5.1.4 *Condutividade elétrica*

O parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode ser um

indicador importante de possíveis fontes poluidoras (Zuin; Ioriatti; Matheus, 2009). Para a condutividade e a salinidade, os telhados verdes atuam como fonte, aumentando a concentração de íons no escoamento (Vijayaraghavan *et al.*, 2012). Segundo Andrade Neto *et al.* (2003), águas que apresentam condutividade maior que 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ têm seu uso restrito para a irrigação.

3.5.1.5 Nitrogênio e fósforo

Uma atenção maior precisa ser dada aos nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, por fazerem parte dos principais contaminantes responsáveis por diminuir a qualidade da água (Gomes, 2019). Estudos indicam que pode haver tanto aumento quanto diminuição nas concentrações de nitrogênio e fósforo em telhados ecológicos (WANG; QIN; HU, 2017). De acordo com Toledo (2019, p.13), quando se fala em crescimento dos organismos observa-se que um nutriente essencial, é o fósforo.

Hathaway, Hunt e Jennings (2008) analisaram a qualidade da água escoada do telhado verde, e observaram a existência de macronutrientes inorgânicos (nitrogênio e fósforo) devido ao substrato. Li e Babcock (2014) destacam que muitos dos estudos publicados atualmente, relatam a presença de fósforo e nitrogênio em quantidades consideráveis nas águas provenientes de telhados verdes. Geralmente são encontrados teores de fósforo superiores aos valores da água de precipitação, enquanto que para nitrogênio, muitas vezes, os teores acabam sendo menores. Logo, os telhados verdes podem ser um sumidouro, evitando com que o mesmo alcance os mananciais hídricos (Liberalesso, 2018).

O nitrogênio pode ser encontrado em diversas formas. Em geral, a presença de nitrogênio em suas diversas formas na água captada dos telhados verdes está associada à presença de excrementos animais, bem como o uso de fertilizantes, (Budel, 2014). Teemusk e Mander (2007) afirmaram que na quantidade de nitrogênio, em eventos chuvosos intensos, predomina o nitrogênio na forma amoniacal, devido à vegetação e ao tipo de substrato. De acordo com Alaburda e Nishira (1998), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato, sendo que a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

Já no caso do fósforo ele também pode se apresentar em várias formas. O fósforo pode se apresentar nas águas nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico, sendo que este último provém das excreções humanas e de animais, bem como de restos de alimentos (Farias, 2012).

3.5.1.6 *Ferro*

Para Lima (2012), o valor do ferro presente no telhado verde está ligado ao substrato utilizado na cobertura. O ferro pode ser encontrado na forma solúvel e insolúvel, sendo a principal origem do ferro em águas a passagem da mesma pelo solo, provocando a dissolução de compostos (Von Sperling, 2005). Segundo Toledo (2019 p. 13), o ferro não representa um fator tóxico, porém influencia a cor e o sabor da água, trazendo problemas no abastecimento de água. Além disso, pode causar manchas em aparelhos sanitários e em roupas durante a lavagem, o que pode comprometer a destinação da água para uso doméstico (Farias, 2012).

3.5.1.7 *Cloreto e sulfato*

A origem do ânion cloreto (Cl^-) pode ser natural ou antrópica, sendo as principais fontes naturais a dissolução de minerais e a intrusão de águas salinas (em regiões costeiras), e de origem antrópica as principais fontes são os despejos domésticos e industriais (Von Sperling, 2005) e do retorno de águas de irrigação. Segundo Ayers e Westcot (1999), o cloreto não é adsorvido pelas partículas do solo se deslocando juntamente com a água, porém é absorvido pelas plantas e se acumulando nas folhas pelo processo de transpiração. Já o íon sulfato (Kresic, 2006), é uma forma derivada da oxidação do enxofre, sendo encontrado em toda precipitação atmosférica, uma vez que é um dos principais constituintes dissolvidos da chuva.

3.5.1.8 *Sólidos dissolvidos totais*

Os sólidos dissolvidos totais (SDT) são partículas que não são capazes de passar em um filtro de 2 μm (Gomes, 2019). Segundo Silva (2017, p.52), os sólidos totais são constituídos por duas frações: os sólidos totais fixos e os sólidos totais voláteis. No caso dos sólidos totais, ele é correspondente ao volume restante de

material que fica no cadinho após a evaporação do líquido após a passagem do mesmo pela murfla à temperatura de 103 - 105 °C. Os sólidos voláteis totais são o resultado da diferença da queima do resíduo em mufla a 550-600 °C e o material mineral remanescente no cadinho após a incineração (cinzas) são denominados sólidos fixos totais (Firmino, 2018).

No que se refere à legislação citada, de acordo com a NBR 13.969/1997, o valor de sólidos dissolvidos totais é um dos limitantes aplicados na classificação da água para recomendação de reuso, de forma que o valor máximo de 200 mg/L corresponde à classe 1, sendo que para as classes 2, 3 e 4 não há delimitação deste parâmetro (Farias, 2012).

3.5.1.9 Dureza

Conforme Lima *et al.* (2019), a dureza da água resulta, principalmente, da presença de sais alcalinos terrosos (cálcio e magnésio) ou de outros metais bivalentes, em menor intensidade, em teores elevado. A dureza total é um parâmetro que está associado à presença de cátions, principalmente os bivalentes cálcio e magnésio (Ca^{+2} e Mg^{+2}), sendo que a principal fonte de dureza nas águas é a passagem da mesma pelo solo, devido à dissolução de minerais, da rocha calcárea, por exemplo (Farias, 2012). Em altas concentrações, esses íons são responsáveis por incrustar tubulações a partir da formação de compostos insolúveis podendo dificultar ou impedir a passagem de água em sistemas de irrigação (Gomes, 2019).

3.5.1.10 Alcalinidade, carbonatos e bicarbonatos

Conforme Von Sperling (2005), na determinação da alcalinidade da água, quando o pH apresenta valor entre 4,4 e 8,3 indica a presença de bicarbonatos, já o pH entre 8,3 e 9,4 corresponde à presença de carbonatos e bicarbonatos, e para o pH maior que 9,4 indica que os principais constituintes são hidróxidos e carbonatos. Segundo Lima, Lopes, Lima (2014, p. 541), a quantidade relativa de íons carbonato em uma água é função do pH e do conteúdo de gás carbônico dissolvido. No caso do bicarbonato de acordo com Zoby e Oliveira, (2005), quando sua concentração é inferior a $91,5 \text{ mg.L}^{-1}$, é benéfico aos vegetais, principalmente na forma de bicarbonato de cálcio $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$.

3.6 Influência do substrato para a qualidade da água

Segundo Liu *et al.* (2021), o impacto dos telhados verdes na qualidade da água está fortemente associado às espécies de plantas, características do substrato, micróbios do solo, práticas de manejo e ambiente ecológico local. Casto (2011), mostrou em seu estudo que existe ainda, um melhoramento na distribuição do escoamento superficial ao longo do tempo nos telhados com cobertura vegetada, devido a quantidade de água elevada nos poros do substrato, que é retida por meio da diminuição de velocidade.

Os componentes presentes no substrato na teoria podem ter a função de ser adsorventes de poluentes e servir como componentes de filtros, da mesma forma que, podem contribuir para a degradação da qualidade das águas receptoras, através das substâncias poluentes do solo, plantas e fertilizantes (Vijayaraghavan *et al.*, 2012; Vijayaraghavan; RAJA, 2014). Estudos limitados se concentraram na otimização de suas combinações montadas para melhorar a qualidade da água do escoamento do telhado verde (Vijayaraghavan *et al.*, 2019; Gong *et al.*, 2020). Materiais do solo e fertilizantes têm os efeitos negativos mais substanciais sobre o conteúdo de nutrientes no escoamento de telhados verdes (Berndtsson, 2010).

Conforme Hashemi, Mahmud e Ashraf (2015 p. 670), para a maioria dos componentes da água de escoamento do telhado, os resultados diferem dependendo dos diferentes sistemas de telhado verde e da composição da camada de substrato. No estudo de Moran, Hunt e Jennings (2004), o substrato foi apontado como sujeito das altas cargas de nitrogênio e fósforo encontradas no escoamento do telhado verde. Alguns autores divergem quanto à qualidade, boa ou ruim, da água escoada do telhado verde, mas acreditam que de alguma forma esta qualidade é afetada, uma vez que os nutrientes presentes no substrato são lixiviados pela chuva (Akther *et al.*, 2018; Ferrans *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2020).

Além da modificação do substrato para aprimorar a qualidade da água utilizando diferentes materiais, é possível realizar alterações em outras camadas que compõem o sistema do telhado verde ecológico, visando à reciclagem de materiais e à disseminação mais ampla do sistema. Ao longo dos anos, diversos estudos têm explorado a utilização de garrafas PET na configuração do telhado verde ecológico, conforme evidenciado no Quadro 2.

Quadro 2- Pesquisas que usam garrafas PET no telhado ecológico

FONTE DE INFORMAÇÃO	METODOLOGIA	VEGETAÇÃO E SUBSTRATO
Pereira Júnior e Silva (2011)	Garrafas PET dispostas em fileiras longitudinais, onde a primeira garrafa tinha apenas a parte posterior cortada, as do centro tinham a parte frontal e posterior cortadas, e a última apenas a parte frontal. Foram feitas uma abertura no centro da garrafa para o acondicionamento do substrato e da vegetação, porém apenas em três sentidos, deixando sua aba, sendo unidas umas às outras por meio de rebite e arames.	Vegetação: Muda do gênero Sedum, Batata doce (<i>Ipomoea batatas</i>) e amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L); Substrato: uma parte de terra vegetal, uma parte de areia e duas partes de compostagem.
Cortés e Castillo (2011)	Utilização de garrafas PET de 3L, dispostas no sentido longitudinal, com três aberturas na parte lateral medindo 7 cm x 10 cm servindo como recipiente para o substrato e a vegetação, e três perfurações no bocal da garrafa para o funcionamento no sistema de drenagem.	Vegetação: As espécies utilizadas foram a alface crespa (<i>Lactuca sativa</i>) com rabanete (<i>Rhaphanus sativus</i>), cebola longa (<i>Alium fistulosum</i>), coentro (<i>Coriandrum sativum</i>) com alface crespa, espinafre (<i>Spinaca oleracea</i>) e salsa (<i>Petroselinum crispum</i>); Substrato: mistura de terra preta e casca de arroz (proporção de 2:1).
Funfgelt <i>et al.</i> (2012)	Garrafas PET com gramíneas e crassuláceas dispostas no sentido longitudinal cortadas ao meio, perfuradas na base para drenagem, unidas por meio do bocal em um semicírculo no fundo da mesma. Foram fixadas por meio de uma malha de fios de nylon presa nas extremidades.	Vegetação: Gramíneas e Crassuláceas; Substrato: Solo, cama de aviário e casca de arroz queimado.
Jobim (2013)	Garrafas PET de 2 L, cortadas ao meio, com furos em toda a sua circunferência a 3 cm da base para drenagem. Foram dispostas de forma vertical e intercaladas por um espaço vazio e no interior delas havia camadas com: argila expandida, manta geotêxtil, areia, substrato e vegetação.	Vegetação: Grama São Carlos (<i>Axonopus compressus</i>) e a Calanchôe (<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>); Substrato: Solo, cama de aviário e casca de arroz queimado.
Panziera <i>et al.</i> (2015)	Anéis de garrafas PET de 2,0 e 2,5 L, com 5 cm de altura no sentido vertical, com a finalidade de armazenar água da chuva e servir como suporte para o substrato e para a vegetação.	Vegetação: Grama São Carlos (<i>Axonopus compressus</i>); Substrato: geomembrana.

Martins e Pinto (2016)	Utilização de garrafas PET no sentido vertical medindo 7 cm de altura. Na parte inferior continham manta geotêxtil do tipo Bidim, seguidos pelo substrato e vegetação.	Vegetação: gramínea cultivar esmeralda; Substrato: solo São Pedro.
Rocha (2020)	Utilização de garrafas PET de 2L cortadas longitudinalmente como módulo suporte de telhados verdes ecológicos. As garrafas foram perfuradas na base para a drenagem e unidas por meio de grampos metálicos localizados em furos nas bordas laterais das garrafas.	Vegetação: Kalanchoe laetivirens Substrato: terra tratada (esterco, calcário e areia)
Gonçalves <i>et al.</i> (2021)	Telhado verde com dimensão de 1x1x0,1m construído com camada de drenagem oriunda de material reutilizado (Polietileno Tereftalato - PET) sobre telhas de fibrocimento impermeabilizadas, camada filtrante, substrato e vegetação. A camada de drenagem foi formada por 100 fundos de garrafa PET com 4 cm de espessura, cortadas longitudinalmente.	Vegetação: Grama Esmeralda (Zoysia japonica Steud). Substrato: comercial denominada "Flores & Folhagens" da BIOMIX®, concentra macros e micros nutrientes essenciais à vida vegetal, ou seja, turfa, casca de pinos, vermiculita, resíduo orgânico classe A serragem e esterco compostado.
Leonardo (2021)	Três tipos de telhados, sendo posto na laje da célula-teste 3 (CT3) um arranjo confeccionado com garrafas PET de refrigerante Coca-Cola com capacidade para 2L e embalagens Tetra Pak, após a limpeza e preparação das garrafas para a união das mesmas com enforcador plástico, tanto para o arranjo com garrafas PET vazias como para com as garrafas preenchidas totalmente com água.	Vegetação: suculenta Kalanchoe laetiviren; Substrato: composição recomendada para a vegetação selecionada
Vilarim (2022)	Este estudo utilizou o mesmo processo de montagem de Rocha (2020), Em que, as garrafas PET de 2 L, foram dispostas longitudinalmente, realizados recortes retangulares de 9 cm X 18 cm na parte superior delas, para colocação do substrato e da vegetação, elas foram fixadas umas às outras por clips de papel 6/0 de arame de aço galvanizado, realizou-se 10 furos na base longitudinal de cada garrafa para o escoamento e quatro furos, um em cada ponto da abertura retangular superior, para o encaixe dos clipe.	Vegetação: suculenta Kalanchoe laetiviren; Substrato: Areia lavada, Terra vegetal.

Fonte: Adaptado de Rocha (2020) e Vilarim (2022).

Os estudos apresentados no Quadro 2 demonstram a aplicação do recipiente de garrafa PET no sistema de telhado verde com diferentes disposições, aproveitando seu formato. Isso evidencia claramente sua aplicabilidade para esse método, assegurando não apenas o funcionamento eficiente do sistema, mas também a reutilização de materiais que, de outra forma, seriam descartados.

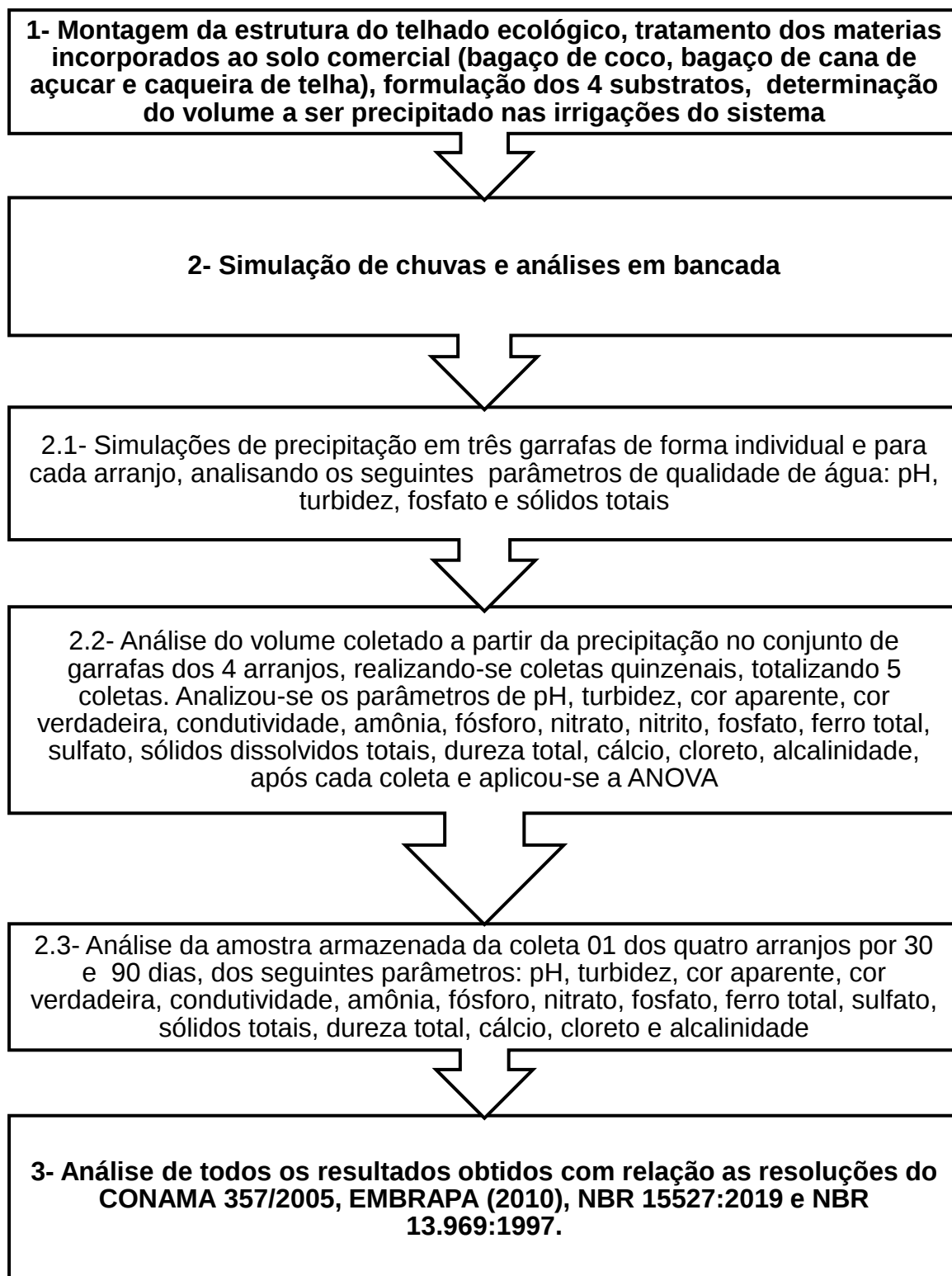
Foi observada uma escassez na literatura quanto à aplicação de materiais reciclados em substratos para a melhoria da qualidade da água proveniente de telhados verdes, especialmente para sistemas que se diferenciam da composição convencional das camadas que o compõem. Materiais como bagaço de coco, cana-de-açúcar e caqueira de telha já foram utilizados em telhados verdes como camada de substrato. Contudo, não houve aplicação desses materiais em um solo comercial local de Caruaru-PE. Além disso, não foi identificada essa formulação específica em conjunto com a aplicação da vegetação *Kalanchoe laetivirens* sob condições de chuva intensa, comuns no semiárido pernambucano.

.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir, no fluxograma da Figura 3, está demonstrado todas as etapas realizadas para a fundamentação desta pesquisa.

Figura 3- Fluxograma de etapas/análises da pesquisa.



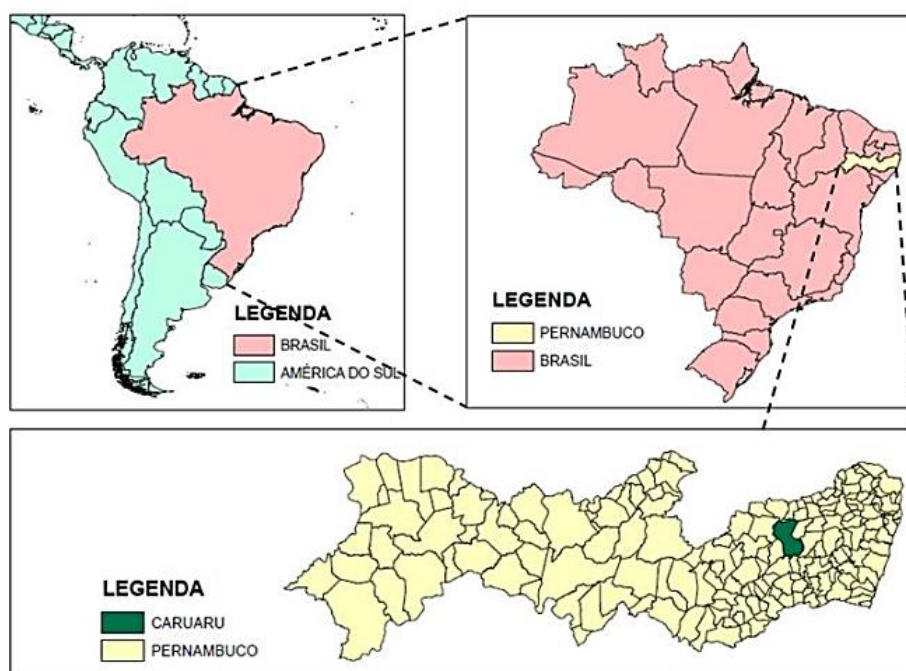
Fonte: Autora (2024).

4.1 Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida no Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, em Caruaru-PE. Essa região está localizada no agreste de Pernambuco, Nordeste brasileiro como mostrado na Figura 4, e possui as coordenadas 8° 16' 8" S e 35° 58' 33" O. O espaço geográfico que contempla Caruaru é o Semiárido brasileiro, estando o município entre os cinco mais populosos dessa região (MEDEIROS *et al.*, 2012). O semiárido possui como característica índices climáticos extremos, como altas insolações, altas médias de temperatura e chuvas escassas e irregulares, sendo o clima típico do Nordeste do Brasil (CORADIN *et al.*, 2018).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima para essa localidade é do tipo semiárido (BSH), com verões quentes e secos, já o inverno é moderado e chuvoso de acordo com Medeiros (2016) e Alvares *et al.* (2013). Lorena (2017, p.3), o trimestre chuvoso centra-se nos meses de maio, junho e julho e os seus meses seco ocorrem entre outubro, novembro e dezembro. No estudo de Farias (2012, p.48), a precipitação média total anual observada no município de Caruaru para o período analisado ficou abaixo de 500 mm por ano.

Figura 4- Localização do Brasil na América do Sul destacando a cidade de Caruaru no estado de Pernambuco



Fonte: Silva (2017).

A unidade federativa possui 98.312 km², fica localizada no centro leste da Região Nordeste e tem como capital a cidade do Recife (NESP, 2016). A área municipal representa 0,94% do Estado de Pernambuco distante 140,7 km da capital e tem sede principal localizada a uma altitude de 554 m acima do nível do mar.

As formações geológicas do Agreste, a região a qual Caruaru está inserida é formada pelo planalto da Borborema. O município de Caruaru está inserido no planalto da Borborema, formado por maciços rochosos proterozóicos, com altitude de média de 554 m acima do nível do mar (CORADIN *et al.*, 2018). O município de Caruaru está totalmente inserido no Domínio Hidrogeológico Fissural, que é formado de rochas do embasamento cristalino que englobam o sub-domínio rochas metamórficas e o sub-domínio rochas ígneas e dos granitóides (CPRM, 2005).

Já com relação à vegetação, esta é típica do semiárido. O bioma predominante em Caruaru é a caatinga (IBGE, 2010). Conforme Silva (2009), a região estudada encontra-se em uma zona cuja vegetação predominante original é a caatinga hipoxerófila, formada por florestas subcaducifólica e caducifólica, a qual recobria a maior parte do território no período pré-colonial.

4.2 Telhado verde ecológico

O sistema do telhado verde é composto por diferentes camadas que são elas: a camada de drenagem, a camada filtrante, a camada do substrato e a camada da cobertura vegetal. A maioria dos telhados verdes são compostos de vegetação, substrato, tecido de filtro, material de drenagem, barreira de raiz e isolamento (VIJAYARAGHAVAN; RAJA, 2014).

Entretanto, a configuração empregada ao telhado verde ecológico deste estudo é diferente do convencional, pois é utilizado no sistema, materiais sustentáveis tanto na formulação do sistema e como nas composições do substrato. A camada de substrato possui materiais reciclados como: resíduo de telha cerâmica, turfa de coco e bagaço de cana-de-açúcar, já o suporte para do telhado é composto por garrafa PET. Brandi (2021) explica que apesar dos métodos já conhecidos e detectados na literatura, atualmente existem outras formas para essa configuração de telhado verde convencional. Logo, a etapa para a montagem desses telhados consiste na escolha de material, vegetação e formulações de substrato do sistema.

4.2.1 Composição do telhado verde ecológico

O telhado verde ecológico foi desenvolvido com base no uso de materiais reciclados, gerados em grande volume e com baixo custo de obtenção, que também fossem aplicáveis ao estudo. A escolha desses elementos considerou, principalmente, o acúmulo de resíduos depositados no meio ambiente, com o objetivo de preservar o ecossistema e promover a manutenção dos recursos naturais para as próximas gerações por meio da prática da reciclagem.

O bagaço de cana-de-açúcar, a fibra de coco verde e o resíduo de telha cerâmica foram aplicados para a composição de diferentes substratos. No telhado de referência, que compõe o Arranjo 01- (referência), foi utilizado apenas o solo comercial, sem nenhuma outra mistura. Este elemento foi comum aos outros três substratos, nos quais foram incorporados os materiais mencionados anteriormente. A adição desses elementos, com diferentes características, teve como finalidade criar um substrato com maior retenção de umidade, considerando a escassez hídrica enfrentada pela região de estudo. Para avaliar o impacto desses materiais, realizou-se a caracterização da qualidade da água percolada pelo sistema após suas adições ao solo comercial, verificando a possibilidade de reuso da água percolada de acordo com as normativas.

Este telhado verde ecológico é classificado como extensivo, possuindo uma profundidade de 7 cm. Os materiais aplicados na camada de substrato foram escolhidos por apresentarem um maior tempo de retenção de água em outros estudos, facilitando assim o tempo de manutenção da planta.

A planta aplicada nos quatro tipos de arranjos analisados neste trabalho é a espécie *Kalanchoe*, mais precisamente *Kalanchoe laetivirens*, conhecida popularmente como Aranto. As características apresentadas pela vegetação do Aranto, como resistência às elevadas temperaturas e aridez, indicam que devem ser regadas moderadamente no verão. Essas características a tornam adequada para ser empregada como cobertura vegetal para telhados verdes ecológicos, especialmente considerando as condições físico-climáticas peculiares do semiárido, principalmente a escassez hídrica (ROCHA, 2020). A vegetação empregada como cobertura vegetal nos arranjos pode ser vista na Figura 5, enquanto as principais características da espécie estão descritas na Tabela 3, sendo escolhida por ser resistente a períodos secos e adaptada à região semiárida.

Figura 5- Vegetação Kalanchoe laetivirens, (Aranto)



Fonte: Autora (2024).

Tabela 3- Características da Kalanchoe Laetivirens
Características da KALANCHOE LAETIVIRENS

Gênero Família Categoria	Origem	Clima	Temperatura ideal	Frequência de irrigação	Ciclo de vida
- Kalanchoe, - Crassulaceae, - Suculenta	África	Árido, Tropical e Subtropical	20°C – 25°C	Uma irrigação semanal nas estações quentes e quinzenal no inverno	Perene

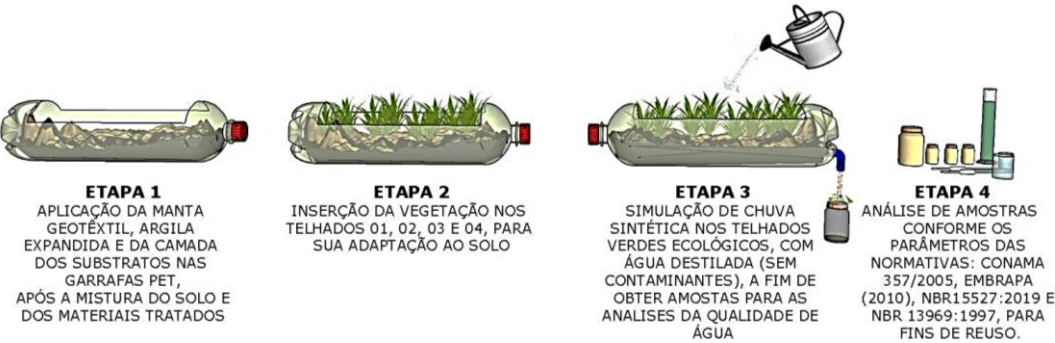
Fonte: Autora, adaptado de Queiroz (2021).

4.2.2 Montagem do sistema e tratamento dos materiais incorporados ao substrato

4.2.2.1 Etapas de montagem do telhado verde ecológico

O projeto do telhado verde ecológico foi estruturado seguindo as etapas apresentadas na Figura 6, considerando que todas as atividades descritas foram executadas para o conjunto de garrafas PET dos arranjos: 01- (arranjo referência), 02, 03 e 04.

Figura 6- Esquema de montagem dos arranjos, simulação de chuva e coleta de água



Fonte: Autora (2024).

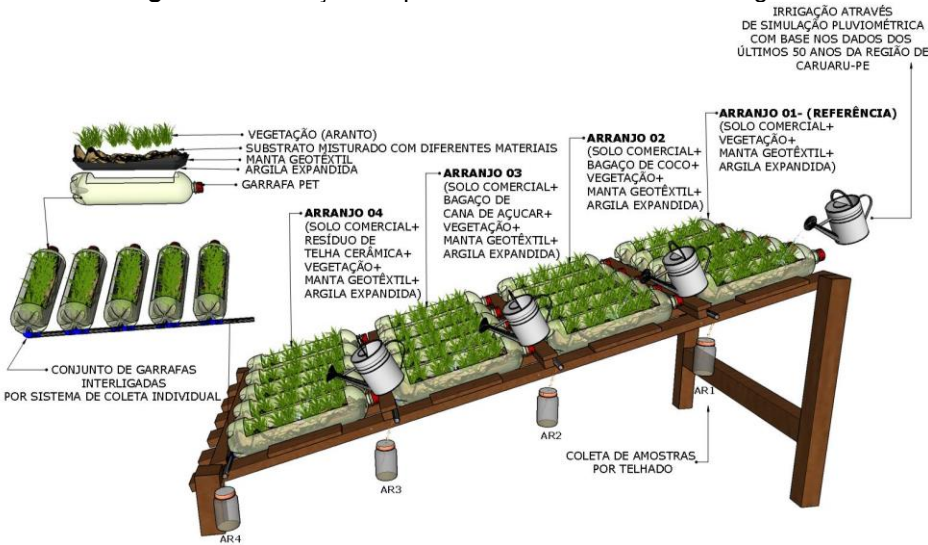
Foram montados quatro arranjos de telhados verdes ecológicos, cada um composto por 5 garrafas PET. Cada grupo de garrafas foi equipado com um tubo de coleta de água individual. As garrafas desempenharam o papel tanto de suporte quanto de camada impermeabilizante. A Tabela 4 apresenta a composição aplicada à estrutura. A Figura 7 ilustra como a irrigação controlada foi realizada durante 1 hora para cada conjunto. Essa prática foi possível graças ao auxílio de um suporte de madeira estruturado, projetado para acomodar 5 garrafas PET, cada uma com capacidade de até 1 litro.

Tabela 4- Características da composição dos Arranjo 01- (referência), Arranjo 02, Arranjo 03 e Arranjo 04

Sistema	Camada drenante	Camada filtrante	Substrato	Vegetação
Arranjo 01- (referência)	Argila expandida	Manta geotêxtil	Solo comercial	Kalanchoe laetivirens
Arranjo 02	Argila expandida	Manta geotêxtil	Solo comercial + bagaço de coco verde	Kalanchoe laetivirens
Arranjo 03	Argila expandida	Manta geotêxtil	Solo comercial + bagaço da cana-de-açúcar	Kalanchoe laetivirens
Arranjo 04	Argila expandida	Manta geotêxtil	Solo comercial + resíduos de telha cerâmica	Kalanchoe laetivirens

Fonte: Autora (2024).

Figura 7- Ilustração esquema do telhado verde ecológico



Fonte: Autora (2024).

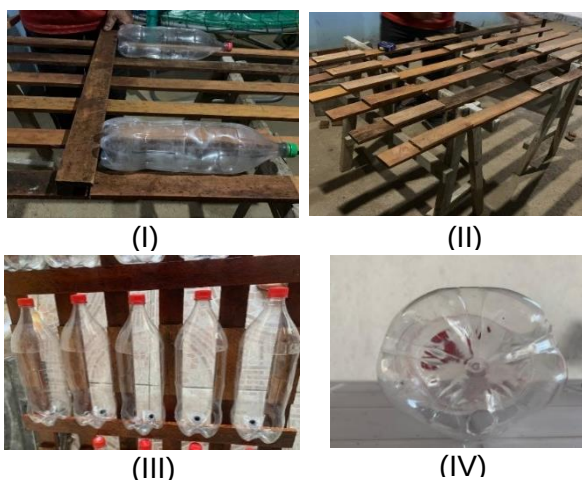
4.2.2.2 Estrutura de madeira do telhado verde ecológico

Na construção do suporte do telhado verde ecológico, foram utilizados pedaços de madeira com o objetivo de criar vias de apoio para cada garrafa. Essas vias

serviram como alojamento para as diferentes camadas de substratos, juntamente com a vegetação, a manta geotêxtil e a argila expandida. A escolha desse tipo de estrutura se deu pela necessidade de controlar possíveis ações, como a interferência de chuvas e animais. Isso foi considerado especialmente porque o suporte seria instalado em uma estufa, e seu tamanho era desproporcional para outros possíveis ambientes que possibilitassem o mesmo nível de controle.

Os passos I e II apresentados na Figura 8 ilustram o suporte de madeira concebido para amarrar as garrafas, com fixação nas laterais e na base do elemento. Foram utilizadas 6 ripas de 6 cm x 160 cm cada, distribuídas ao longo do trecho de maior dimensão do telhado. Além disso, foram empregados 4 caibros, cada um medindo 67 cm, para travamento no sentido menor das ripas. Sobre as ripas, foi aplicada uma ripa adicional com as mesmas dimensões (apoio de fundo), conforme ilustrado no item I da Figura 10. Esse apoio de fundo tem o propósito de suportar o peso da garrafa quando todas as camadas previstas para o sistema estão preenchidas. Os apoios laterais de cada garrafa foram posicionados de forma a elevá-la, permitindo que a conexão responsável por receber a água do telhado se encaixasse no espaço entre o caibro e a ripa. Cada apoio lateral tem cerca de 17 cm, e foram utilizados 6 pedaços de apoio em cada fileira de arranjos, totalizando 24 peças. A fixação da base de fundo foi realizada com o auxílio de 48 pregos de ripar ($\varnothing 2,4 \times 35$ mm), enquanto os suportes laterais das garrafas PET foram unidos com 48 pregos de ripar menores ($\varnothing 2,0 \times 30$ mm).

Figura 8- Etapas para a construção da estrutura de suporte do telhado verde ecológico



(I) Suporte de fundo para a garrafa PET, (II) Suporte lateral para garrafa PET, (III) Recorte e disposição de arranjo de garrafas PET para arranjo vegetativo e (IV) Furo para encaixe de conexão.

Fonte: Autora (2024).

A garrafa PET incolor e transparente de 2 litros foi escolhida como suporte para as camadas dos arranjos. Optou-se pelo mesmo modelo de garrafa para todos os sistemas, definindo um conjunto de 5 garrafas por sistema para garantir uma área de análise satisfatória. Foi realizada uma abertura de 9 cm x 18 cm em todos os recipientes, conforme mostrado no item III da Figura 9. Também foi feito um furo com o auxílio de uma furadeira para permitir o encaixe das conexões, conforme apresentado no item IV desta mesma figura, com o objetivo de facilitar a coleta da água escoada.

A estrutura foi calculada com uma inclinação e fixada pelo madeiramento, simulando um telhado com caimento de $i = 30\%$, similar ao necessário para uma telha colonial. Para garantir a inclinação desejada, foram utilizados dois pedaços de ripa com 63 cm de dimensão, instalados para dar altura ao suporte, e uma terceira peça para a estabilização entre essas duas ripas, medindo 67 cm. Adicionalmente, foi instalado um apoio na madeira em cada lateral da base da última ripa da estrutura, com o objetivo de facilitar a coleta de água e evitar o contato direto com o piso. Esse elemento teve 10 cm de altura. Em toda a estrutura, foram utilizados 10 parafusos no total.

Foram utilizadas as seguintes conexões no sistema de captação da água escoada: 8 curvas de 1/2", 16 conexões tipo T de 1/2" e 20 bicos de torneira de jardim. Elas foram fixadas com cola de silicone no fundo da garrafa, garantindo a vedação para evitar vazamentos. Algumas das curvas foram fixadas como conexão na ponta final da mangueira, enquanto as demais conexões foram instaladas na junção entre o furo da garrafa e a mangueira. Na união desses elementos, foi aplicada fita veda rosca. Para assegurar a ausência de vazamentos, foram realizados vários testes preenchendo cada garrafa com água, observando qualquer sinal de vazamento.

Ao redor da estrutura do telhado, foi aplicada uma tela com o propósito de proteger o protótipo contra possíveis danos causados por animais e interferência de matéria orgânica. Para a configuração desse sistema de proteção, foram utilizadas 8 ripas, sendo 4 delas com comprimento de 200 cm (dispostas ao longo da estrutura) e as outras 4 ripas com 100 cm (dispostas na largura da estrutura). Foram instalados também 4 caibros para atingir a altura necessária entre o piso e a parte superior do telhado ecológico, com uma folga de 33 cm. Desse total, 20 cm eram entre o piso e o telhado, e os outros 13 cm eram entre o telhado e a tela. Para reforço, foi adicionada uma ripa em cada lado, com aproximadamente 80 cm, para contraventamento.

A estrutura de suporte foi inicialmente colocada em uma área ao ar livre do CAMPUS Agreste da UFPE, sobre uma estrutura de madeira, conforme ilustrado na Figura 9.

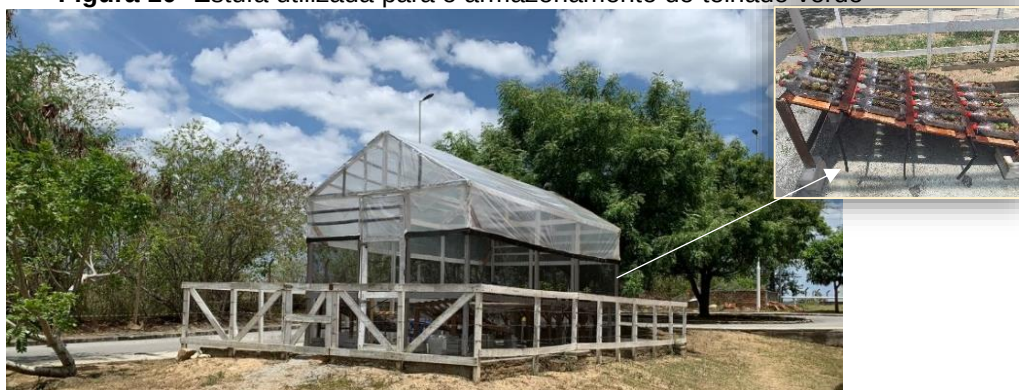
Figura 9- Telhado verde ecológico com tela de proteção contra interferência do meio externo



Fonte: Autora (2024).

Nas coletas quinzenais e mensais, o protótipo foi posicionado dentro da estufa, conforme representado na Figura 10. Essa disposição foi escolhida para evitar interferências causadas por precipitações.

Figura 10- Estufa utilizada para o armazenamento do telhado verde



Fonte: Autora (2024).

4.2.2.3 Processos para montagem do substrato

Os processos relacionados ao tratamento dos materiais aplicados ao Arranjo 03 (caqueira de telha cerâmica), juntamente com os do Arranjo 02 (bagaço de coco verde) e 04 (bagaço de cana-de-açúcar), foram conduzidos no laboratório de solos da UFPE no Campus Agreste. Por outro lado, as análises dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água e do solo foram realizadas no laboratório de química da mesma universidade. O protótipo foi instalado na estufa desse Campus.

O substrato foi inserido na garrafa até atingir um nível específico, aproximadamente 1 cm abaixo da borda final. O preenchimento total não foi realizado para evitar o transbordamento de água e a possível perda de material pela parte superior do sistema durante a irrigação. Essa camada foi colocada sobre a camada de drenagem, composta por cerca de 171 g de argila expandida, e também sobre a camada de filtragem correspondente à manta geotêxtil, com dimensões de 24 cm x 19 cm e peso de aproximadamente 2 g. Essas camadas foram dispostas de forma sucessiva em todos os arranjos, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11- Camadas antecedentes ao substrato

I- Camada de drenagem:
argila expandida



II- Camada de filtragem:
manta geotêxtil



Fonte: Autora (2024).

O solo comercial foi misturado com os materiais reciclados somente após receberem seus devidos tratamentos. A metodologia utilizada para cada tratamento dos materiais está descrita abaixo:

➤ Tratamento Arranjo 01- (referência)

O Arranjo 01 consiste em um telhado de referência, composto apenas por solo comercial adquirido em loja de jardinagem, sem receber nenhum tratamento prévio (Figura 12). Foram aplicados em cada garrafa do Arranjo 01- (referência), 1.230 g de

solo, preenchendo-as de maneira que restasse 1 cm antes da borda final do recipiente. Isso permitiu que o volume da água escoasse pela área de incidência, sem perdas por transbordamento.

Figura 12- Solo comercial, utilizado para o preparo de todos os substratos dos arranjos



Fonte: Autora (2024).

➤ Tratamento Arranjo 02

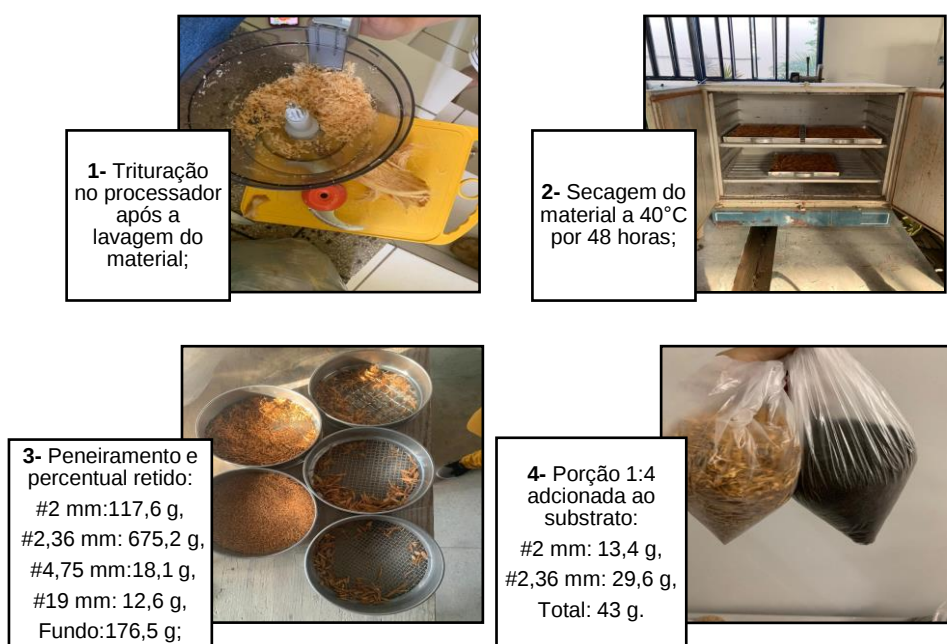
No caso do Arranjo 02, o componente de mistura é orgânico, o coco-turfa, e recebeu tratamento conforme estudado por Oliveira (2012).

- O processo de tratamento da fibra de coco, conforme o estudo de Oliveira (2012), envolve o uso de fibras de coco-verde. O procedimento segue as diretrizes da Embrapa Solos (1997) e inclui as seguintes etapas:
 - i. Lavagem: As cascas de coco devem ser lavadas com água abundante a fim de retirar as impurezas presentes no material;
 - ii. Corte: as cascas são cortadas manualmente com o auxílio de um machadinho, em pedaços com dimensões que possibilitem a trituração do material sem nenhum impedimento;
 - iii. Trituração: a trituração é feita em um triturador forrageiro;
 - iv. Secagem: as cascas passam pela secagem em estufa a 40°C, para a total remoção da umidade elas serão espalhadas na bandeja e entrarão nesse processo por cerca de 48 horas;
 - v. Peneiramento: após a secagem, as fibras devem ser passadas nas peneiras de 19 mm, 6,65 mm, 3,35 mm e 2 mm;
 - vi. Armazenamento: deve ser feita a separação das porções de diferentes tamanhos em sacos plásticos de acordo com sua espessura, (>19 mm, 19 mm, 6,65 mm, 3,35 mm e 2 mm);

- vii. Observação: o material só deve ser misturado após ser feito todas as etapas, sendo priorizado o material de menor proporção para a mistura com o solo, formulando a camada de substrato.

Na Figura 13, observa-se as etapas de tratamento aplicadas ao bagaço de coco verde. Vale destacar que houve algumas modificações na numeração das peneiras utilizadas neste estudo devido à disponibilidade do laboratório. No entanto, o material utilizado para compor o substrato seguiu a prioridade de menor tamanho de partículas, utilizando-se assim as peneiras de 2 mm e 2,36 mm. Neste caso, foi adicionada a proporção de 1:4. Dessa forma, a proporção adicionada ao solo comercial teve um volume correspondente de 307,5 g desse solo. Para este arranjo, foram utilizados 922,5 g de solo comercial e 43 g de bagaço de coco verde. Dessa quantidade, 13,4 g correspondem à peneira de #2 mm, e o restante provém da peneira de #2,36 mm.

Figura 13- Processo de preparação do bagaço de coco verde para uso no substrato do Arranjo 02



Fonte: Autora (2024).

➤ Tratamento Arranjo 03

O Arranjo 03, composto pelo bagaço de cana-de-açúcar, recebeu tratamento de acordo com a mesma metodologia do estudo de Scarassatti, Benatti e Moraes (2021).

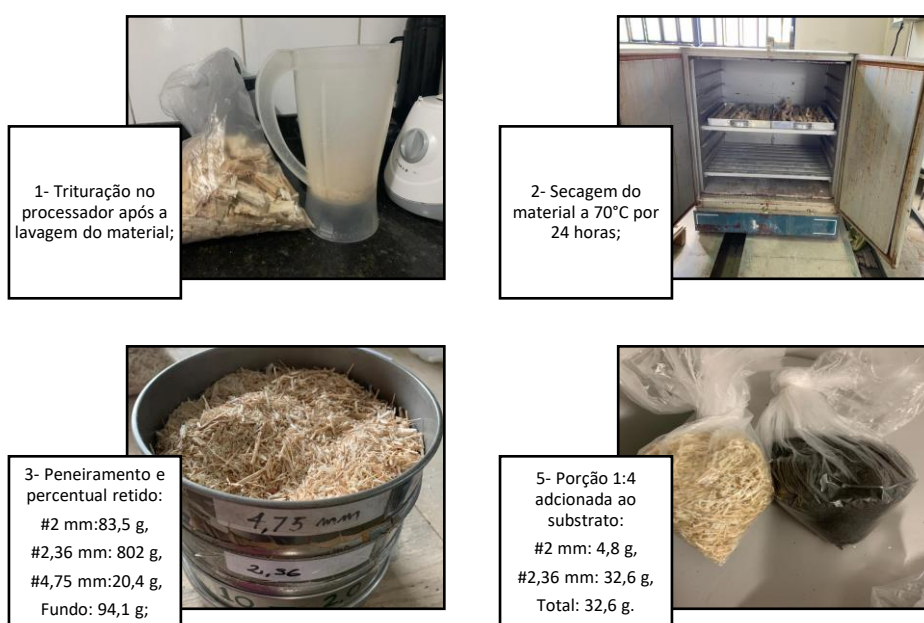
- No Arranjo 03, composto pelo bagaço de cana-de-açúcar, o tratamento seguiu a metodologia do estudo de Scarassatti, Benatti, Moraes (2021).

As etapas desse tratamento são as seguintes:

- i. Lavagem: o material foi lavado com água abundantemente;
- ii. Secagem: o resíduo foi seco à uma temperatura de 70 °C;
- iii. Trituração: após a secagem, o bagaço passou pelo um triturador forrageiro;
- iv. Peneiramento: o material passou também por um conjunto de peneiras selecionando-se partículas de 0,25 – 2 mm;
- v. Após todas essas etapas o material ele foi adicionado ao solo para incorporar a camada de substrato.

Na Figura 14, tem-se o processo de tratamento realizado com o bagaço de cana-de-açúcar antes da sua mistura com o solo comercial. Assim como no substrato do Arranjo 02, a proporção adicionada para esse substrato foi de 1:4 de material. Logo, em cada garrafa foi colocado 922,5 g de solo comercial mais 32,6 g de bagaço de cana-de-açúcar. Dessas quantidades, 4,8 g correspondem ao material retido na peneira #2,0 mm, e 27,8 g ao material retido na peneira de #2,36 mm. A utilização de partículas ligeiramente maiores do que as mencionadas pelo autor se deu pela tentativa de preencher vazios e aproveitar melhor o material.

Figura 14- Processo de preparação do bagaço de cana-de-açúcar para o uso no substrato do Arranjo 03



Fonte: Autora (2024).

➤ Tratamento Arranjo 04

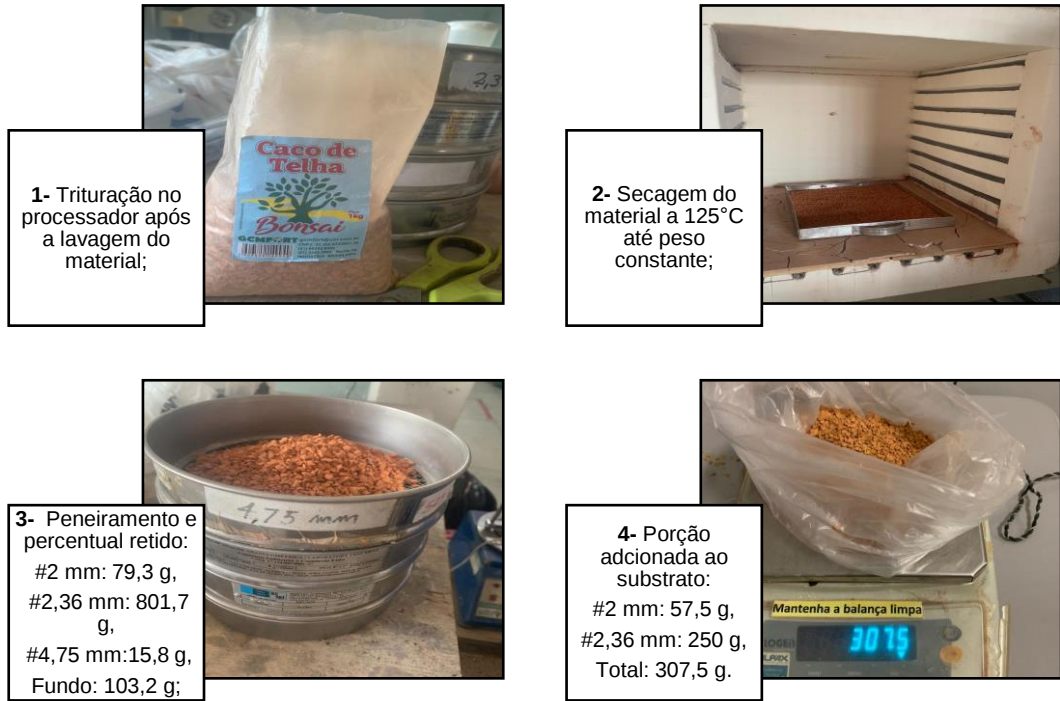
O Arranjo 04 foi composto por resíduos de telha cerâmica, um componente inorgânico, que passou por processamento conforme o sistema aplicado por Delduque (2014).

- Foi adicionado e misturado ao solo comercial o resíduo de telha cerâmica, já o processamento desse elemento agregado foi realizado semelhante ao de Delduque (2014):
 - i. Britagem: ela foi feita com o triturador de solos;
 - ii. Classificação granulométrica: após a britagem, o material passa por um conjunto de peneiras com dimensões diferentes, sendo classificados os finos como grãos de tamanho entre 1,18 mm e 2,36 mm, os médios: grãos de tamanho entre 2,36 mm e 4,74; e Grossos: grãos de tamanho maiores que 4,75 mm;
 - iii. Os grãos maiores e menores que 0,8mm foram descartados, os selecionados foram desumidificados em estufa a 125°C durante 6 horas até peso constante, conforme (DI BERNARDO, 2003 - Adaptação).
 - iv. Após isso o material foi peneirado em um conjunto de malhas postas no vibrador de peneiras, durante 30 minutos, com vibração máxima de velocidade 10, com a finalidade de obter a cerâmica vermelha classificada.
 - v. Depois o material foi misturado ao solo.

Para o aprimoramento do substrato no Arranjo 04, optou-se pela aquisição do material de telha cerâmica já triturado, pois suas dimensões facilitaram o processo. Esse material é comercializado no Brasil como um substituto da Akadama, de acordo com Rodrigues Filho *et al.* (2018), destacando sua capacidade de absorver água e evitar a compactação do solo. Na escolha desse substrato, considerou-se o volume retido nas peneiras de menor numeração, #2 mm e #2,36 mm. O maior volume para 1 kg desse material ficou retido na última peneira, motivando a sua utilização, tanto pelo custo quanto pelo aproveitamento. Para a composição desse substrato, foram necessários 3 sacos de 1 kg cada, até atingir a mistura desejada. O substrato final foi formado por 922,5 g de solo comercial e 307,5 g de caqueira de telha. Na Figura 15

tem-se todo o processo aplicado ao caco de telha já triturado, e as misturas dos arranjos 02 e 03 levaram em consideração o volume deste material.

Figura 15- Processo de preparação da caqueira de telha para uso no substrato do Arranjo 04



Fonte: Autora (2024).

Na Figura 16 observa-se o substrato com os materiais inseridos após a realização de todas as etapas de tratamento.

Figura 16- Substratos finalizados
 I- Substratos II- Arranjos com substratos



Fonte: Autora (2024).

O item I da Figura 16, apresenta como ficou a mistura com a incorporação dos materiais no solo comercial, já no item II desta figura é demonstrado a disposição dos substratos nos arranjos de garrafas para cada sistema individual. Na Figura 17, é representado o modelo real do telhado verde elaborado após todas as etapas descritas.

Figura 17- Esquematização real do telhado verde ecológico



Fonte: Autora (2024).

4.2.3 Custo médio do telhado elaborado

O custo da estrutura foi subdividido de duas formas, em uma parte que comportou todas as camadas do sistema e em outra, na qual foi adicionado os materiais no substrato, isso foi realizado prevendo uma melhor aplicação dessa montagem do telhado verde ecológico sobre outras formas de apoio. O valor do material gasto na montagem da estrutura de madeira adquirido em loja de material de construção e elaborada para receber as camadas de substrato, drenagem e filtragem estão demonstrados no Quadro 3. Os valores dos materiais utilizados na camada dos substratos podem ser vistos no Quadro 4, eles foram comprados em loja de jardinagem, já o bagaço de cana-de-açúcar e o bagaço de coco verde foram adquiridos em uma lanchonete do centro de Caruaru-PE, sem custos adicionais.

O valor total gasto para essa montagem, considerando a estrutura de madeira e os materiais utilizados no substrato, foi de R\$ 438,72 reais para 1,072 m². Essa dimensão corresponde à área do telhado ecológico construído, resultando em um custo final de R\$ 409,25 reais por m². Em comparação com o custo de implantação

de um telhado verde convencional, como estudado por Gonçalves (2021), cujo valor foi de R\$ 620,79 reais por m², é possível afirmar que este telhado teve um valor de implantação inferior ao sistema convencional, representando uma economia de aproximadamente R\$ 211,54 reais. Essa economia pode ter ocorrido devido à aplicação da garrafa PET no sistema. Rocha (2020) conseguiu uma montagem ainda mais econômica, aplicando a vegetação Aranto e apenas um substrato comercial junto à casca de pinus, resultando em um custo de R\$ 18,98 reais por m².

Quadro 3- Valor dos materiais gastos na elaboração do suporte de madeira

Material da Estrutura	Quantidade	UN	Custo unitário	Custo por m ²	Custo total do telhado
Ripa	15,61	m	2,00	29,12	31,22
Caibro	2,88	m	5,00	13,43	14,40
Pregos de ripar (Ø 2.4 mm X 35 mm)	48	un	0,08	3,58	3,84
Pregos de ripar (Ø 2 mm X 30 mm)	48	un	0,05	2,24	2,40
Parafuso Madeira Chipboard Cabeça Chata Phillips 4 mm x 30 mm	10	un	0,15	1,40	1,50
Cola de silicone	2	un	8,59	16,03	17,18
Curvas de 1/2"	8	un	2,35	17,54	18,80
Conexões T de 1/2"	16	un	2,50	37,31	40,00
Bicos de torneira de jardim	20	un	1,99	37,13	39,80
Mangueira de jardim	3,2	m	0,83	2,48	2,66
Garrafas	20	un	-	0,00	0,00
Verniz	900	ml	45,00	10,29	11,03
			Valor final	170,54	182,82

Fonte: Autora (2024).

Quadro 4- Valor dos materiais gastos na elaboração das camadas dispostas nos arranjos

Material do substrato	Quantidade	UN	Custo unitário	Custo por m ²	Custo total do telhado
Solo comercial	25	kg	5,00	116,60	125,00
Argila expandida	5	kg	9,38	43,75	46,90
Manta geotêxtil	2	m ²	4,50	8,40	9,00
Caco de telha	3	kg	15,00	41,98	45,00
Vegetação	60	un	0,50	27,98	30,00
			Valor final	238,71	255,90

Fonte: Autora (2024).

Em uma aplicação real para reduzir os custos com o suporte de madeira, as garrafas poderiam ser dispostas sobre a laje ou um telhado coberto com telha Brasilit, o que permitiria o apoio das garrafas, necessitando também de um sistema de coleta para todas as garrafas. O custo desse telhado foi elevado devido à compra da caqueira de telha, um material já aplicado em substratos. Esse custo poderia ser reduzido pela substituição desse material comercial por resíduos triturados e reciclados da construção civil. Além disso, o solo comercial aplicado foi um solo já peneirado previamente, o que contribuiu para um custo mais elevado.

Além disso, o peso próprio da estrutura de madeira ficou em torno de 5,325 kg/m³, considerando a madeira utilizada, Angelim com 12% de umidade, pesando aproximadamente 720 kg/m³. A junção entre o sistema que comporta todas as camadas desse telhado (garrafas, mangueira, conexões e camadas adicionadas) ficou em torno de 5,853 kg/m².

Com relação a uma área de 1 m² para cada arranjo, com a mesma situação de montagem de camadas e desconsiderando o peso da estrutura de madeira, pode-se dizer que do ponto de vista da engenharia civil, a menor carga atribuída à estrutura seria com a montagem de acordo com o Arranjo 03, cujo substrato foi incorporado o bagaço de cana-de-açúcar, tornando-o mais leve. Para esta área, o telhado pesaria cerca de 23,16 Kg/m², levando em consideração os seguintes pesos: peso do solo, bagaço de cana-de-açúcar, peso da argila expandida, peso da garrafa PET, peso da manta e das conexões. Dessa maneira, pode-se dizer que ele também seria economicamente mais viável do ponto de vista estrutural.

O valor considerado para instalação e manutenção dessas coberturas ecológicas pode ser entendido como uma relação custo-benefício, onde o gasto financeiro inicial (custo) será reembolsado com a diminuição no valor de contas de energia (benefício) (Lima, 2013).

Araújo, Sousa e Peres (2017) no seu experimento com telhados verdes, os módulos de PET em comparação com telhados verdes convencionais, apresentou uma redução de custo entre 77,4% e 86,7% quando comparado ao sistema de telhado verde convencional (Hexaecotelhado), proporcionando ainda uma redução da carga sobre a edificação de 43% à 62%. Dessa maneira, é possível constatar que para essa aplicação de PET tem um custo menor com relação ao telhado convencional e o sistema de telhado verde, já na pesquisa de Gonçalves *et al.* (2021), o custo por m²

para o sistema que utilizou a garrafa PET continuou sendo menor que o telhado verde convencional, mas superior ao telhado convencional.

4.2.4 Simulação de chuva

Para a irrigação do sistema, aplicou-se água destilada como forma de controle a fim de resultados mais precisos acerca das análises feitas em bancada após o recolhimento das amostras de cada arranjo. Para essa água foram verificados os parâmetros: pH, condutividade, turbidez e cor verdadeira e aparente.

Os dados pluviométricos foram obtidos a partir de uma seleção de dados sobre os índices pluviométricos da cidade de Caruaru-PE, durante 50 anos, entre 01/01/1972 a 31/12/2021, através do monitoramento pluviométrico da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), da Estação 24, localizada no IPA. Foram selecionados 12 dados anuais para cada ano, durante 31/30 dias de todos os meses do ano, obtendo assim o volume de dados diários, o que correspondendo ao índice pluviométrico de cada mês. Para Silva (2017 p. 63), esta Estação 24 possui vários sensores, como por exemplo um pluviômetro de báscula. Ele expõe ainda que, os dados fornecidos por esse equipamento não passaram por nenhum tipo de tratamento. Com esses dados ainda, foi determinado a equação IDF (intensidade, duração e frequência), para esta localidade Mousinho *et al.* (2024), determinou chuva média máxima de 42,82 mm.

A irrigação no sistema, foi realizada por meio da simulação do evento de chuva, a qual foi aplicada de acordo com o cálculo do volume de água estimado pela a chuva dos últimos 50 anos para Caruaru conforme a pesquisa de Mousinho *et al.*, (2023), a Equação 1 foi utilizada para calcular o volume de água para evento de 1 hora, em que o período de retorno utilizado foi de 15 anos, o resultado dessa aplicação está na Equação 2.

$$i = \frac{505,941 \times T^{0,2502}}{(t+10)^{0,7407}} \quad (1)$$

$$i = \frac{505,941 \times 15^{0,2502}}{(60+10)^{0,7404}} = 42,825 \text{ mm/h} \quad (2)$$

Foi considerando a área do recorte (9 cm X18 cm) feita na garrafa para a plantação das mudas de arauto. O volume a ser irrigado, foi obtido através da aplicação da Equação 03, resultando em 900 mL de água para cada garrafa dos

arranjos demonstrado na Equação 4, totalizando um volume de 4,5 litros por arranjo. Para tal resultado considerou-se a área de abertura após a adição do volume de solo dentro desse recipiente, totalizando 0,10 cm de largura, já no caso do comprimento foi de 0,21 cm, pois, foi levado em consideração a área em que há incidência de precipitação durante a irrigação.

$$Volume = A_{(Largura \times Comprimento)} \times C_{(chuva \text{ dos últimos } 50 \text{ anos})} \quad (3)$$

$$Volume = (0,10 \times 0,21) \times 42,825 \therefore Volume \text{ precipitado} = 900 \text{ mL} \quad (4)$$

4.2.5 Análises de qualidade de água

As amostras de água escoada em cada telhado verde ecológico foram analisadas no Laboratório de Química (LQ) e no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) no Campus Agreste da UFPE. O volume de água de entrada no sistema foi controlado para verificar a capacidade de retenção de água da mistura solo comercial e solo comercial + substrato. O volume de entrada foi de 900mL por garrafa, totalizando 4500 mL em cada arranjo.

As amostras das águas escoadas em cada arranjo foram analisadas em triplicata. Foram realizados 5 episódios pluviométricos com precipitação controlada, como mostra o Quadro 5, utilizando água isenta de contaminantes (destilada) em intervalos de +/-15 dias. A água escoada em cada arranjo foi armazenada e analisada após 30 e 90 dias para verificar o efeito da permanência na qualidade da água.

Quadro 5- Quantitativo das simulações de chuva sintética entre os meses de outubro de 2022 a março de 2023

Data	Tipo de coleta e especificações	Arranjo
13/10/2022 à 17/11/2022	Coleta garrafa individual e análise das amostras	Todos os arranjos
29/11/2022	1ª Coleta quinzenal e análise das amostras	Todos os arranjos
12/12/2022	2ª Coleta quinzenal e análise das amostras	Todos os arranjos
28/12/2022	3ª Coleta quinzenal e análise das amostras e 1ª análise da amostra armazenada- por 30 dias	Todos os arranjos
14/02/2023	4ª Coleta quinzenal e análise das amostras	Todos os arranjos
03/03/2023	5ª Coleta quinzenal e análise das amostras e 2ª análise da amostra armazenada- por 90 dias	Todos os arranjos

Fonte: Autora (2024).

De forma inicial, antes das análises quinzenais e mensais, com o intuito de caracterizar melhor as informações presentes em cada formulação das camadas aplicadas nos arranjos e averiguar a similaridade entre elas, foram realizadas simulações de chuva em três garrafas de cada conjunto, ou seja, nos arranjos 01, 02, 03 e 04, de maneira individual, verificando a homogeneidade do material previsto para cada esquema. Os parâmetros de qualidade de água analisados nessa coleta inicial para os três recipientes de cada arranjo foram: pH, turbidez, fosfato e sólidos totais. Vale destacar que, nessa etapa, a estrutura ficou localizada na lateral do bloco do laboratório de química, e a coleta individual foi reproduzida durante 15 dias entre os meses de outubro e novembro de 2022. Esse espaço de tempo foi necessário devido à irrigação de uma hora em cada garrafa, pois no sistema só existia uma única tubulação em cada arranjo. A análise da amostra era feita após cada coleta. Foram irrigados 900 ml por meio de gotejamento, durante 1 hora, aguardando-se cerca de 20 minutos após a finalização do escoamento da garrafa 01 para que fossem posteriormente realizadas as irrigações da garrafa 2 e, por seguinte, da garrafa 3.

Foram realizadas posteriormente 5 coletas quinzenais durante esta pesquisa. O volume era recolhido e levado imediatamente para análise em bancada. Armazenou-se ainda a água da coleta 1 (29/11/2022) em temperatura ambiente dentro de uma garrafa de 5 L, colocada embaixo do próprio telhado para que absorvesse as condições reais climáticas do ambiente. No entanto, a tampa da garrafa ficou vedada. Com ela, foram realizadas análises após 30 e 90 dias, a fim de averiguar a qualidade da mesma após esses períodos de armazenamento. Comparando os valores obtidos com os limites estabelecidos pelas normativas do Conama 357/2005, EMBRAPA (2010), NBR15527/2019 e NBR 13.969/1997.

A qualidade da água foi avaliada a partir dos parâmetros: cor, sólidos dissolvidos totais, turbidez, nitrogênio-amoniaco, nitrogênio-nitrato, fósforo-fosfato, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, sulfato, carbonato, bicarbonato, boro, condutividade elétrica, pH e razão de adsorção de sódio. Estes parâmetros foram determinados conforme a metodologia STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (APHA, 2018).

Foram utilizados kits de reagentes da Alkakit® para a determinação dos parâmetros fósforo-fosfato, nitrogênio-amoniaco, nitrogênio-nitrato, nitrito, ferro e sulfato. Foi utilizado condutivímetro Jenway 4510 Conductivity Meter para as medidas de Condutividade elétrica e pHmetro digital PG1800 para medidas de pH. As leituras

de cor verdadeira e aparente foram realizadas no colorímetro SMART3colorimeter e as medidas de turbidez no turbidímetro AP2000. As determinações de dureza total cálcio, alcalinidade e cloretos foram realizadas através de titulação. Os parâmetros investigados em cada coleta e respectivo método de determinação podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5- Metodologia dos parâmetros físico-químicos realizados para análise de qualidade da água escoada nos telhados verdes

Parâmetro	Equipamento/Método	Coleta garrafa individual	Coleta quinzenal	Amostra 30 dias e 90 dias
pH	Sonda multiparâmetro	X	X	X
Turbidez	Turbidímetro	X	X	X
Cor aparente	Espectrofotometria	-	X	X
Cor verdadeira	Espectrofotometria	-	X	X
Condutividade	Sonda multiparâmetro	-	X	X
Amônia	Nessler	-	X	X
Fósforo	Vanadomolibdico	-	X	X
Nitrato	Espectrofotometria	-	X	X
Nitrito	Espectrofotometria	-	X	-
Fosfato	Vanadomolibdico	X	X	X
Ferro Total	Espectrofotometria	-	X	X
Sulfato	Sal de bário	-	X	X
Sólidos Dissolvidos	Gravimetria	X	X	X
Totais				
Dureza Total	Titulometria	-	X	X
Cálcio	Titulometria	-	X	X
Cloreto	Titulação com nitrato de prata	-	X	X
Alcalinidade	Titulometria	-	X	X

Fonte: Autora (2024).

4.3 Análise estatística

Para analisar os dados dos parâmetros de qualidade de água escoada pelos telhados, foi empregado tratamento estatístico ANOVA nas coletas quinzenais, a fim de averiguar se há diferenças entre os resultados para cada tipo de arranjo. Foram realizadas combinações entre os parâmetros de qualidade e para todo o conjunto considerando um nível de significância de 5% entre as médias para afirmar se os dados são semelhantes ou se há diferença significativa entre eles. A análise da variância (ANOVA) é um modelo estatístico combinado, que está associado a procedimentos estimados utilizados para analisar as diferenças entre os meios de grupo em uma amostra (Hossain *et al.*, 2019). Esse teste recebe o nome de fator

único, no qual analisa dados de duas amostras ou mais. A característica que diferencia os tratamentos ou populações entre si é chamada fator em estudo, e os tratamentos ou populações diferentes são chamados, níveis de fator (Devore, 2006). O fator único implica na análise qualitativa dos dados, em que é feito o teste F de Fisher-Snedecor, procurando identificar qual a possibilidade nula de que as médias amostrais ou de tratamento são idênticas. Em que o H_0 é a hipótese nula e H_a é a hipótese alternativa, a hipótese nula só pode ser rejeitada quando uma das médias é divergente, isso pode ser verificado por meio da análise das médias dos grupos. O resultado da ANOVA aplicada nas amostras das coletas quinzenais estão em tabela no Apêndice G.

Aplicou-se a estatística descritiva, identificando os maiores e os menores valores além da média a partir dos dados obtidos para os parâmetros físico-químicos da qualidade de água das coletas mensais e individuais.

4.4 Caracterização do solo comercial

4.4.1 pH do solo

A análise do pH do solo foi realizada conforme a metodologia descrita no manual de métodos de análise de solo da Embrapa (2017), em que, pegou-se um bastão de vidro com função de diluir a adição entre os 10 g de solo e os 25 mL de água destilada colocada dentro do copo de plástico volumétrico, a mistura foi agitada durante 60 segundos após esse tempo, realizou-se a leitura do pH através do potenciômetro.

4.4.2 Composição química do solo comercial

A composição química do solo comercial foi determinada por a análise fluorescência de raio-X (FRX), umidade e perda ao fogo. Para realizar a análise de FRX foi utilizado um espectrômetro Primini da marca RIGAKU. As amostras foram analisadas na forma de pó prensado.

A perda ao fogo foi realizada conforme a (NM 18, 2012), na mufla 1800 3P da EDG a 950° C. Neste método, a massa é pesada em balanças analíticas antes e depois do tratamento térmico. Os resultados dessa análise permitiram identificar a quantidade de matéria orgânica presente no solo comercial. Por meio da Equação 5,

obteve-se a quantidade em porcentagem de material orgânico e carbonatos presente no solo.

$$PF(\%) = \left(\frac{m_1 - m_2}{m} \right) \times 100 \quad (5)$$

Onde, m_1 , é a massa do cadinho mais a massa da amostra ensaiada, em gramas, m_2 , é a massa da amostra ensaiada, em gramas e m é a massa da amostra ensaiada, em gramas.

4.4.3 Percentual de umidade (umidade atual)

Para a determinação de umidade atual, aplicou-se a metodologia conforme as instruções da (IN n.º 17, 2007). Nesta norma, o solo é passado na peneira de malha 19 mm (ASTM 3"/4). Foram realizadas análises em triplicata, nas quais 100 g do solo já quarteado são colocados em cadinho, e após pesagem foram aquecidos em estufa a 65°C por 48 horas. Em seguida, verificou-se o peso da massa seca. O percentual de umidade atual é calculado a partir da Equação 6.

$$Umidade\ atual(\% m/m) = \frac{Massa\ úmida(g) - Massa\ seca(g)}{Massa\ Úmida} \times 100 \quad (6)$$

4.4.4 Densidade volumétrica

A densidade volumétrica do solo comercial "in natura" foi determinada conforme as instruções da IN n.º 31 de outubro de 2008. Neste método, é realizada a autocompactação da amostra preenchendo uma proveta de 500 ml até a marca de 300 mL. A proveta contendo o solo é solta a uma altura de 10 cm, por 10 vezes consecutivas. Após as quedas, nivelou-se o solo com uma espátula e registrou-se a marca em (mL). Em seguida, pesou-se as amostras. Esse ensaio foi realizado em triplicata para uma melhor precisão de resultados. Vale salientar que, para a obtenção dessas amostras quarteou-se um volume de 1 kg do solo comercial e passando-o na peneira de malha 19 mm (ASTM 3"/4) para averiguar se a metodologia era aplicável. O valor da densidade úmida e da densidade seca foi estimado pelas as Equações 7 e 8.

$$D_{úmida} = \frac{massa\ úmida(g)}{volume(mL)} \times 1000 \quad (7)$$

$$D_{seca} = D_{úmida} \times \left[\frac{100 - \text{umidade atual}(\%)}{100} \right] \quad (8)$$

4.4.5 Densidade aparente seca

A densidade aparente seca foi determinada conforme a metodologia realizada por Bruno *et al.* (2019). Neste método, é usada uma amostra de solo já seco em estufa por 24 horas a 105 °C, de forma que a não haver que o tornasse denso. O solo foi colocado em um recipiente de tronco de cone, por questões de disponibilidade de material. O valor de densidade aparente seca solta é calculado através da Equação 9.

$$D_{aparente\ seca} = \frac{M_1}{V_1} \quad (9)$$

Onde, M1 é a massa sólida (em gramas) para preencher todo o molde e V1, é o volume (em mL) interno do molde.

4.4.6 Densidade de partículas

A densidade real ou de partícula expressa a relação entre a massa de material seco e o volume real ocupado por essas partículas, não incluindo o espaço ocupado pelos poros, (Zorzeto, 2011). Para este cálculo, utilizou-se da metodologia descrita no manual da Embrapa (2017). Um picnômetro de 100 mL (Pm) foi pesado, depois foi preenchido com 10g de substrato (seco a 103 ± 2°C durante 24 h), pesando-se novamente o conjunto. Em seguida, foi adicionado água destilada, cobrindo a amostra e agitando o volume do picnômetro de forma que houvesse o desprendimento das partículas de substrato que estavam nas paredes e eliminando as partículas. Aplicou-se o vácuo por cerca de meia hora e deixou-se em repouso por meia hora. Em seguida, completou-se o volume do picnômetro com água destilada. Pesou-se novamente o conjunto e verificou-se a temperatura do líquido no picnômetro. Os dados obtidos são colocados na Equação 10.

$$D_p = \frac{d_a \times (m_{p+s} - m_p)}{[(m_{p+s} - m_p) - (m_{p+s+a} - m_{p+a})]} \quad (10)$$

Onde Dp – densidade de partículas para a amostra, em kg dm⁻³, da – densidade da água corrigida para a temperatura no momento da análise, em kg dm⁻³, neste caso

a temperatura foi de (20°C). D_p = densidade real ou de partícula (g mL^{-1}), m_{p+s} – massa do conjunto picnômetro + amostra de solo seca (TFSE), em gramas, m_p – massa do picnômetro limpo e seco, em gramas, m_{p+a} – massa do conjunto picnômetro + água deionizada e desaerada, em gramas. m_{p+s+a} – massa do conjunto picnômetro + amostra seca (TFSE) + água deionizada e desaerada, em gramas.

4.4.7 Porosidade

A porosidade total do solo comercial foi obtida de acordo com a Norma Européia EN 13041 de 1999 (CEN, 1999), que estabelece esse valor a partir dos valores da densidade real ou de partícula e da densidade aparente seca, conforme a Equação 11.

$$P_s = \frac{(1 - D_{\text{aparente seca}})}{D_{\text{partícula}}} \times 100 \quad (11)$$

Em que, P_s = Porosidade do substrato (%), $D_{\text{aparente seca}}$ = densidade aparente seca e $D_{\text{partícula}}$ = densidade de partícula.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise do solo

5.1.1 pH do solo

O procedimento para medida do pH do solo foi realizado para 3 garrafas de cada arranjo, sendo estas a primeira garrafa, a do centro e a última de cada fileira. Para uma maior precisão, o ensaio foi realizado em forma de triplicata para cada conjunto, resultando nos valores de pH expostos na Tabela 6.

Tabela 6- Valores de pH das amostras recolhidas em cada sistema individual de arranjo

Material das garrafas	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04
Garrafa 01	6,85	7,54	7,55	7,23
Garrafa 02	6,73	7,58	7,56	7,14
Garrafa 03	6,88	7,6	7,46	7,18
Média	6,82	7,57	7,52	7,18

Fonte: Autora (2024).

É válido salientar que esses valores de pH foram medidos após a realização de todas as análises de qualidade da água, ou seja, os diferentes materiais já haviam sido incorporados ao solo comercial e passaram por todas as simulações de chuva com a água destilada. O valor do pH médio encontrado para o solo comercial no início quando nenhuma mistura havia sido feita, foi de 7,01, caracterizando-o como alcalino, Fonseca e Barbosa (2014) mencionam que esse tipo de solo é característico em sua maioria de regiões áridas e semiáridas, esse valor encontrado atribui uma diminuição na disponibilidade dos micronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas como o Zn (zinco), Cu (cobre), Fe (ferro) e Mn (manganês); conforme Prezotti e Guarçoni (2013).

O potencial de hidrogênio (pH) é a propriedade química mais relevante, uma vez que interfere diretamente na disponibilidade de nutrientes no meio de cultura (GM), especialmente micronutrientes (Savvas; Gruda, 2018). Por essas razões, o pH do solo considerado adequado para o crescimento e desenvolvimento das plantas situa-se entre 6,0 e 6,5, (Prezotti; Guarçoni, 2013), além desses autores Cavins *et al.* (2000), também indica que são recomendados valores entre 5,0 e 6,5. Porém, segundo Kämpf (2005), os valores considerados ideais de pH em água de substratos, para a maioria das plantas, situam-se na faixa de 5,2 a 5,5. Entretanto, a pesquisa de

Schafer, Souza e Fior (2015), que durou cerca de três anos analisou as propriedades químicas de GM, que são os meios de cultivo ou seja substrato, eles apresentaram dentre os substratos analisados: os comercializados os quais eram aplicados pelo setor privado e os utilizados para o teste da pesquisa, quando comparou-se esses valores com a metodologia dos parâmetros de Cavins *et al.*, (2000) mostraram que (43,9%) se encontram dentro da faixa recomendada (5-6,5), já quando comparado a metodologia de Kämpf (2005), a representatividade das amostras corresponderam a somente 15% com pH ótimo (5,2 – 5,5), este autor considera considerando o pH alto (5,9-6,3) ou muito alto (6,4-6,8). Os resultados da pesquisa de Schafer *et al.* (2015), mostraram que houve uma tendência maior do uso de substratos com valores de pH acima do recomendado na literatura, com média de 6,2.

Dessa maneira, os valores apresentados nos quatro arranjos podem ser analisados da seguinte forma: o valor médio de 6,82 obtido a partir do conjunto de garrafas do Arranjo 01- (referência) mostrou que, após as simulações de irrigação com a água destilada, o valor do pH diminuiu, tornando-se ácido. Isso aconteceu provavelmente devido ao arraste de partículas, que retirou alguns microrganismos que mantiveram esse solo em sua forma alcalina. Esse valor, comparado com o descrito na metodologia de Cavins *et al.*, (2000), compõe a faixa de um valor muito alto para o cultivo. Da mesma forma, quando comparado com a faixa de valor de 6,5 mencionada por Kämpf (2005), mostra-se ainda superior ao valor mediano utilizado em muitos substratos e encontrado na pesquisa de Schafer, Souza e Fior (2015).

Já nos Arranjos 02, 03 e 04, pode-se observar que, mesmo após a incorporação dos materiais bagaço de coco verde, cana-de-açúcar e caqueira de telha no solo e após todas as irrigações, encontrou-se valores de pH alcalino. Em relação às metodologias de Cavins *et al.* (2000), Kämpf (2005) e Schafer *et al.* (2015), os valores encontrados são ditos respectivamente como pH muito alto para o cultivo, valores extremamente altos de pH e valores muito superiores à média utilizada de acordo com Schafer, Souza e Fior (2015).

Os impactos da influência desses níveis elevados de pH, de acordo com Schafer e Lenner (2022), são variáveis conforme a cultura e o tempo que a vegetação fica exposta ao meio alcalino. A absorção dos nutrientes pelas plantas nesse meio ácido ou alcalino dependerá da espécie. Vale destacar que o pH mais elevado apresentou-se nos Arranjos 02 e 03, nos quais foi adicionada a fibra do bagaço de coco e bagaço de cana-de-açúcar, por terem a característica de materiais orgânicos.

Observou-se que as plantas se desenvolveram melhor no Arranjo 1(referência), ainda, a vegetação apresentou um desenvolvimento também no Arranjo 2 como mostra a Figura 18. No item I, tem-se a imagem do telhado ecológico já com as plantas, logo após a sua montagem no dia 13/10/2022 e no item II desta mesma figura é possível perceber a falta de desenvolvimento das plantas no final de todas as irrigações, no dia 03/03/2023 estes registros fotográficos tiveram um intervalo total de 142 dias.

Figura 18- Vegetação no início da pesquisa e após a finalização das análises

Item I- Vegetação: 13/10/2022



Item II- Vegetação: 03/03/2023



Fonte: Autora (2024).

Apesar do valor de pH do solo desses arranjos não estarem dentro da faixa desejada para as plantações conforme Kämpf (2000a) e Kämpf (2000b), ele que atribui o valor entre 6 e 7 para os solos minerais, devido a disponibilidade de nutrientes, já no caso do substrato orgânico esse número deve ser menor que o anterior cerca de 0,5 a 1,0, analisando dessa maneira os valores de pH, em que teve-se 6,82 para o Arranjo 01- (referência) e 7,57 para o Arranjo 02. O resultado mostrou que não estava dentro dessa faixa mas observou-se pouco desenvolvimento da vegetação.

Índices inapropriados podem prejudicar o desenvolvimento da planta, como exemplo, a acidez em excesso, que provoca redução da disponibilidade de nutrientes

disponíveis e aumenta a absorção de alumínio e manganês, sendo elementos tóxicos às plantas (De Boodt; Verdonck, 1972).

5.1.2 Fluorescência de raio-X (FRX) e perda ao fogo

Na análise do solo comercial realizada por fluorescência de raio-X (FRX), foram obtidos os seguintes valores apresentados na Tabela 7, para óxidos de rubídio, silício, alumínio, fosfato, titânio, ferro, magnésio, potássio, trióxido de enxofre, cloro, dióxido de titânio, dióxido de silício da amostra.

Tabela 7- Composição química do solo comercial obtida por FRX

Elemento	Massa %
MgO	0,51
Al ₂ O ₃	19,96
SiO ₂	63,40
P ₂ O ₅	0,43
SO ₃	0,225
Cl	0,12
K ₂ O	7,05
CaO	2,74
TiO ₂	1,0
Fe ₂ O ₃	4,50
Rb ₂ O	0,03
SiO ₂	0,04
PF(%)	24 %
Umidade	10,11%

Fonte: Autora (2024).

O óxido de silício é o componente principal do solo (aprox. 63,4%). Essa alta quantidade de dióxido de silício sugere a presença de silicatos, micas e os feldspatos, e sílica livre, quartzo (MÁS, 2002). Ele é um metaloide tetravalente, segundo elemento mais abundante da superfície da Terra, compreendendo, aproximadamente, 28% da crosta terrestre (Epstein, 1994), encontrado na natureza na forma de óxido de silício (SiO₂), mineral primário mais abundante, constituindo a base estrutural das rochas e da maioria dos argilominerais.

O aumento da capacidade fotossintética das plantas pode estar relacionado à presença do elemento no sistema, proporcionando melhor arranjo das folhas, tornando-as mais eretas e mais resistentes a possíveis danos (Menegale, Castro; Mancuso, 2015). As principais fontes do nutriente, presentes na solução do solo são

resultado da decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al (Jones; Handreck, 1967).

Observa-se também, como esperado, grande quantidade do óxido de alumínio. Segundo Rocha, Martins e Costa (2014), sabe-se que o alumínio é tóxico para as plantas, mas quando o valor do $\text{pH} \geq 5,5$ este fato não acontece, pois, existe a transformação do elemento na forma de óxido de alumínio, assim pelo valor de $\text{pH} 7,0$ encontrado para o solo comercial utilizado nesta pesquisa, ele não foi prejudicial para as plantas. O óxido de alumínio está em sua maior parte combinada, formando os argilominerais (SANTOS, 1975).

Considerando os macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e os micronutrientes, ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B) molibdênio (Mo) e cloro (Cl), necessários no solo para garantir sua fertilidade promovendo dessa maneira o crescimento das plantas, descrito pela EMBRAPA (2020), este solo apresentou apenas o enxofre, potássio e o magnésio dos elementos necessários em maior quantidade para a fertilidade.

Foi identificado o ferro e o cloro como micronutrientes essenciais. São considerados também outros elementos benéficos apesar de não essenciais nesse desenvolvimento, como o alumínio (Al), monóxido de carbono (Co), níquel (Ni), Selênio (Se), silício (Si), Sódio (Na), Vanádio (V). Destes, foi encontrado apenas o alumínio e o silício, pode se concluir dessa maneira que o solo não possui os nutrientes suficientes para um bom desenvolvimento da planta, mesmo que seu pH não fosse prejudicial a vegetação, o que não ocorreu em nenhum dos dois casos. O valor encontrado no ensaio de perda ao fogo mostrou que houve perda de massa de cerca de 24%, relacionando-se à matéria orgânica presente no solo.

5.1.3 Densidade volumétrica

A densidade volumétrica foi estimada a partir das densidades: úmida e seca do solo comercial. Na primeira, utilizou-se 136,22 g de solo úmido, correspondendo a 233,33 mL na proveta após o ensaio. Já para o valor da densidade seca, este foi obtido após o resultado da densidade úmida e da umidade atual. Foram utilizados 169,17 g referentes à massa antes da estufa, e após a secagem, restou 152,06 g. Os valores obtidos para densidade úmida e seca podem ser vistos no Quadro 6.

Quadro 6- Densidade volumétrica do substrato das amostras úmidas e secas, conforme MAPA (2007)

Característica do substrato	Densidade úmida (Kg m ⁻³)	Densidade seca (Kg m ⁻³)	Umidade Atual (%)
Solo comercial	583,8143	524,7907	10,11 %

Fonte: Autora (2024).

Segundo Abad *et al.* (1993), um substrato ideal deve apresentar densidade volumétrica ou aparente inferior a 400 kg.m⁻³, os valores menores são preferíveis devido proporcionar um bom desenvolvimento de mudas, este é um fator identificado no levantamento bibliográfico realizado por Peroni (2012). Apesar disso, ele explica que os substratos mais compactos, ou seja, em que as partículas estão mais acopladas, há uma dificuldade nas trocas gasosas e na circulação de água, desfavorecendo o crescimento radicular. Pernoi (2012) ainda expõe que a densidade quando é baixa o substrato é leve e menos propício para o suporte das plantas.

Dessa maneira, o valor de densidade volumétrica encontrado neste estudo foi superior ao valor teórico considerado ideal por Abad *et al.* (1993). Essa diferença no resultado em relação ao valores referências é devido aos erros proveniente do método de ensaio de autocompactação, um fato que aconteceu também na pesquisa de Zorzeto (2011), ele identificou valores abaixo desse índice desejado, com números inferiores para os substratos de casca pínus lupa, casca pínus vida verde e casca pínus lupa + casca arroz, atribuindo este evento também a imprecisão do método, ele expõe que a proveta não cai da mesma forma em todas as vezes que é solta, tornando dessa forma uma metodologia imprecisa, um ponto que pode ter alterado também a compactação e consequentemente a leitura do volume preenchido pelas partículas na proveta.

Ainda, para a densidade seca de substratos tem-se como valores de referência 350 a 500 kg.m⁻³ (Conover, 1967) ou 400 a 500 kg.m⁻³ (Bunt, 1973), já no caso da densidade úmida conforme Schafer, Souza e Fior (2015), existe uma variação de acordo com o teor de água do material que faz da densidade seca um valor referência para a densidade volumétrica, analisando o valor do resultado obtido para a densidade seca do solo comercial desta pesquisa, ele é superior a todos os valores de referência mencionados. Ferraz *et al.* (2005) avaliaram substratos comerciais comercializados no país e encontraram valores de densidade de 180 g.L⁻¹ a 320 g.L⁻¹, o resultado do solo comercial da pesquisa mostrou-se superior ao encontrado pelos autores.

5.1.4 Densidade de partícula

O valor da densidade de partícula foi óbito com a aplicação da metodologia da Embrapa (2017), o que resultou no valor de 1,7108 g/cm³. Em solos, a densidade de partículas é importante para se conhecer sua composição: se o solo apresentar grandes quantidades de minerais mais pesados, como a magnetita, sua densidade de partícula será elevada; se, ao contrário, apresentar maior quantidade de matéria orgânica, mais leve, portanto, sua densidade de partículas será menor (Zorzeto, 2014).

De acordo com Gonçalves e Poggiani (1996), 0,50 g/cm³ de densidade é um valor alto para produção de mudas. Já Brandy e Weil (1989) consideram valores ideais de densidade intervalos entre 1,3 a 1,6 g/cm³, quando as densidades são superiores a 1,7 g/cm³, ela é caracterizada por restringir o crescimento vegetal. Dessa maneira, o valor encontrado não seria adequado para o desenvolvimento da vegetação.

Na pesquisa de Campanharo *et al.* (2006), foi encontrado densidade de partículas de 1,62 a 2,40 g.cm⁻³ para substratos comerciais, o valor encontrado para o substrato também comercial desta pesquisa está dentro do intervalo encontrado por este autor para solos da mesma finalidade.

5.1.5 Porosidade

Segundo Ludwig *et al.*, (2008), a porosidade considerada ideal é de 85%, os autores De Boodt & Verdonck (1972), Bix (1973), Goh e Haynes (1977), Boertje (1983), Verdonck (1983), Rac (1985) e Verdonck e Gabriels (1988) também consideram esse valor como sendo ideal, mas, o ensaio com o solo comercial deste estudo apresentou-se como sendo de baixa porosidade, pois possui apenas 30,92%. um valor distante do considerado padrão por esses autores, um ponto inversamente proporcional a alta densidade encontrada nesse solo, confirmando a ideia de Bunt, (1983), ele menciona que a porosidade é inversamente proporcional a densidade. Ainda, Gonçalves e Poggiani (1996) também consideram valores entre 75 e 85% de porosidade total como sendo adequados para produção de mudas, neste caso o valor encontrado mostrou-se propício ao não desenvolvimento vegetativo.

Os substratos comerciais em sua maioria estão dentro da faixa considerada como ideal, no estudo de Valero *et al.* (2009) por exemplo o substrato foi produzido

com casca de pinus e apresentou uma porosidade total de 79%. Já no estudo de Ludwig *et al.* (2010), apesar da porosidade total de 89,18%, ser superior a considerada ideal, mostrou-se adequado para a maioria das culturas, já no estudo de Banck *et al.* (2023), quatro dos oito substratos comerciais utilizados para a produção de uma espécie esteve dentro da faixa ideal de 75% á 85%, apenas um deles mostrou-se inferior com cerca de 72,59% e outros 3 estavam com valores superiores ao ideal, entretanto o resultado encontrado para o solo comercial não se enquadrrou nessas porcentagens.

5.2 Análises da qualidade de água

5.2.1 Análise das garrafas individuais

Para avaliar a uniformidade das garrafas, foram aplicados alguns parâmetros de qualidade da água em 3 garrafas de cada arranjo, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8- Ensaios para verificação da uniformidade da composição das garrafas

ARRANJO	pH	Turbidez	Fosfato	Sólidos totais
ARRANJO 1- garrafa 1	6,78	266,00	17,15	866,00
ARRANJO 1- garrafa 2	6,67	460,00	30,46	1261,00
ARRANJO 1- garrafa 3	6,37	505,00	38,06	1337,00
Média	6,61	410,33	28,56	1154,67
Desvio padrão	0,21	127,01	10,59	252,86
ARRANJO 2- garrafa 1	6,18	122,00	26,03	902,00
ARRANJO 2- garrafa 2	6,06	200,00	24,51	1251,00
ARRANJO 2- garrafa 3	5,75	219,00	10,12	1096,00
Média	6,00	180,33	20,23	1083,00
Desvio padrão	0,22	51,40	8,78	174,86
ARRANJO 3- garrafa 1	5,17	314,00	17,96	1027,00
ARRANJO 3- garrafa 2	4,95	440,00	19,28	1255,00
ARRANJO 3- garrafa 3	5,25	536,00	24,58	1127,00
Média	5,12	430,00	20,61	1136,33
Desvio padrão	0,16	111,34	3,51	114,29
ARRANJO 4- garrafa 1	5,34	600,00	9,68	1080,00
ARRANJO 4- garrafa 2	5,36	575,00	22,32	908,00
ARRANJO 4- garrafa 3	5,39	844,00	42,15	1167,00
Média	5,36	673,00	24,72	1051,67
Desvio padrão	0,03	148,62	16,37	131,80

Fonte: Autora (2024).

No ensaio de pH, observou-se uma variação pequena no Arranjo 04. No entanto, nos outros arranjos (1, 2 e 3), não houve uma distribuição uniforme nos resultados, ou seja, os valores das garrafas individuais para este parâmetro estão distantes da média do conjunto das três garrafas, para cada arranjo. Isso sugere que, apesar da aplicação semelhante da metodologia de montagem para as três garrafas e da proporção equivalente de materiais adicionados nelas, os resultados das análises demonstraram dificuldades na distribuição uniforme do bagaço de coco, do bagaço de cana-de-açúcar e da caqueira de tijolos nas garrafas, o que é esperado devido a esses materiais serem mais grosseiros em comparação com o solo.

Nos ensaios de turbidez, fosfato e sólidos totais para as garrafas 1, 2 e 3 dos 4 arranjos, observou-se o mesmo comportamento. Os valores das garrafas ficaram distantes da média do conjunto, reafirmando a falta de uniformidade entre elas. Isso ocorreu tanto para o Arranjo 01- (referência), que teve apenas o solo comercial adicionado na camada de substrato, como para os demais arranjos 2, 3 e 4. Apesar da incorporação de elementos com diferentes características e de todo o processo aplicado a eles (peneiramento, pesagem e volumetria do material adicionado), os valores obtidos entre as garrafas foram diferentes.

É importante destacar que os experimentos quinzenais realizados com mais garrafas de cada arranjo tendem a diminuir o efeito de dispersão de dados, permitindo uma compreensão mais aprofundada dos efeitos do tipo de substrato na qualidade da água escoada. As coletas quinzenais englobam a soma dos volumes escoados pelas 5 garrafas de cada arranjo, contendo assim uma área de substrato maior. Isso minimiza os desvios causados pelos efeitos de preenchimento de garrafas individuais, resultantes do uso de material mais grosseiro (bagaço de coco, bagaço de cana-de-açúcar e caqueira de telha) adicionado ao solo comercial.

5.2.2 Volume de água retido nas coletas quinzenais

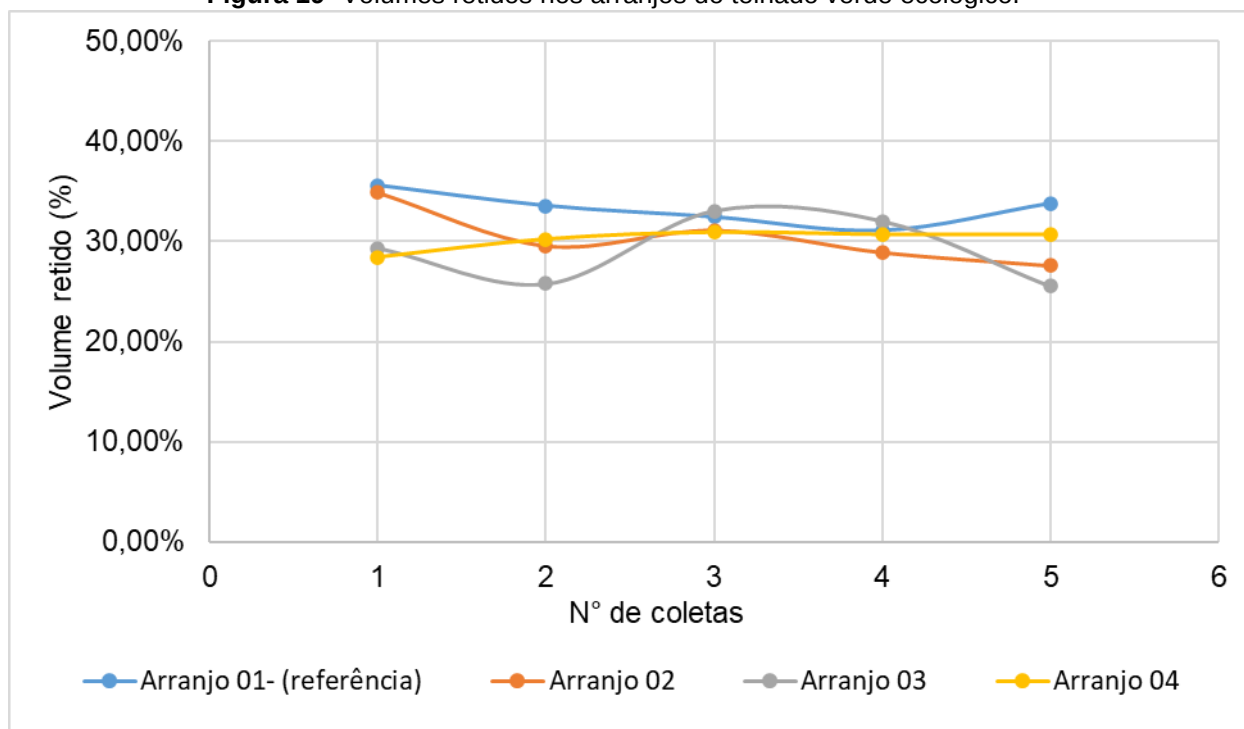
O volume irrigado foi de 4500 mL para cada sistema e, em cada uma das 5 coletas individuais, a estrutura de cada arranjo possui 5 garrafas. Cada garrafa recebeu uma precipitação de 900 mL durante uma hora. As capacidades de retenção para cada sistema, conforme as coletas, podem ser visualizadas no gráfico da Figura 19.

Uma das características que o sistema do telhado verde possui é a capacidade de reter grades volumes de chuvas, no estudo de Burszta-Adamiak (2012) em um prédio da Universidade de Ciências da Vida e Meio Ambiente em Wrocław, na Polônia, esse sistema contribuiu para a redução da velocidade do escoamento e diminuindo também no pico do hidrograma em comparação ao valor máximo de precipitação registrado, em que, para 153 eventos de precipitação houve uma a retenção média entre 82,5% a 85,7% para os telhados verdes.

Nesta análise após a simulação de um evento máximo, o arranjo que mais reteve ao longo das 5 coletas foi o Arranjo 01- (referência), cujo substrato foi composto apenas com solo comercial, esse fato aconteceu devido a junção das partículas desse solo que dificultou a percolação da água, o maior valor retido nesse arranjo foi de 35,56%, o que corresponde a um volume de 1.600 mL dos 4.500 mL irrigado, esse volume retido foi contabilizado após a primeira coleta quinzenal.

Já o arranjo que menos reteve durante as 5 coletas foi o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar), na quinta coleta quinzenal esse arranjo reteve apenas 1.150 mL do volume total o que corresponde a 25,56%.

Figura 19- Volumes retidos nos arranjos do telhado verde ecológico.



Fonte: Autora (2024).

Ainda, o comportamento quanto a retenção de água durante as 5 coletas foi similar para os Arranjos 02 e 03 apesar da variação dos volumes retidos e das

diferentes composições de substrato sendo elas respectivamente, solo comercial + bagaço de coco verde e solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar.

Em relação ao Arranjo 04, composto por solo comercial + caqueira de telha, mostrou-se continuo a partir da terceira coleta com valores de retenção acima de 30%, mostrando resultados iguais para as coletas 4 e 5, com cerca de 30,67%, ou seja, foi retido um volume de 1.380 mL. Os valores em % retidos em cada coleta pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9- Ensaios para verificação da uniformidade da composição das garrafas

COLETA SEMANAL	ARRANJO 01- (REFERÊNCIA)	ARRANJO 02	ARRANJO 03	ARRANJO 04
Coleta 01 29/11/2022	35,56%	34,89%	29,33%	28,44%
Coleta 02 12/12/2022	33,56%	29,56%	25,78%	30,22%
Coleta 03 28/12/2022	32,44%	31,11%	33,00%	30,89%
Coleta 04 14/02/2023	31,11%	28,89%	32,00%	30,67%
Coleta 05 03/03/2023	33,78%	27,56%	25,56%	30,67%
MÉDIA	33,29%	30,40%	29,13%	30,18%

Fonte: Autora (2024).

Com as 5 coletas teve-se como retenção média para cada arranjo os seguintes valores: Arranjo 01- (referência) (33,29%), arranjo 2 (30,40%), arranjo 3 (29,13%) e o arranjo 4 (30,18%), considerando a faixa ideal de retenção para substratos a qual segundo Fermino (2014) e Boodt e Verdonck (1972) os valores devem estar entre 20 e 30% e observando esses resultados obtidos foi possível constatar que apenas o arranjo 3 se enquadraria neste limite de retenção ideal para garantir o cultivo pelo o volume total de água facilmente disponível (AFD).

Do ponto de vista da engenharia para a drenagem urbana, o índice de retenção médio apresentado pelo Arranjo 01- (referência) seria mais interessante, pois o volume escoado ficou mais retido no sistema, diminuindo assim o volume total escoado. A captação e o armazenamento dessa água proveniente dos arranjos contribuiriam positivamente para a diminuição de enchentes. Para Palla *et al.* (2008), o telhado verde retém uma parcela da água pluvial, que serve para o metabolismo das plantas, amenizando o volume total da água que escoar pelo sistema e segue para o sistema de drenagem, retardando a duração do pico do escoamento superficial.

Lee *et al.* (2013) afirmaram em seu estudo que a retenção do telhado diminui conforme a intensidade da chuva e que a capacidade de retenção de um telhado verde pode estar entre 44% e 52%. Considerando os dados obtidos, percebe-se que a chuva máxima aplicada sobre os arranjos afetou sua capacidade de retenção, algo

comprovado também no estudo de Kreutzfeld (2018), que verificou que precipitações de menor volume implicam em maior capacidade de retenção da água da chuva em telhados verdes.

No Apêndice A, é possível observar o tempo de percolação e o volume recolhido nas 5 coletas dos quatro arranjos. Foi constatado que o Arranjo 01- (referência), cujo substrato é composto apenas por solo comercial, consumiu um maior tempo médio para o início da percolação, seguido do Arranjo 4 (solo comercial + caqueira de telha), sendo que o primeiro consumiu cerca de 7 minutos e 20 segundos, apresentando uma retenção superior aos outros 4 arranjos. O Arranjo 04 consumiu cerca de 6 minutos e 40 segundos. O Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar) teve um desempenho contrário ao Arranjo 01- (referência), mostrando-se mais permeável, reduzindo o tempo gasto pelo Arranjo 01- (referência) em 4 minutos, retendo um menor volume da água percolada pelo sistema, com cerca de 4,15% de diferença entre o maior volume, o equivalente a 187 mL a mais do volume máximo recolhido, que foi de 3002 mL. No caso do arranjo 02 (solo comercial + bagaço de coco verde), ele reteve mais do que os Arranjos 03 e 04, entretanto, menos do que o Arranjo 01- (referência).

5.2.3 *Análise da qualidade da água quinzenal*

Os dados obtidos para os Arranjos 01- (referência), 02, 03 e 04, a partir das análises dos parâmetros de qualidade da água para as coletas 1, 2, 3, 4 e 5 de cada Arranjo, estão descritos nos Apêndices C, D, E e F, respectivamente, ainda, para fins de comparação foram aplicados os ensaios de: pH, turbidez, cor aparente e condutividade na água destilada que irrigou os sistemas a cada coleta realizadas (Apêndice B).

O tratamento estatístico desses dados foi realizado por meio da ANOVA (Apêndice G). A ANOVA foi aplicada para todos os dados dos 4 arranjos e para a combinação individual entre eles, gerando então 7 combinações diferentes, sendo elas: uma com todos os arranjos e outras com AR1 e AR2; AR1 e AR3; AR1 e AR4; AR2 e AR3; AR2 e AR4; AR3 e AR4. Isso foi aplicado para os parâmetros de pH, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, condutividade, amônia, fósforo, nitrato, nitrito, fosfato, ferro total, sulfato, sólidos dissolvidos totais, dureza total, cálcio, cloreto e alcalinidade.

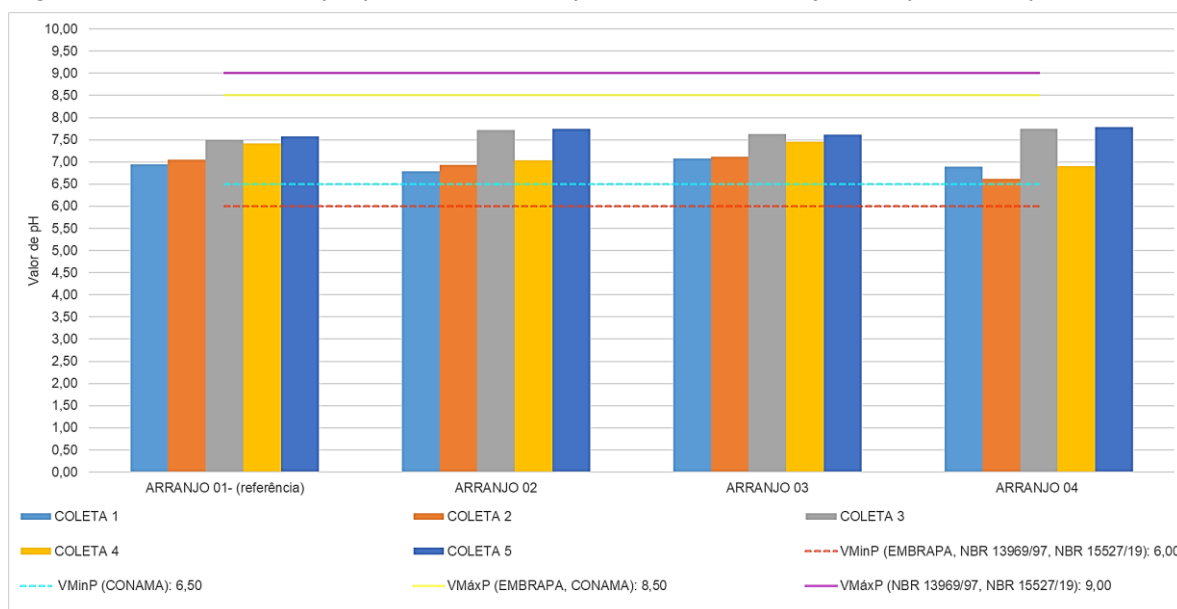
5.2.3.1 pH

O valor de pH para o Arranjo 01- (referência), nas coletas 1, 2, 3, 4 e 5 apresentaram valores acima do número mínimo estabelecido pelo CONAMA (2005) de 6,5. Tais resultados mostraram-se superiores também ao mínimo de 6,0 estabelecido pelas normativas EMBRAPA (2010), NBR 13969 (1997), NBR 15527 (2019). Os valores encontrados nas 5 coletas foram comuns tanto para este arranjo, como também para os Arranjos 02, 03 e 04.

De forma geral, houve um aumento no valor de pH para os 4 arranjos ao longo das coletas principalmente a partir da coleta 3. Uma possibilidade para os valores de pH serem mais próximos da neutralidade é a lixiviação de cátions formadores de bases nos substratos, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , o que resulta em um aumento no valor do pH da água escoada (Chen *et al.* 2018).

Os dados das 5 coletas desses sistemas ficaram abaixo do limite máximo dessas legislações, sendo, 8,5 para a EMBRAPA (2010) e o CONAMA 357 (2005), já quanto a NBR 13969/97 e a NBR 15527/19, este valor é de 9,0. Os valores obtidos nas 5 coletas para todos os 4 Arranjos, podem ser vistos no gráfico da Figura 20.

Figura 20- Resultados de pH para as análises quinzenais dos Arranjos 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

Entre os 4 Arranjos, houve um comportamento similar dos valores para as coletas 1, 2 e 3 dos arranjos 01- (referência), 02 e 03, havendo um aumento de pH nas 3 primeiras coletas e uma diminuição na quarta coleta, em que, os maiores valores de pH foram encontrados na Coleta 05, sendo eles: 7,57, 7,74 e 7,61, respectivamente

para os Arranjos 01- (referência), 02 e 03, já os valores mínimos para esses sistemas, foi identificado na coleta 1, na qual, teve-se os valores de 6,94, 6,78 e 7,08, respectivamente para estes arranjos, os valores encontrados se mantiveram entre os mínimos necessários e os máximos permitidos estabelecidos por as normas já mencionadas.

No caso do Arranjo 04, pode ser observado uma variação nos valores de pH, em que foram maiores para a Coleta 1, 3 e 5 e menor para a Coleta 2 e 4, o menor valor de pH para este arranjo foi de 6,61 e o maior de 7,79. Analisando todos os arranjos, o menor valor de pH foi identificado para na coleta 1 do Arranjo 02 no qual o substrato é formado por (solo comercial + bagaço de coco verde), sendo ele de 6,78, já o maior valor foi para o Arranjo 04 (solo comercial + resíduo de telha cerâmica), encontrado na coleta 5, sendo ele, 7,79.

A análise estatística (Apêndice G) por meio da ANOVA, mostrou que para as 5 coletas dos arranjos a combinação com os dados dos quatro arranjos para o parâmetro de pH foi semelhante significativamente, ou seja, as médias amostrais possuem valores próximos entre si, em teve o valor-p igual a 0,89701, além disso, esse resultado foi confirmado através das combinações entre cada arranjo, para todas as combinações com os arranjos de forma individual, constatou-se semelhança significativa.

Após a análise dos resultados das 5 coletas para os quatro arranjos, é possível dizer que a água proveniente de cada conjunto pode ser utilizada a partir da primeira coleta, tanto para fins de irrigação de acordo com o EMBRAPA (2010), como também para lavagem de carros e outros fins que serve tanto para a NBR 15527 (2019) como para NBR 13969 (1997), além do despejo em corpos hídricos previstos na última e de acordo com os padrões de limite da classe 1 do CONAMA (2005), ainda, essa água pode ser utilizada nos sistemas de resfriamento, em descarga de bacias sanitárias, mictórios, lavagem de pisos, reserva técnica de incêndio, uso ornamental (fontes, chafarizes e lagos e na irrigação para fins paisagísticos, segundo a NBR 15527 (2019).

Já considerando os valores quanto aos que Kämpf (2005) considera como valores ideais de pH para a maioria das plantas, de 5,2 a 5,5, nenhum dos resultados para este ensaio foi satisfatório, isso explica o baixo desenvolvimento da espécie vegetada em todos os arranjos.

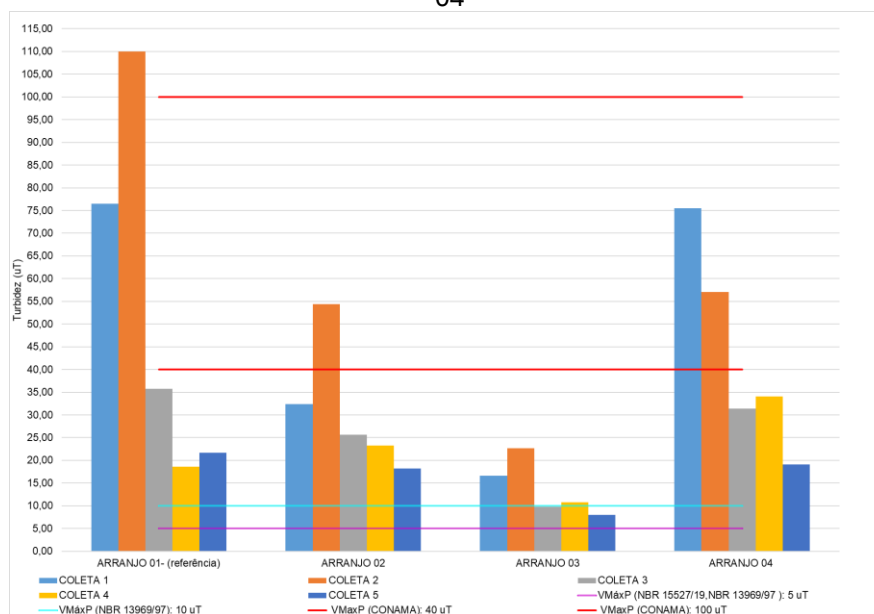
Todos os arranjos mostraram-se ácidos na primeira coleta, mas na segunda foi constatado que eles ficaram alcalinos seguindo esse comportamento até a última coleta, o fato do pH se tornar mais alcalinos nas coberturas vegetadas foi identificado também no estudo de Lázaro (2020). Tal característica foi constatada também por cada grupo de telhado verde em que estes forneceram valores de pH próximos da neutralidade, o que é benéfico para o ambiente, principalmente no que se refere à neutralização da chuva ácida nos grandes centros urbanos (Hashemi *et al.* 2015).

A adição do bagaço de coco no estudo de Oliveira (2012) apresentou que o substrato também ficou alcalino, assim como ocorreu neste estudo. Da mesma forma aconteceu com a adição do bagaço de cana de açúcar ao substrato no estudo de Scarassatti, Benatti e Morais (2021), mostrando que os valores foram alcalinos durante os eventos chuvosos. Neste estudo assim como o de Vijayaraghavan e Raja (2015), alcançou-se também valores de pH acima de 7,0 em sua maioria. Tais autores identificaram ainda que este valor não depende da profundidade ou tipo de substrato.

5.2.3.2 Turbidez

No ensaio de turbidez, os dados demonstraram valores altos nas coletas 1 e 2 para todos os arranjos e os menores foram identificados na última coleta de cada um deles. Os dados obtidos para a turbidez dos 4 arranjos podem ser vistos no gráfico da Figura 21.

Figura 21- Resultados de turbidez para as análises quinzenais dos Arranjos 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

Segundo Rowe (2011), diversos poluentes são encontrados em maiores concentrações em telhados verdes jovens, pois o solo ainda está concentrado e a vegetação ainda não completamente está estabelecida. Com a incorporação dos materiais no substrato observou-se que houve uma redução dos valores da turbidez ao longo das coletas para os Arranjos 02, 03 e 04, no entanto, no Arranjo 01- (referência) cuja composição era apenas o solo comercial, apresentou valores variáveis com acréscimos e diminuições. O principal fator de influência sobre a turbidez em coberturas vegetadas é o tipo de solo utilizado (Lázaro, 2020).

O Arranjo 01- referência (solo comercial), apresentou o maior valor de turbidez entre os 4 sistemas nas 5 coletas, com cerca de 110 uT, já o menor valor identificado entre eles foi para o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar) na coleta 5, em torno de 7,97 uT.

No estudo de Vacari (2015), a água proveniente também desse tipo de sistema apresentou maior concentração de cor e turbidez, segundo a autora, isto ocorreu devido aos valores das concentrações de sólidos totais provenientes do substrato. Já para Pessoa *et al.* (2016) o que influencia nesse valor de turbidez para a água escoada é o tempo de instalação dos telhados verdes, o teor de matéria orgânica e o sistema radicular das plantas confirmando os dados obtidos neste estudo.

Nas 5 coletas do Arranjo 01- (referência), os valores para turbidez foram superiores a faixa aceitável de 5 uT da NBR 15527 (2019) e da NBR 13969 (1997), apresentando dessa maneira a não adequação da água para o possível uso em lavagem de carros, pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos e reuso nas descargas dos vasos sanitários ou o seu despejo em corpos hídricos no caso da última normativa, este fato ocorreu também para os Arranjo 01- (referência), 02 e 04. Entretanto, todos os arranjos ficaram dentro da faixa máxima do CONAMA 357 (2005) de 100 uT, sendo observado dessa forma que, as duas faixas mencionadas por essa norma foram respeitadas a partir da coleta 3 para todos os arranjos, destacando-se entre eles o Arranjo 03, que ficou com valores abaixo delas nas 5 coletas, logo, esta água a partir da coleta 3 para todos os arranjos estaria apta a ser lançada em corpos hídricos.

Além do CONAMA 357 (2005), o Arranjo 03, na coleta 3 e 5, apresentou valores dentro da faixa máxima (10 uT) da NBR 13969 (1997), mas eles foram superiores ao outro ponto máximo dessa normativa de (5 uT), caracterizando o uso dessa água apenas para descargas dos vasos sanitários, assim, o Arranjo 03

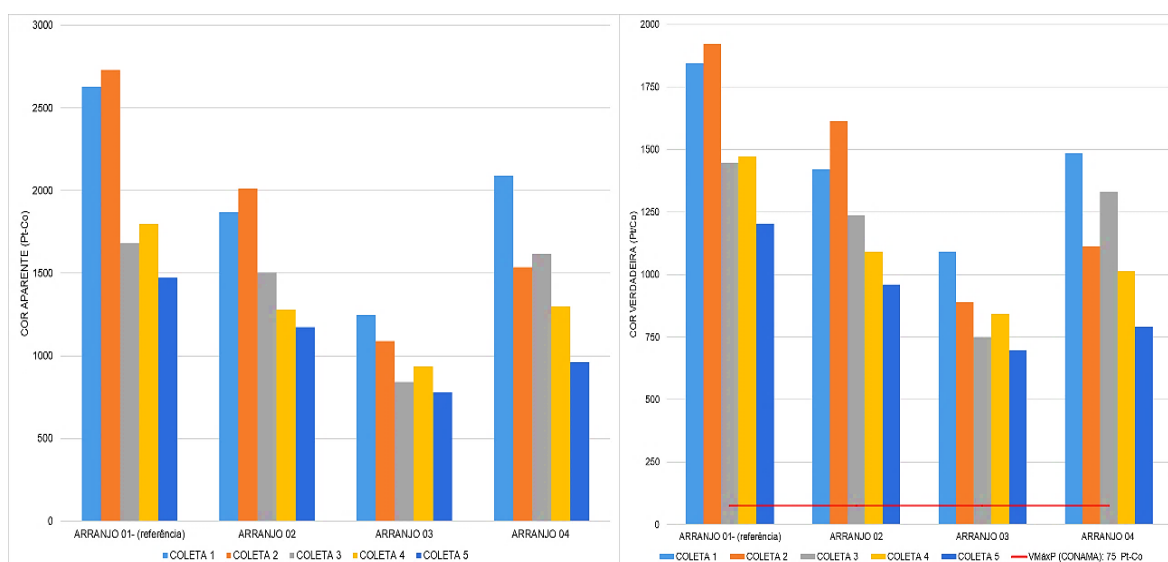
composto por (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar), para este caso, foi o único a possibilitar um reuso. Os valores encontrados neste arranjo também foram superiores ao previsto pela NBR 15527 (2019), de (5 uT). Esse resultado é diferente do obtido por Scarassatti, Benatti e Moraes (2021), pois, o melhor resultado de turbidez foi encontrado para o substrato controle composto apenas com solo comercial, e não para o substrato em que houve a incorporação desse tipo de material.

No caso da análise estatística (Apêndice G), a ANOVA mostrou que as médias entre todos os arranjos são semelhantes significativamente, com valor-p de 0,09972, entretanto, após as combinações foi possível identificar que não há similaridade entre as médias dos AR2 e AR3 e AR3 e AR4, para eles o valor-p foi de respectivamente, 0,03687 e 0,02120.

5.2.3.3 Cor aparente e verdadeira

Nas coletas quinzenais, os valores do Arranjo 01- (referência) e dos arranjos 02 e 03 para os parâmetros da cor aparente e cor verdadeira, que, foram maiores nas duas coletas iniciais, já o Arranjo 04 foi maior na coleta 1 e 3. Os dados obtidos para esses padrões estão expostos no gráfico da Figura 22.

Figura 22- Resultados de cor aparente e cor verdadeira, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

Foi possível perceber que na coleta 01 de todos os arranjos para os dois padrões houve uma semelhança de comportamento dos sistemas, pois os valores foram diminuindo gradativamente. Observou-se também que a incorporação dos

materiais nos substratos dos Arranjos 02, 03 e 04, resultou na redução de valores tanto para cor aparente como para a cor verdadeira. Entre as normativas analisadas nesta pesquisa, não houve identificação acerca de limites máximos ou mínimos permitidos para cor aparente.

Na cor aparente foi possível identificar que nas 5 coletas, os maiores valores obtidos foram para o Arranjo 01- (referência) (solo comercial), no qual teve-se como o número máximo 2729 mg/L Pt-Co identificado na análise da coleta 2, já os menores valores dessa cor foram para o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar), encontrados na última coleta, sendo o valor mínimo entre eles 779 mg/L Pt-Co. Estes valores, foram superiores aos valores encontrados por Moruzzi, Moura e Barbassa (2014), para um sistema de telhado verde com a mesma inclinação de 30 %, utilizada neste estudo. Para Wermeier e Noya (2019) a cor aparente pode estar ligada a toda composição do telhado, podendo dessa forma ser influenciada pelo substrato, um fato comprovado pois ao acrescentar os materiais nos substratos dos Arranjos 02, 03 e 04, os valores dessa cor diminuíram.

Os valores da cor aparente apresentados por Lima (2013), foram superiores em sua maioria a 1000 mg/L Pt-Co assim como ocorreu neste estudo, entretanto, o valor mínimo de um dos seus sistemas vegetados foi menor cerca de 500 mg/L Pt-Co do valor mínimo identificado nesta pesquisa. Já no estudo de Farias (2012), os valores ficaram abaixo dos 1210 mg/L Pt-Co.

Com relação a cor verdadeira, tendo o valor limite previsto pelo CONAMA 357 (2005) de 75 mg/L Pt-Co, todos os valores foram superiores ao permitido não havendo assim a possibilidade do seu lançamento direto nos cursos de água. O maior e menor valor encontrado para a cor verdadeira, assim como na cor aparente, foi respectivamente para Arranjo 01- (referência) e o Arranjo 03, com resultados respectivamente de, 1923 mg/L Pt-Co, na coleta 2 e 698 mg/L Pt-Co, na coleta 5.

Analisando o valor obtido como mínimo para cor verdadeira, encontrado no Arranjo 3, foi possível averiguar que ele está entre a faixa dos valores obtidos no estudo realizado por Scarassatti, Benatti e Moraes (2021). Tais autores fizeram a coleta de água após a irrigação do seu sistema vegetado, entretanto, para eles o melhor valor obtido para este parâmetro foi do arranjo de referência. Neste arranjo foi aplicado apenas o solo comercial como substrato também, logo, comparando o valor máximo do resultado obtido para o Arranjo 01- (referência) neste estudo foi superior, não se enquadrando na faixa dos resultados obtidos por estes autores.

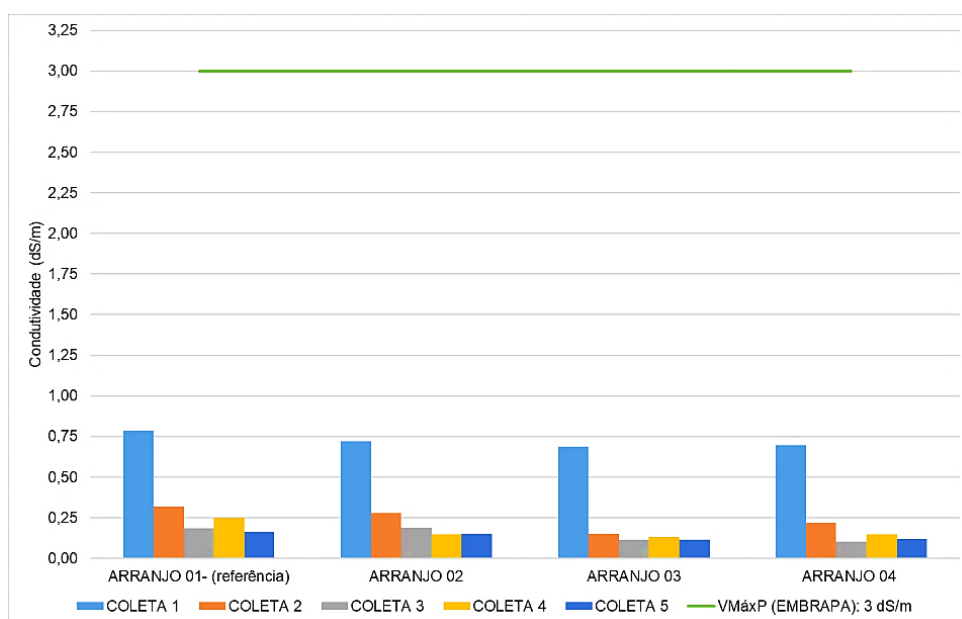
Com a análise estatística por meio da ANOVA (Apêndice G), identificou-se que as médias para os 4 arranjos do conjunto de amostras das 5 coletas, diferem significativamente entre si para o parâmetro de cor aparente, com valor-p de 0,00682, no entanto, para as combinações dos dados de AR1 e AR2, AR1 e AR4, AR2 e AR4, cujo valor-p foram respectivamente, 0,14408, 0,11591 e 0,79503, possuem semelhança significativa. Já para a cor verdadeira, a média de todos os arranjos também são diferentes significativamente com valor-p igual a 0,00304 no caso das combinações individuais entre eles, apenas AR1 com AR2; AR2 com AR4 e AR3 com AR4 são semelhantes significativamente, com valor-p de respectivamente 0,11522, 0,50110 e 0,06818.

5.2.3.4 Condutividade elétrica

Todos os arranjos apresentaram valores inferiores a faixa limite da EMBRAPA (2010), em que se tem 3 dS/m como valor máximo permitido para o parâmetro da condutividade elétrica quanto ao reuso da água para a irrigação.

Relacionando os dados obtidos quanto a esse valor limite estabelecido por essa normativa, para as 5 coletas, foi possível perceber que nas amostras dos Arranjos 01- (referência), 02, 03 e 04, adequaram-se para esta finalidade desde a coleta 01 como mostra a Figura 23.

Figura 23- Resultados de condutividade elétrica, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

Na coleta 01, foi identificado também o valor máximo de condutividade elétrica para todos os arranjos, sendo eles, em dS/m, 0,785 (Arranjo 01 - referência), 0,720 (Arranjo 02), 0,688 (Arranjo 03) e 0,697 (Arranjo 04). Esse fato pode ser atribuído por ser a fase inicial de coleta e conseqüentemente no solo há uma maior quantidade de materiais e componentes que são carregados pelo fluxo de água.

Observou-se que, entre os quatro arranjos analisados, o valor máximo de condutividade elétrica foi registrado no Arranjo 01 – (referência), (solo comercial), atingindo 0,785 dS/m. Por outro lado, o valor mínimo foi encontrado no Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar), com 0,114 dS/m. Esses números permaneceram dentro da faixa dos resultados descritos por Scarassatti, Benatti e Moraes (2021) para as mesmas composições de substratos, ou seja, solo comercial e solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar.

No estudo de Buccola e Spolek (2010), foi demonstrado que existe uma relação para o valor da condutividade elétrica, sendo que ela muda conforme a profundidade do substrato e a presença ou não de vegetação, um fato identificado também neste estudo, os resultados de condutividade também foram menores para os arranjos vegetado confirmando então a influência desta camada para este parâmetro.

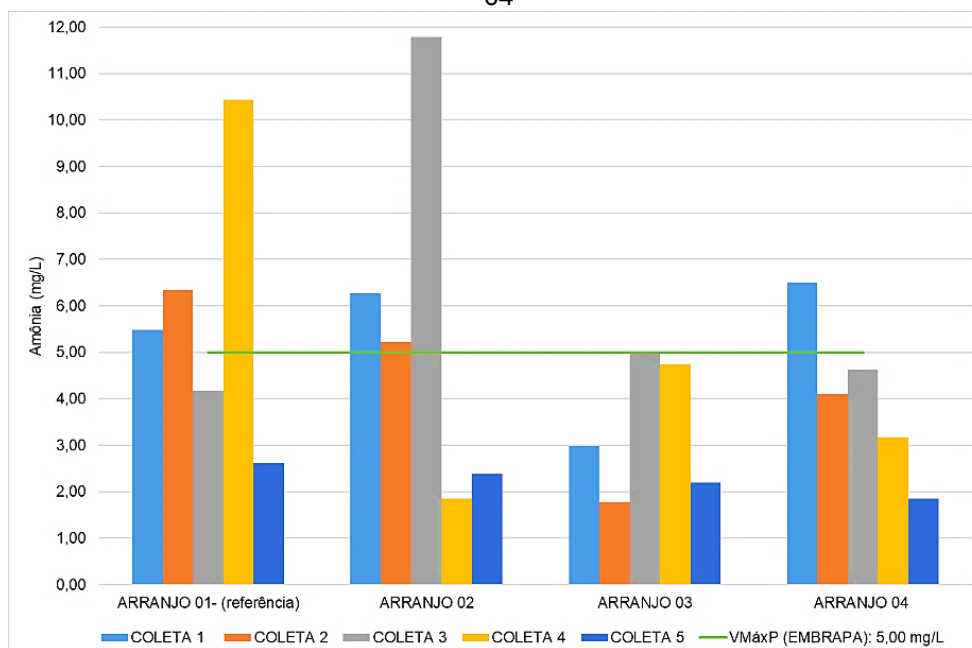
Quanto a análise estatística, a ANOVA (Apêndice G) apresentou que a média de todos os arranjos são semelhantes significativamente nas 5 coletas, com valor-p de 0,92191, já as combinações individuais entre cada arranjo também demonstraram que eles possuem esta semelhança.

5.2.3.5 Amônia

Os valores da amônia presente na água percolada pelos os 4 arranjos, podem ser visualizadas no gráfico da Figura 24, foi possível perceber que os dados foram superiores ao limite permitido pela EMBRAPA (2010) na coleta 1, para o Arranjo 1- (referência), 2 e 4.

O Arranjo 03 foi o único entre os quatro arranjos que apresentou dados abaixo do valor de 5 mg/L, atingindo esse limite máximo na coleta 3. Portanto, a água proveniente desse arranjo poderia ser utilizada para fins de irrigação desde a coleta inicial.

Figura 24- Resultados de amônia, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

No caso do Arranjo 04, essa água só seria aproveitável a partir da coleta 2, enquanto para os Arranjos 01- (referência) e 02, o aproveitamento seria possível a partir da coleta 5 e da coleta 4, respectivamente.

O valor mínimo encontrado para a amônia em relação aos 4 arranjos foi para o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar) com cerca de 1,78 mg/L na coleta 2, já o valor máximo foi para o Arranjo 02 (solo comercial + bagaço de coco verde), 11,78 mg/L.

Houve uma variação nos valores de amônia em algumas coletas, com alguns deles dentro do limite permitido pela EMBRAPA (2010) e outros ultrapassando esse limite. Essa variação de comportamento também foi observada no estudo de Gomes (2019), que identificou aumentos nos valores para esse padrão em telhados verdes, no entanto, permaneceram dentro da faixa limite desta normativa. Já os valores obtidos por Lima (2013) ficaram todos acima dessa faixa de 5 mg/L, levando a autora a enfatizar a necessidade de um tratamento antes do reuso da água que percola por esse tipo de sistema.

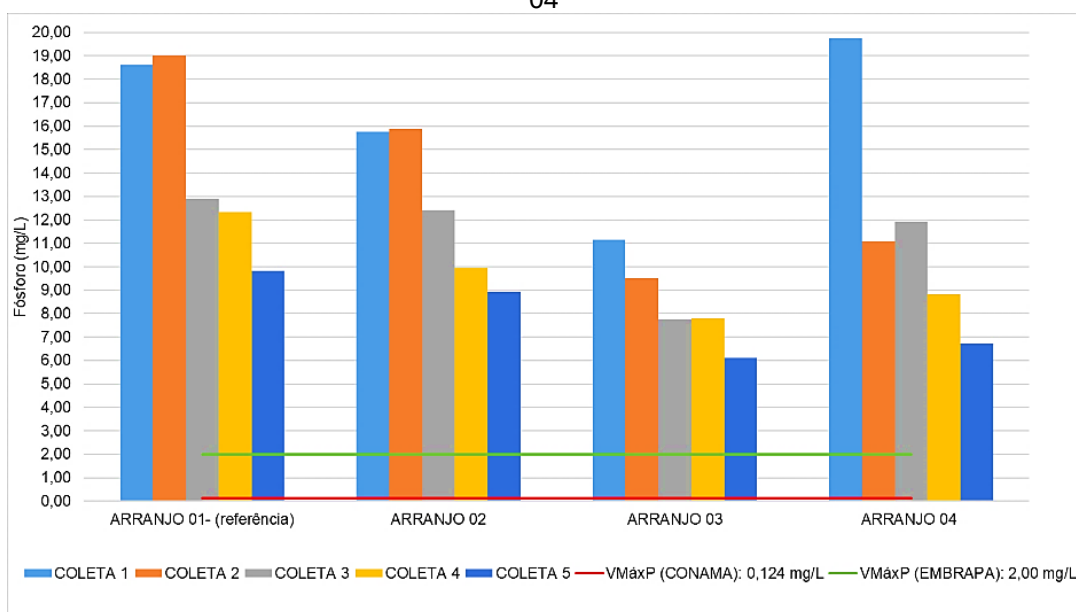
No estudo de Gomes *et al.* (2018), foi identificado que o nível de amônia da água percolada é melhor em um telhado verde convencional, a pesquisa apresentou que houve um aumento de valores após o efluente escoar pelo substrato, o qual era composto de terra vegetal misturada com material de compostagem.

Com a ANOVA (Apêndice G), observou que as médias do conjunto com os dados de todos os arranjos são semelhantes entre si, com valor-p de 0,44653 e que os resultados das 5 coletas apesar das 4 composições diferentes dos substratos, as médias não diferiram quando houve a comparação entre os sistemas.

5.2.3.6 Fósforo

As águas recolhidas nas 5 coletas para os 4 arranjos, demonstrou que todos os valores para fósforo foram superiores a faixa da EMBRAPA (2010) de 2,00 mg/L e do CONAMA 357 (2005) de 0,124 mg/L, não possibilitando assim o reuso dessa água como mostra o gráfico da Figura 25.

Figura 25- Resultados de fósforo, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

O Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar), foi novamente um destaque, entre todos os arranjos foi o que apresentou os menores valores apesar da não conformidade com as normativas.

Foi possível constatar que, a partir da coleta 3, houve uma perda gradual dos valores de fósforo em todos os arranjos. Isso destaca a necessidade de apresentar um conjunto de dados com um número maior de coletas para verificar se esses valores continuariam a diminuir, permitindo assim avaliar se ainda se enquadrariam dentro dos limites permitidos pelas normativas em questão.

Li e Babcock (2014), em sua pesquisa confirmaram que a água dos telhados verdes apresenta uma grande quantidade de fósforo e nitrogênio assim como ocorreu neste estudo. No caso de Gong *et al.* (2020), o resultado de fósforo foi similar para um sistema de telhado convencional de concreto e para um telhado verde extensivo, os valores de fósforo encontrados por estes autores foram menores com o passar das coletas, um comportamento similar ao identificado nesta pesquisa em que os valores obtidos, foram decrescentes com o passar do tempo entre cada coleta. A revisão bibliográfica de H.S. Lim (2023), expõe que existe uma variação da concentração do fósforo nos anos iniciais da instalação do telhado verde e que são inicialmente altos, principalmente no primeiro ano.

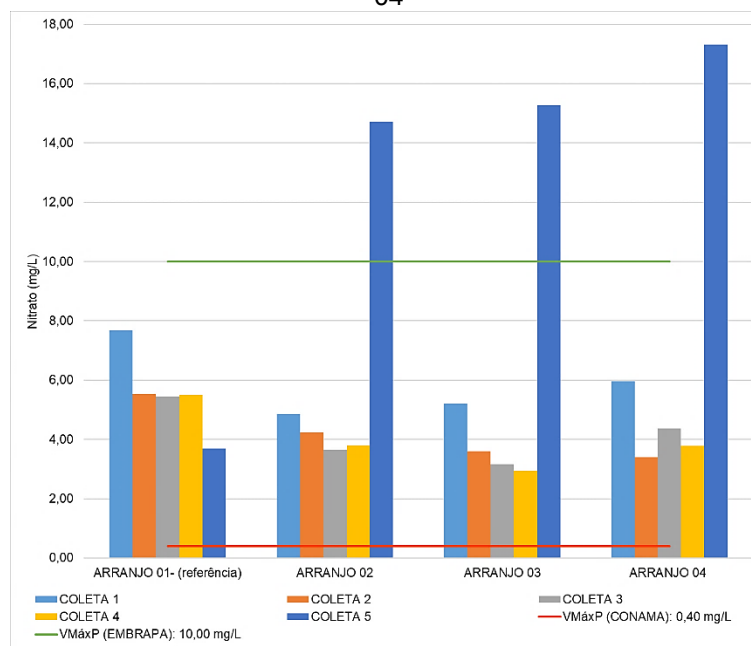
Conforme a Anova (Apêndice G), constatou-se que as médias de todos os arranjos são semelhantes significativamente, cujo valor-p foi de 0,11386, entretanto, quando feitas as combinações individuais AR1 com AR3 (valor-p= 0,01671) e AR2 com AR3 (valor-p= 0,03942), demonstraram diferença significativa entre os resultados.

5.2.3.7 Nitrato

As análises das 5 coletas quinzenais para os 4 arranjos com relação ao nitrato, mostraram que a água recolhida no caso dos Arranjos 02, 03 e 04 só poderia ser reutilizada nas coletas 1, 2, 3 e 4 pois, respeitaram o limite máximo da EMBRAPA (2010) de até 10 mg/L.

Nenhum dos arranjos apresentou valores dentro da faixa do CONAMA 357 (2005) de 0,40 mg/L, apenas no Arranjo 01- (referência) (solo comercial) foi identificado resultados apropriados em todas as coletas para o uso dessa água na irrigação, conforme o previsto pela EMBRAPA (2010), os dados obtidos nessas análises podem ser vistos no gráfico da Figura 26.

Figura 26- Resultados de nitrato, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

O Arranjo 01- (referência) (solo comercial), mostrou valores em mg/L de 7,67, 5,55, 5,44, 5,50, 3,70, respectivamente nas 5 coletas, dessa forma é possível perceber que houve um decréscimo nos valores a cada coleta, sendo necessário a realização de novas coletas para averiguar se eles se enquadrariam na outra normativa com novas aplicações. Entre os valores obtidos para este arranjo apenas o menor valor obtido de 3,70 mg/L identificado na última coleta não se encaixou na faixa dos valores encontrados por Scarassatti, Benatti e Moraes (2021), que também analisou este parâmetro e tipo de substrato. O aumento na quinta coleta dos arranjos 02, 03 e 04 é atribuída a calibração do equipamento e também podem estar relacionados com a ciclagem de nitrogênio, possivelmente pela intensificação do processo de nitrificação (Chen *et al.*, 2018), mesmo após a calibragem do equipamento notou-se o aumento.

Observou-se que houve uma variação nos valores de nitrato ao longo das 5 coletas, com aumentos e diminuições, algo já observado na literatura, na pesquisa de Mitchell *et al.* (2021), encontrou-se valores de nitrato no escoamento de um telhado verde mesmo após 20 anos de existência, entretanto a pesquisa de Speak *et al.* (2014), mostrou que um sistema com 43 anos apresentou redução de valores para nitrato na mesma proporção que um telhado com menos tempo de instalação, conforme H.S Lim (2023), que atribuiu esse fator as características a qual o telhado pode estar submetido como: o tipo de vegetação, do substrato, das condições climáticas e de todas as atividades que envolvem o controle desse sistema.

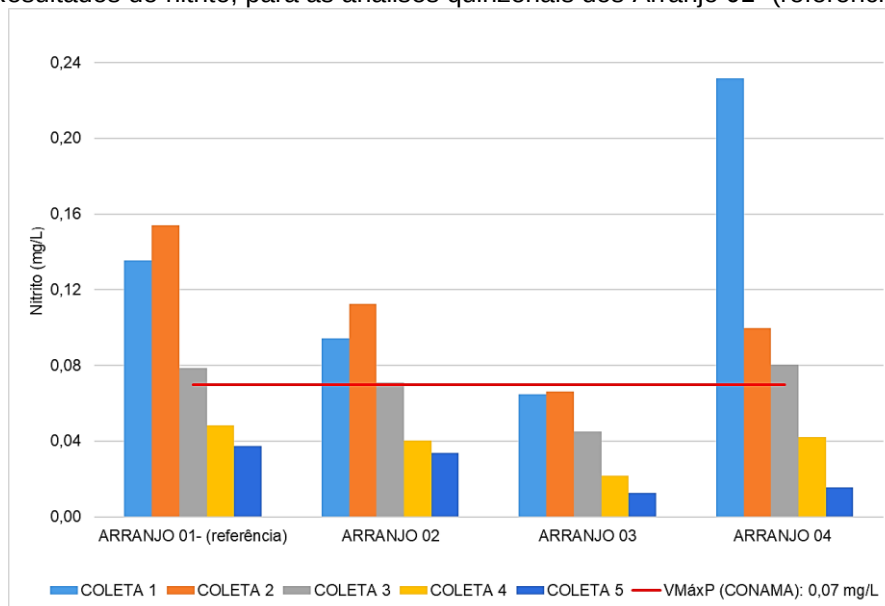
O resultado da ANOVA (Apêndice G) mostrou que existe semelhança significativa para as médias com todos os dados dos arranjos cujo valor-p foi de 0,97117, ainda, todas as combinações individuais entre os arranjos também apresentaram tal semelhança.

5.2.3.8 Nitrito

As amostras recolhidas dos arranjos após a percolação mostraram que o valor de nitrato excedeu a faixa estabelecida pelo CONAMA 357 (2005) de 0,07 mg/L nas três primeiras coletas para os Arranjos 01- (referência), 02 e 04. Isso indica a possibilidade de despejo em corpos hídricos a partir da coleta 4, sendo que apenas o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar) demonstrou adequação em todas as coletas.

Os quatro arranjos apresentaram valores bastante reduzidos de nitrito, inferiores à quantidade de nitrato, em consonância com os resultados obtidos por Gomes (2013). Em sua pesquisa, os valores foram especialmente menores quando comparados ao sistema vegetado com a babosa do sistema desenvolvido por Lima (2012). Essa tendência também foi observada nos estudos de Ferrans *et al.* (2018) e Pęczkowski *et al.* (2018), sendo um fenômeno associado à instabilidade do nitrito, conforme destacado por Garcez (2004). Os dados de nitrito para os arranjos 01- (referência), 02, 03 e 04 estão apresentados no gráfico da Figura 27.

Figura 27- Resultados de nitrito, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

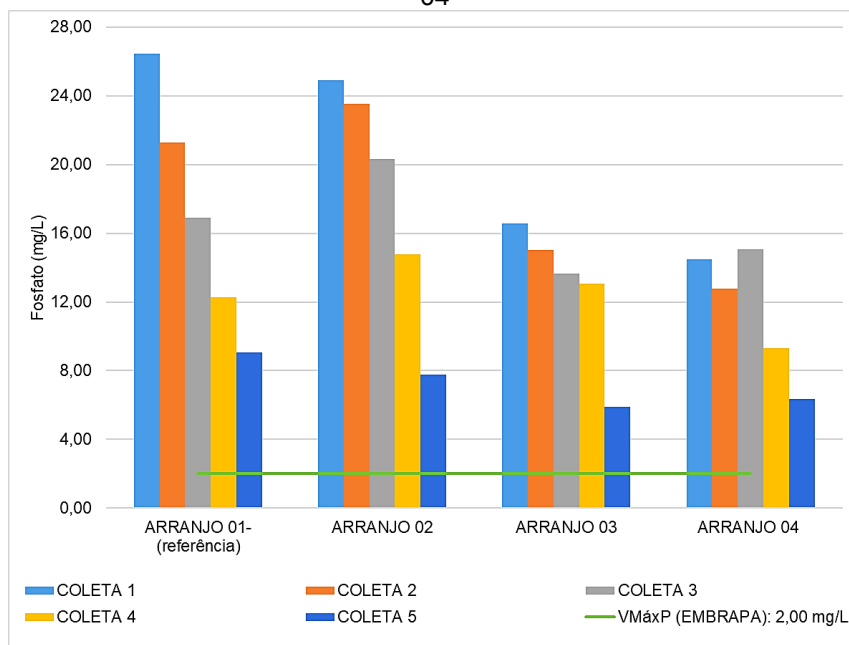
O valor máximo de nitrito entre todos os arranjos encontrado foi para o Arranjo 04 (solo comercial + caqueira de telha) com cerca de 0,2316 mg/L na coleta 1 e o valor mínimo foi 0,0125 mg/L para o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar) na coleta 5, foi possível perceber que a partir da coleta 3 de todas as amostras dos 4 arranjos mostraram-se decrescentes.

Com relação a ANOVA (Apêndice G), tanto a combinação para todos os arranjos cujo valor-p foi 0,41804 como também para as combinações individuais entre cada arranjo, demonstrou que as médias dos resultados são semelhantes significativamente.

5.2.3.9 Fosfato

Os quatro arranjos não apresentaram, em nenhuma das cinco coletas, valores dentro da faixa estipulada pela EMBRAPA (2010) de 2,0 mg/L para fosfato. Portanto, em conformidade com esse limite, a água coletada não poderia ser aplicada na irrigação. Os valores de fosfato para os quatro arranjos estão apresentados no gráfico da Figura 28.

Figura 28- Resultados de fosfato, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

No estudo de Vijayaraghavan *et al.* (2012), os valores de fosfato para todas as coletas se mantiveram abaixo da faixa de (42,8–66,0 mg/L), a quantidade de fosfato

foi atribuída a um evento simulado de chuva com água da torneira em um telhado verde instalado em Cingapura. Este sistema tinha pouco tempo de instalação, cerca de apenas 2 meses. Os altos valores obtidos com o uso dessa água destacaram a importância de verificar as propriedades do substrato a partir de água destilada. Dessa forma, pode-se atribuir que os valores adquiridos são resultados apenas da interação entre o substrato e a vegetação.

O valor máximo obtido de fosfato foi no Arranjo 01- (referência), em torno de 26,44 mg/L na coleta 1, já o valor mínimo foi no Arranjo 03 com 5,90 mg/L, sendo ele superior ao valor máximo de 5,5 mg/L encontrado por Scarassatti, Benatti e Moraes (2021), identificado com a formulação de substrato similar. Ainda, notou-se que a partir da coleta 4 os dados diminuíram em todos os arranjos, sendo os menores valores identificados para o Arranjo 04 (solo comercial + caqueira de telha).

As três diferentes composições de substratos (substrato normal cultivado (C), substrato leve (L) e substrato R – mistura de C e vidro reciclado) testados por Chen, Kang e Lin (2018) em Taiwan no Japão, cuja espessura foi fixada em 10 cm, demonstrou que o fósforo teve valores inicialmente elevados para todos os substratos e que houve uma diminuição desses valores com o passar do tempo, assim como ocorreu nesta pesquisa.

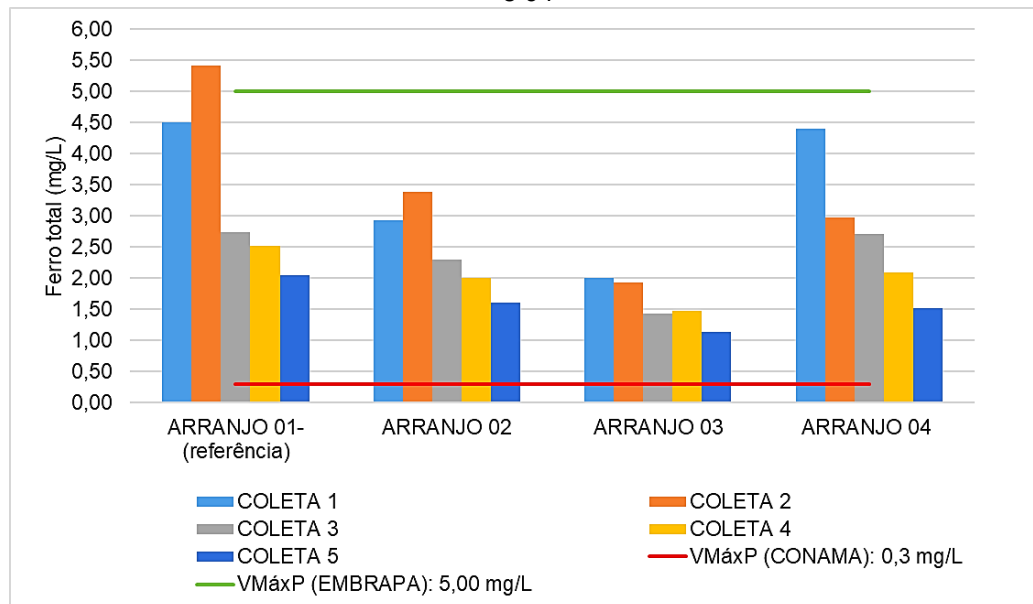
Os dados da ANOVA (Apêndice G) para esse padrão mostrou que as médias do conjunto de todos os arranjos foram semelhantes significativamente cujo valor-p foi de 0,21715, essa semelhança também aconteceu para todas as combinações individuais entre eles, no entanto com valor-p diferente para cada combinação.

5.2.3.10 *Ferro total*

As águas que percolaram nos quatro arranjos e foram recolhidas nas cinco coletas demonstraram que todos os valores para ferro total se mantiveram acima da faixa máxima estabelecida pelo CONAMA 357 (2005) de 0,3 mg/L. No entanto, ficaram abaixo do valor máximo de 5,0 mg/L da EMBRAPA (2010). Apenas o valor de 5,43 mg/L do Arranjo 01 – (referência) na coleta 2 ultrapassou esta última normativa, sendo também o máximo entre todos os outros resultados encontrados. Dessa forma, a água percolada por este arranjo só seria adequada para irrigação a partir da coleta 3, enquanto a proveniente dos outros arranjos poderia ser utilizada a partir da coleta 1.

Os dados das análises realizadas para ferro total com as amostras recolhidas dos quatro arranjos estão expostos no gráfico da Figura 29.

Figura 29- Resultados de ferro total, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

Os valores de ferro total resultante dos 4 sistemas quando comparados ao máximo obtido de 0,353 mg/L por Pessoa (2016) para sistemas de telhados verdes, mostrou que os números encontrados foram bastante superiores demonstrando que esses arranjos são fontes de ferro, para Von Sperling, (1995) isto é explicado pelo fato da passagem da água pelo solo.

Já no estudo de Klein (2017), ao avaliar a água percolada por uma cobertura verde contínua, foram encontrados valores mais elevados, sendo os piores resultados identificados entre os sistemas avaliados, com intervalo de 1,11 a 5,72 mg/L. Os valores desta pesquisa estão dentro da faixa encontrada por ele. Os valores de ferro total para sistemas vegetados identificados por Farias (2012) e Lima (2013) também foram inferiores a 6,5 mg/L, assim como nesta pesquisa.

Os valores das 5 amostras do Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar), foram as menores entre todos os outros arranjos e em todas as coletas realizadas, destacando-se entre elas ainda, o valor mínimo de 1,14 mg/L encontrado na coleta 5.

De maneira geral, os 4 arranjos apresentaram os maiores valores de ferro total nas coletas 1 e 2, havendo um decréscimo desses números a partir da terceira coleta. Na ANOVA (Apêndice G), o valor-p de 0,06177 para o conjunto dos 4 arranjos a média

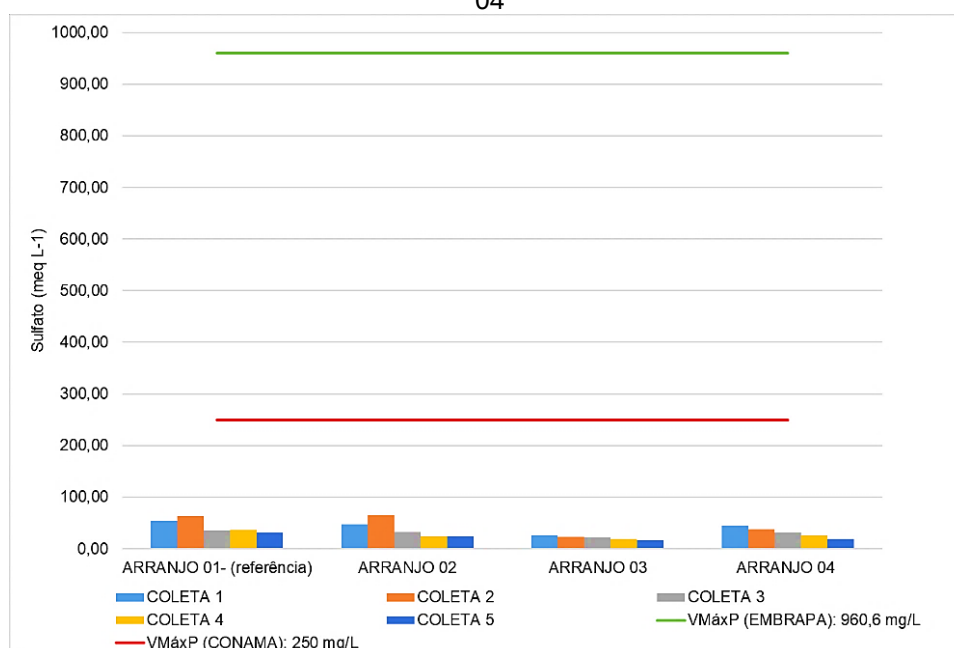
dos dados mostrou que eles foram semelhantes significativamente, no entanto, as combinações entre eles mostraram que AR1 e AR3 (valor-p= 0,02394) e AR2 e AR3 (valor-p= 0,04402) são diferentes significativamente.

5.2.3.11 Sulfato

Os valores de sulfato encontrados nos quatro arranjos demonstraram-se significativamente inferiores à faixa do valor máximo de 960,6 mg/L estabelecida pela EMBRAPA (2010), que limita o uso dessa água para irrigação. Dessa forma, os resultados obtidos por meio da água proveniente de todos os arranjos caracterizam esse fluido como adequado para tal finalidade. Além disso, os dados também estiveram em conformidade com o padrão do CONAMA 357 (2005), o qual estabelece um valor máximo permitido de 250 mg/L, possibilitando, portanto, que essa água seja despejada em rios.

Os maiores valores de sulfato para os quatro arranjos foram encontrados nas coletas 1 e 2, onde o valor máximo foi de 64,72 mg/L presente no Arranjo 02 (solo comercial + bagaço de coco verde) na coleta 2. Por outro lado, o valor mínimo de todos os números obtidos ocorreu na coleta 5 do Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar), cerca de 16,60 mg/L. Todos os valores de sulfato obtidos nas cinco coletas para os quatro arranjos estão apresentados no gráfico da Figura 30.

Figura 30- Resultados de sulfato, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

Os menores valores de sulfato foram encontrados no Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar), em mg/L, respectivamente, para as 5 coletas: 25,94, 23,21, 20,94, 19,53, 16,60. Por outro lado, os maiores valores foram observados no Arranjo 01 – (referência) (solo comercial), sendo 53,49 mg/L (coleta 1), 63,49 mg/L (coleta 2), 35,09 mg/L (coleta 3), 36,23 mg/L (coleta 4) e 30,47 mg/L (coleta 5).

Quanto à ANOVA (Apêndice G) aplicada ao conjunto de dados de todos os arranjos, mostrou que as médias são semelhantes significativamente, com um valor-p de 0,05743. No entanto, nas comparações entre eles, houve diferença significativa para AR1 e AR3, com um valor-p de 0,00848.

Os dados dos quatro arranjos foram muito superiores aos obtidos no estudo de Vacari (2015) pois, o valor máximo de sulfato para um telhado verde foi de 15 mg/L. No estudo de Pessoa (2016), os dados também são inferiores aos encontrados nos arranjos. Os números máximos identificados foram, respectivamente, 1,68 mg/L para o TV1 (telhado verde extensivo com a espécie vegetal *Sedum rupestre*) e 9,48 mg/L para o TV2 (telhado verde extensivo com as espécies vegetais *Plectranthus barbatus* e *Sedum dendroideum*).

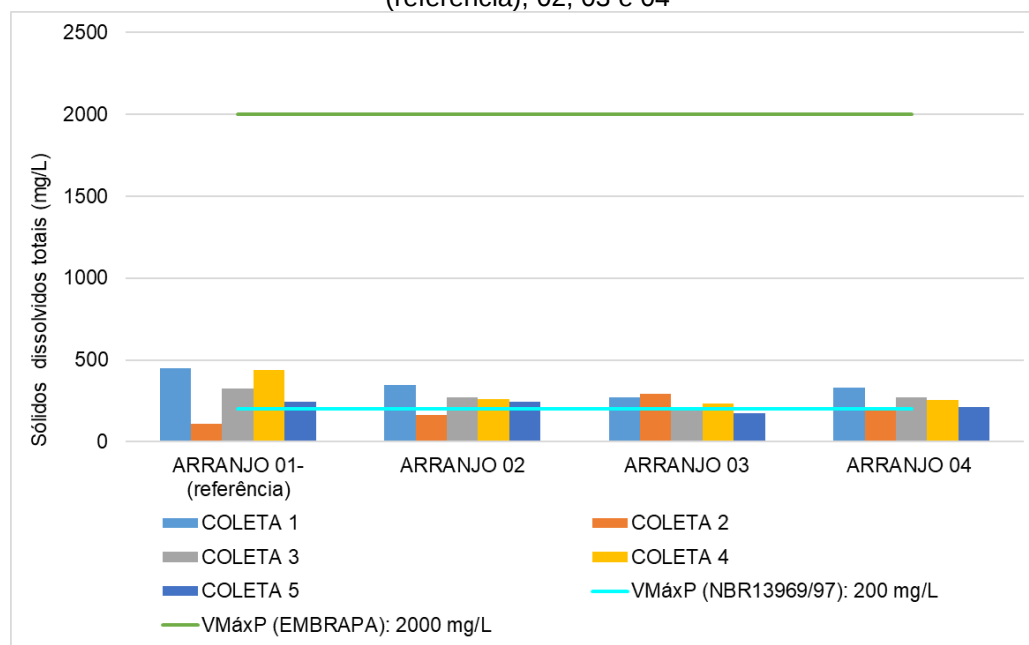
Em relação aos valores encontrados na pesquisa de Silva (2017), os resultados obtidos foram inferiores. O autor obteve um valor mínimo de 2685 mg/L de sulfato para um telhado com Coroa-de-Frade e 3050 mg/L para telhado verde com Babosa. Sendo menor que os encontrados no de Gomes (2019), em seu estudo, foram identificados valores de sulfato nos telhados vegetados acima de 100 mg/L.

5.2.3.12 Sólidos dissolvidos totais

O quantitativo dos sólidos dissolvidos totais encontrados nas cinco coletas para todos os arranjos analisados manteve-se dentro da faixa limite de 2000 mg/L da EMBRAPA (2010). Logo, desde a primeira coleta, a água recolhida de todos os arranjos poderia ser reutilizada. No entanto, apenas a água recolhida da coleta 2, escoada pelos Arranjos 01- (referência) (110 mg/L), 02 (162 mg/L) e 04 (197 mg/L), assim como a água proveniente do arranjo 3 nas coletas 3 e 5, cujos valores foram, respectivamente, 195 mg/L e 172 mg/L, poderiam ser utilizadas para a lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, conforme previsto pela NBR 13969 (1997), cujo limite máximo permitido para esse padrão é de 200 mg/L.

De maneira geral, pode ser observado que, a partir da coleta 4, o valor dos sólidos dissolvidos totais diminuiu para todos os arranjos. Os dados referentes a esse padrão podem ser visualizados no gráfico da Figura 31.

Figura 31- Resultados de sólidos dissolvidos totais, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

Os resultados obtidos nesta pesquisa diferiram dos encontrados por Lima (2013). O telhado controle apresentou números inferiores a 500 mg/L, e todos os valores identificados nas 5 coletas neste estudo foram inferiores a esse limiar. Os valores máximos para o Arranjo 01 – (referência) (449 mg/L), Arranjo 02 (348 mg/L), Arranjo 03 (295 mg/L) e para o Arranjo 04 (333 mg/L) verificados neste estudo foram inferiores aos obtidos como máximo por Farias (2012) para dois telhados vegetados, sendo 1198 mg/L para o telhado com grama-de-burro e 916 mg/L para o telhado com coroa-de-frade. Os valores das 5 coletas também foram inferiores aos encontrados por Silva (2017) para sistemas vegetados, em que o telhado verde com Babosa apresentou um valor de 1200 mg/L e o telhado verde com Coroa-de-Frade, 987 mg/L. Quanto aos valores mínimos dos 4 arranjos, eles foram superiores aos números mínimos encontrados no estudo de Pessoa (2016), onde, para TV1 (Solo de jardinagem + sedum rupestre) foi de 74,7 mg/L e o TV2 (solo de jardinagem + Plectranthus barbatus e a Sedum dendroideum), 86,7 mg/L.

Considerando a média entre os números obtidos durante as cinco coletas de cada arranjo, sendo elas: Arranjo 01 – (referência) (313,00 mg/L), Arranjo 02 (257,00

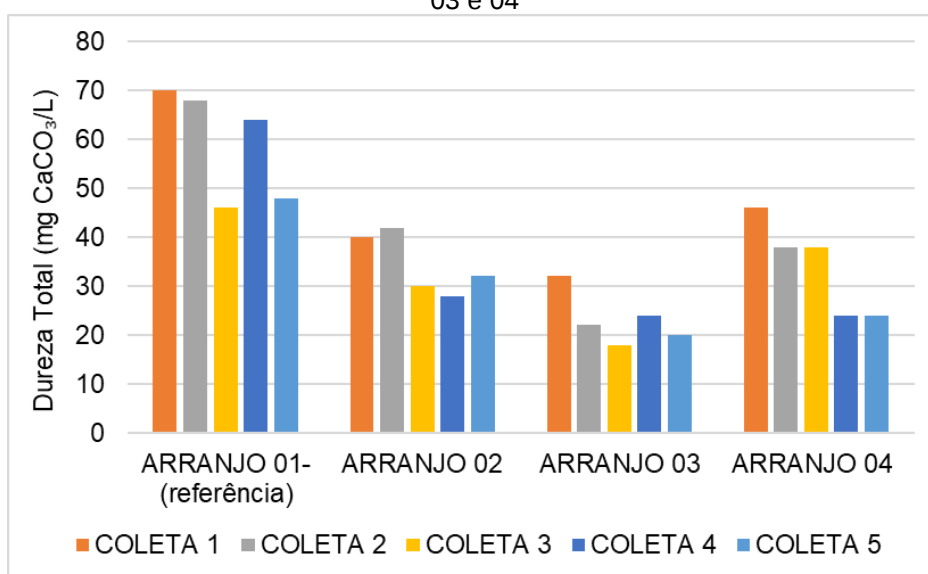
mg/L), Arranjo 03 (232,80 mg/L) e Arranjo 04 (253,60 mg/L), o arranjo que apresentou o menor valor de sólidos totais foi o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar). Na ANOVA (Apêndice G) aplicada a esses conjuntos de dados do parâmetro de sólidos dissolvidos totais, foi identificada semelhança significativa entre as médias de todos os arranjos, cujo valor-p foi de 0,51881, e nas combinações individuais entre eles também ocorreu tal semelhança, entre todas as combinações.

5.2.3.13 Dureza total e cálcio

Richter e Netto (1991) e Von Sperling (2014) classificam as águas quanto à dureza da seguinte forma: água mole tem dureza < 50 mg/L de CaCO_3 , a água de dureza moderada tem dureza entre 50 e 150 mg/L de CaCO_3 , a água dura tem dureza entre 150 e 300 mg/L de CaCO_3 , e a água muito dura possui valor de dureza > 300 mg/L de CaCO_3 .

Entre os problemas relacionados à dureza da água estão danos às tubulações, lavatórios, banheiras, entre outros. Além disso, a dureza da água pode comprometer a eficácia de produtos de limpeza, como sabão, devido à redução da formação de espuma causada pela interação com os íons presentes, resultando na formação de precipitados sólidos. Os valores obtidos para esse padrão nas 5 coletas para os 4 arranjos podem ser visualizados no gráfico da Figura 32.

Figura 32- Resultados de dureza total, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

Com base nos resultados obtidos, constatou-se que as águas percoladas pelos arranjos 2, 3 e 4 nas 5 coletas foram classificadas como água mole, conforme a classificação dos autores mencionados anteriormente. O Arranjo 01 – (referência) (solo comercial) foi o único entre os 4 arranjos que apresentou valores superiores a 50 mg/L de CaCO_3 , caracterizando as amostras coletadas a partir dele como de dureza moderada.

Na coleta 1 e 2 dos quatro arranjos, foram identificados os maiores valores de dureza total. Entre eles, o valor máximo encontrado nas cinco coletas foi para o arranjo 01 – (referência) (solo comercial), consistindo no valor de 70 mg/L de CaCO_3 . O valor mínimo foi de 18 mg/L de CaCO_3 para o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar), sendo ele o arranjo que teve o menor grau de dureza entre os quatro arranjos elaborados.

Na ANOVA (Apêndice G) o conjunto dos dados de dureza total para os 4 arranjos apresentou que as médias foram diferentes significativamente, em que o valor-p foi de 0,00005, já nas combinações individuais, apenas AR2 com AR4 e AR3 com AR4, foram semelhantes significativamente com valores-p de 0,94004 e 0,06127, respectivamente.

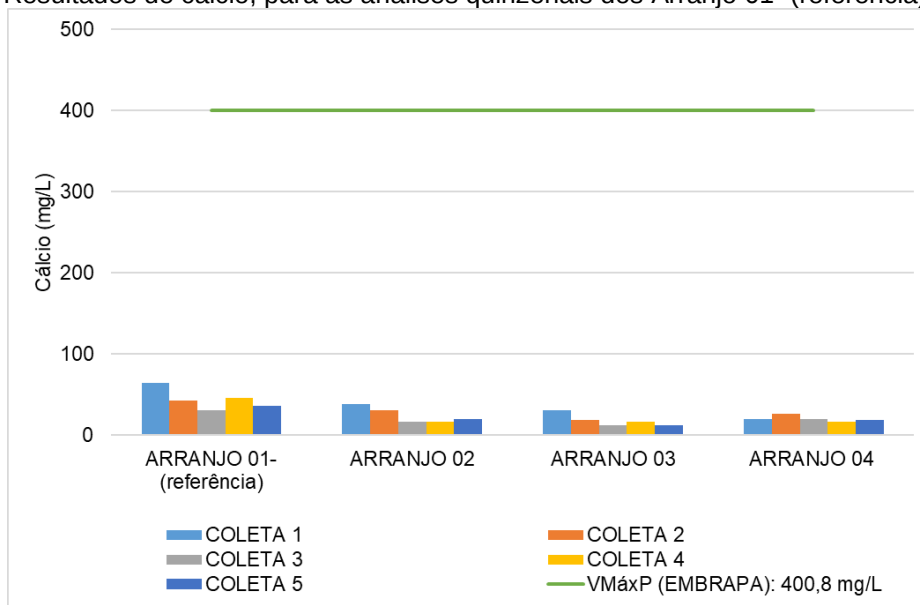
Os resultados de dureza total foram inferiores a 71 mg/L para todos os arranjos nas cinco coletas. Quando comparados ao estudo de Lima (2013), esses valores ficaram mais próximos dos encontrados para o telhado controle, com o máximo de 68,83 mg/L e o mínimo de 12,15 mg/L, do que para os telhados vegetados por esse autor, com o valor mínimo para o telhado com Coroa de Frade sendo 93,12 mg/L e para o telhado com Babosa 91,09 mg/L.

Na análise realizada por Farias (2012), o valor mínimo de dureza total para os dois sistemas vegetados foi, respectivamente, 59,4 mg/L (telhado com Coroa de Frade) e 61,22 mg/L (telhado com Grama-de-Burro). Nota-se que o valor máximo de dureza desta pesquisa foi superior aos valores mínimos dos dois sistemas em até 10,6 mg/L. No entanto, notou-se também que o valor máximo para as cinco coletas ficou mais próximo a esses mínimos, constatando-se que a montagem desse sistema ao longo das irrigações apresentou uma qualidade de água com um menor grau de dureza quando comparado a todos os dados de dureza total demonstrados por essa autora.

Já com relação aos valores de cálcio encontrados nas cinco coletas de todos os arranjos, eles foram bastante inferiores à faixa do limite máximo estipulado pela

EMBRAPA (2010) de 400,8 mg/L. Sendo assim, desde a primeira coleta, a água que percolou poderia ser utilizada na irrigação. Os maiores valores para esse parâmetro foram identificados nas duas coletas iniciais de cada arranjo, como mostra a Figura 33.

Figura 33- Resultados de cálcio, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

Entre os quatro arranjos, o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar) apresentou os menores valores de cálcio em mg/L nas cinco coletas, sendo eles, respectivamente, 30, 18, 12, 16 e 12. Os maiores valores em mg/L foram do Arranjo 01 – (referência) (solo comercial), na ordem das coletas 1, 2, 3, 4 e 5, sendo eles 64, 42, 30, 46 e 36. Entre esses valores mencionados está o valor mínimo coletado de 12 mg/L, identificado na coleta 5 do Arranjo 03, e o valor máximo recolhido foi de 64 mg/L, na coleta 1 do Arranjo 01 – (referência).

Os valores de cálcio desta pesquisa, quando relacionados aos obtidos nos estudos de Gomes (2019) e Silva (2017), foram superiores. Na primeira pesquisa, eles foram inferiores a 30 mg/L, o que ocorreu apenas no Arranjo 03 e 04 em todas as coletas deste estudo. Já no de Silva (2017), o valor máximo de cálcio averiguado para o telhado vegetado foi de 14,8 mg/L, encontrado no sistema em que havia a vegetação Babosa. Comparando com este resultado, apenas o Arranjo 03 apresentou um valor menor que 12 mg/L, nas coletas 3 e 5.

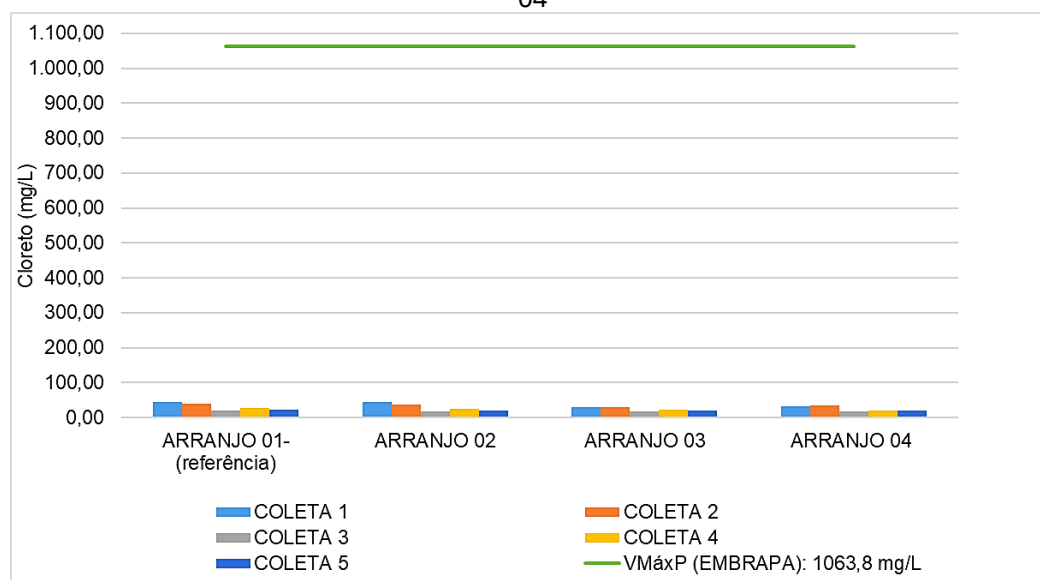
Com relação à ANOVA (Apêndice G), houve diferença significativa para o conjunto dos dados de cálcio das cinco coletas de todos os arranjos, sendo o valor-p

igual a 0,00132. Já entre as combinações individuais realizadas, apenas AR2 e AR3, AR2 e AR4 e AR3 e AR4, com valores-p respectivamente de 0,27447, 0,41447 e 0,53575, mostraram semelhança significativa.

5.2.3.14 Cloreto

Para o parâmetro de cloreto, a partir das análises realizadas através das cinco coletas quinzenais, pode-se constatar que todos os arranjos apresentaram valores inferiores à faixa da EMBRAPA (2010) de 1063,8 mg/L, atribuindo assim a possibilidade do reuso dessa água proveniente dos quatro arranjos para aplicação em irrigação. Os valores máximos de cloreto para cada arranjo foram identificados na coleta 1 e 2. Esses dados obtidos podem ser vistos no gráfico da Figura 34.

Figura 34- Resultados de cloreto, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

Entre os quatro arranjos, os menores valores de cloreto em mg/L foram encontrados no arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar), sendo respectivamente, nas cinco coletas, 30,99, 29,99, 16,49, 21,49, 18,99. Os maiores valores em mg/L foram para o Arranjo 01 – (referência) (solo comercial), com 45,49, 40,49, 18,99, 28,49 e 23,49, para cada coleta realizada. Entre esses valores, está o mínimo e o máximo para o padrão de cloreto analisado, sendo o primeiro para o arranjo 3, com 30,99 mg/L, e o segundo para o arranjo 01 – (referência), cujo valor foi de 45,49 mg/L de cloreto.

Quanto ao resultado da ANOVA (Apêndice G) aplicada a esses dados, tanto para o conjunto com todos os valores dos quatro arranjos (valor- $p=0,59925$), como para as combinações individuais entre cada sistema, demonstrou que as médias dos arranjos foram semelhantes significativamente.

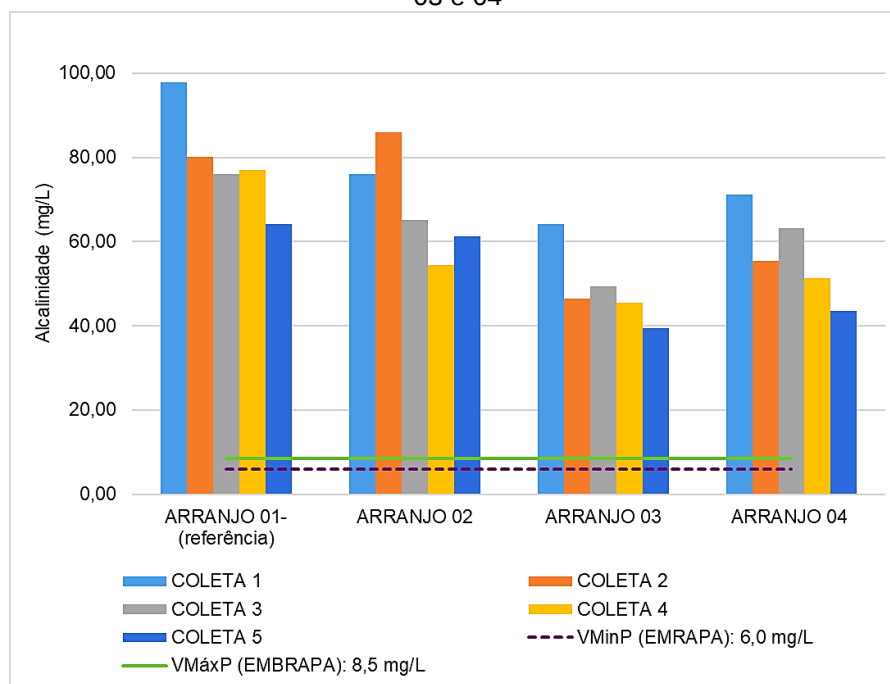
Os valores de cloreto encontrados neste estudo foram muito inferiores ao valor mínimo entre dois telhados vegetados desenvolvidos por Silva (2017), em que o telhado verde com Babosa apresentou o valor mínimo de 456,2 mg/L. No estudo de Lima (2013), os valores para os telhados vegetados ficaram dentro da faixa de 4,73 - 162,47 mg/L, e os obtidos nesta pesquisa se enquadram dentro dessa faixa. Os resultados de Farias (2012) para esse tipo de sistema estiveram dentro da faixa de 5,3 - 32,87 mg/L; neste caso, os valores das coletas 1 e 2 dos arranjos 01- (referência), 02 e 04 foram superiores a este intervalo. Gomes (2019) apresentou valores superiores à faixa de 40 mg/L e inferiores a 80 mg/L, demonstrando que as amostras se enquadraram dentro do permitido pela EMBRAPA (2010), assim como ocorreu nas análises deste estudo. O valor máximo de 45,49 mg/L entre todas as cinco coletas dos quatro arranjos ficou inferior à faixa de 1063,9 mg/L, constatando-se dessa forma que, apesar das variações nos substratos, todos os valores obtidos ficaram dentro do previsto pela normativa.

5.2.3.15 Alcalinidade

Os valores de alcalinidade encontrados nas cinco coletas dos quatro arranjos foram superiores aos limites mínimos de 6,0 mg/L e máximos de 8,5 mg/L estabelecidos pela EMBRAPA (2010). Dessa forma, as águas dos arranjos não poderiam ser aplicadas para a irrigação na agricultura. Todos os valores obtidos estão representados no gráfico da Figura 35.

Foi possível observar que os maiores valores de alcalinidade total para o Arranjo 01 – (referência) e o Arranjo 02 ocorreram nas coletas 1 e 2, enquanto nos arranjos 3 e 4 esses valores foram encontrados nas coletas 1 e 3. O valor máximo de alcalinidade total foi encontrado no Arranjo 01 – (referência) (solo comercial) com cerca de 97,81 mg/L na coleta 1, e o valor mínimo de 45,45 mg/L foi no Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar) na coleta 5.

Figura 35- Resultados de alcalinidade, para as análises quinzenais dos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04



Fonte: Autora (2024).

Entre os quatro, o Arranjo 03 se destacou por apresentar os menores valores em todas as coletas para este padrão. Farias (2012) e Lima (2013) observaram valores de alcalinidade em telhados vegetados. A primeira autora obteve valores dentro do intervalo de 5,01-150,84 mg/L, e a segunda, 4,0 - 189,85 mg/L. As cinco coletas desta pesquisa ficaram dentro do intervalo dos dois estudos, embora tais valores não estejam adequados conforme os limites da EMBRAPA (2010).

As médias demonstradas pela ANOVA (Apêndice G) mostraram que os conjuntos dos dados com todos os arranjos são diferentes significativamente entre si, com valor-p igual a 0,00338. No entanto, as combinações individuais entre eles apresentaram que AR1 e AR2, AR2 e AR4, e AR3 e AR4, cujos valores-p foram, respectivamente, 0,21534, 0,15161 e 0,24588, possuem médias que são semelhantes significativamente.

Analisando todos os parâmetros investigados nos Arranjos 01 – (referência), 02, 03 e 04 a partir das cinco coletas quinzenais, é possível destacar que a montagem do Arranjo 03, cujo substrato foi composto por solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar, apresentou a maior quantidade de parâmetros com os menores valores médios entre os resultados apresentados. O valor médio desse arranjo foi superior apenas para o pH (7,18) entre os 17 parâmetros analisados.

Os parâmetros e seus respectivos valores, cujos resultados foram os menores no Arranjo 03, foram: turbidez (13,56 uT), cor aparente (978 mg/L Pt-Co), cor verdadeira (854 mg/L Pt-Co), condutividade elétrica (0,2398 dS/m), amônia (2,74 mg/L), fósforo (8,47 mg/L), nitrato (6,03 mg/L), nitrito (0,042 mg/L), ferro total (1,59 mg/L), sulfato (21,24 mg/L), sólidos dissolvidos totais (232,8 mg/L), dureza total (23,2 mg/L), cálcio (17,6 mg/L), cloreto (23,59 mg/L) e alcalinidade (49 mg CaCO₃/L).

Dessa maneira, foi possível constatar que a formulação do Arranjo 03 teve um impacto mais positivo entre todos os sistemas durante as cinco coletas para a qualidade da água. Ele respeitou uma maior quantidade de parâmetros desde a primeira coleta, como o pH, turbidez, nitrito e sulfato, conforme os limites estabelecidos pelo CONAMA 357 (2005). Além disso, atendeu aos limites de pH, condutividade elétrica, amônia, ferro total, sulfato, sólidos dissolvidos totais, cloreto e cálcio, de acordo com a EMBRAPA (2010), e o limite de pH, segundo a NBR 15527 (2019) e NBR 13.969 (1997).

No Arranjo 01 – (referência), foram constatados os maiores valores médios entre as cinco coletas para 14 parâmetros, cujos resultados foram: pH (7,37), turbidez (52,5 uT), cor aparente (2061,8 mg/L Pt-Co), cor verdadeira (1578 mg/L Pt-Co), condutividade elétrica (0,3398 dS/m), amônia (4,71 mg/L), fósforo (14,53 mg/L), ferro total (3,44 mg/L), sulfato (43,75), sólidos dissolvidos totais (313 mg/L), dureza total (59,2 mg/L), cálcio (43,6), cloreto (31,39 mg/L) e alcalinidade (79,04 mg/L).

O Arranjo 02 apresentou o maior valor médio para fosfato, sendo ele 18,26 mg/L, e o Arranjo 04 para nitrato, com 6,96 mg/L, e para nitrito, 0,0939 mg/L. Este arranjo respeitou os limites da normativa do CONAMA 357 (2005) para os padrões de pH e sulfato, quanto à EMBRAPA (2010) para o pH, condutividade elétrica, nitrato, sulfato, sólidos dissolvidos totais, cloreto e cálcio, e quanto à NBR 15527 (2019) e NBR 13/969 (1997), os valores se mantiveram dentro da faixa apenas para o padrão de pH.

Observando os resultados das cinco coletas, foi possível constatar que os Arranjos 02 e 04 apresentaram valores que se enquadraram dentro de uma menor quantidade de parâmetros investigados. Com relação às quatro normativas, observou-se que o pH foi adequado para todas. Houve também a adequação dos valores de sulfato conforme o CONAMA 357 (2005) e a EMBRAPA (2010). No entanto, a condutividade, o ferro total, os sólidos dissolvidos totais, o cloreto e o cálcio tiveram valores dentro do permitido apenas segundo a EMBRAPA (2010). Sendo assim, esses

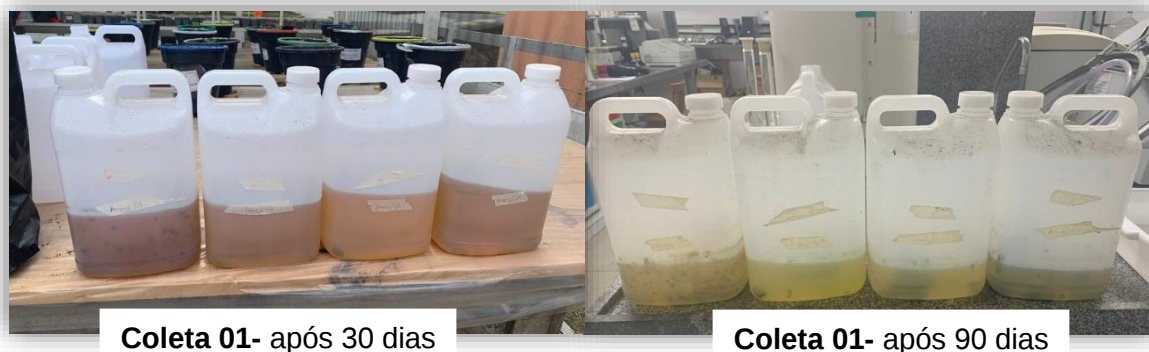
dois sistemas, a partir da sua configuração, demonstraram-se como os menos favoráveis para aplicações quanto ao reaproveitamento de água para fins específicos.

5.2.4 Análise da qualidade da água armazenada por 30 dias e 90 dias

As amostras da coleta 1 foram armazenadas por 30 e 90 dias e analisadas quanto a pH, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, condutividade, amônia, fósforo, nitrato, fosfato, ferro total, sulfato, sólidos totais, dureza total, cálcio, cloreto e alcalinidade.

Esta amostra foi coletada no dia 29/11/2022 e armazenada à temperatura ambiente dentro de uma garrafa PET de 5 litros, fechada sob a estrutura do telhado ecológico. No Apêndice H, é possível visualizar quais dados se adequaram às normativas e o armazenamento das coletas após esse período pode ser visto na Figura 36. Os valores encontrados para cada parâmetro analisado podem ser vistos nos Tabela 11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21, 22, 23, 24, 25, 26 e 27:

Figura 36- Águas escoadas nos Arranjo 01- (referência), 02, 03 e 04 após a 30 dias e 90 dias de armazenamento



Fonte: Autora (2024).

➤ pH

Os valores de pH nas duas análises de 30 e 90 dias foram superiores à faixa mínima e máxima permitida pelas normativas analisadas: CONAMA 357 (2005), EMBRAPA (2010), NBR 15527 (2019) e NBR 13.969 (1997). Observa-se que esses valores aumentaram em todos os arranjos após os 90 dias de armazenamento, não possibilitando, assim, o uso imediato da água quando armazenada. O valor máximo de pH para a análise das amostras após 30 dias foi para o Arranjo 01- (referência), composto apenas pelo solo comercial, enquanto o valor mínimo foi para o Arranjo 02 (solo comercial + bagaço de coco verde), sendo eles, respectivamente, 9,73 e 9,59.

No caso da análise após os 90 dias, o valor máximo foi identificado no Arranjo 02, que apresentou um pH de 9,98, e o mínimo foi para o Arranjo 04 (solo comercial + resíduo de telha cerâmica) com 9,83. Apesar do pH ter aumentado ao longo das duas análises, o arranjo que teve um menor acréscimo para esse parâmetro foi o Arranjo 01- (referência) (solo comercial), com cerca de 0,11. Por outro lado, o arranjo que teve um aumento mais significativo foi o Arranjo 02 (solo comercial + bagaço de coco), no qual foi acrescido cerca de 0,39. Os resultados de pH encontrados para os dois períodos de armazenamento podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10- Resultados de pH das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

pH					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	6,94	6,78	7,08	6,89	6,92
30	9,73	9,59	9,66	9,67	9,66
90	9,84	9,98	9,88	9,83	9,88

Fonte: Autora (2024).

➤ Turbidez

No caso da turbidez, todos os valores encontrados nas análises dos 30 dias e 90 dias após o armazenamento se enquadraram nas faixas previstas pelo CONAMA 357 (2005), de ≤ 40 uT e ≤ 100 uT. Gerando a possibilidade do despejo em corpos hídricos. Tais valores podem ser visualizados na Tabela 11.

Tabela 11- Resultados de turbidez das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

TURBIDEZ (uT)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	76,50	32,40	16,60	75,50	50,25
30	11,90	18,20	6,79	16,80	13,42
90	1,74	2,26	8,12	2,67	3,70

Fonte: Autora (2024).

Para o padrão de turbidez, o arranjo que melhor se enquadrou nas normativas, apresentando o valor mínimo após os 30 dias, foi o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar) com cerca de 6,79 uT, e nos 90 dias foi o arranjo 1- referência (solo comercial) com 1,74 uT. Já os valores máximos nos 30 dias e 90 dias foram, respectivamente, para o arranjo 2 com 18,20 uT e o Arranjo 03 com 8,12 uT.

Entretanto, foi constatado no arranjo 4 o valor de 2,67 na análise dos 30 dias, o qual respeitou o valor limite, sendo inferior a 5 uT previsto na NBR 15527 (2019), e o Arranjo 03 apresentou resultado inferior ao valor de 10 uT da NBR 13.969 (1997), com cerca de 6,79 uT. Neste caso, a água do Arranjo 04 armazenada por 30 dias poderia ser reutilizada considerando apenas este parâmetro, mas se considerar o valor encontrado para o pH não seria possível. A água do Arranjo 03 serviria apenas para o reuso nas descargas dos vasos sanitários, comparando com as amostras dos 30 dias e 90 dias. O Arranjo 02 foi o que mais reduziu a quantidade de turbidez, com cerca de 15,94 uT a menos entre as análises dos 4 arranjos, e o que menos reduziu esse valor foi o Arranjo 03, com uma redução de 1,33 uT.

➤ Cor

Na cor aparente, foi constatada uma redução quando se compararam os valores de 90 dias em relação aos encontrados na análise dos 30 dias para os Arranjos 01, 02 e 04, com valores menores de cerca de 55,55%, 63,55% e 48,75%, respectivamente. O Arranjo 03, neste caso, reduziu apenas 26,18% desse valor. No entanto, foi o que apresentou o valor mínimo encontrado para a análise de 30 dias, sendo ele 863 mg/L Pt-Co, enquanto o valor máximo para esse período foi para o arranjo 1-referência, com cerca de 1242 mg/L Pt-Co. No caso da amostra dos 90 dias, o valor mínimo foi de 429 mg/L Pt-Co, averiguado no Arranjo 02, e o valor máximo foi de 637 mg/L Pt-Co para o Arranjo 03. Comparando os 4 arranjos, a maior redução foi identificada no Arranjo 02, cujo substrato foi composto por solo comercial + bagaço de coco verde, e a menor redução foi no Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar). Os resultados obtidos para as duas análises estão a Tabela 12.

Tabela 12- Resultados de cor aparente das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

COR APARENTE (mg/L Pt-Co)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	2628	1870	1245	2090	1958
30	1242	1177	863	1001	1071
90	552	429	637	513	533

Fonte: Autora (2024).

No caso da cor verdadeira, todos os valores encontrados nas análises de 30 e 90 dias foram maiores do que a faixa do CONAMA 357 (2005) de < 75 uT, que limita o despejo dessa água em rios. Tais dados podem ser vistos na Tabela 13.

Tabela 13- Resultados de cor verdadeira das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

COR VERDADEIRA (mg/L Pt-Co)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	1844	1421	1091	1486	1461
30	1165	952	648	937	926
90	508	376	399	444	432

Fonte: Autora (2024).

Entre esses dois períodos, as maiores concentrações de todos os arranjos estão na análise dos 30 dias, em que o valor máximo foi de 1165 mg/L Pt-Co identificado no Arranjo 01- (referência), e o valor mínimo para esse período foi de 648 mg/L Pt-Co encontrado no Arranjo 03.

Os resultados para os 90 dias tiveram valores mínimos e máximos, respectivamente, de 376 mg/L Pt-Co presente no Arranjo 02 e 508 mg/L Pt-Co no Arranjo 01- (referência). Analisando os 4 arranjos, o que apresentou um melhor resultado de cor verdadeira durante esse período de armazenamento total foi o Arranjo 02, assim como na cor aparente. Nele, houve uma redução de 60,5% comparando os valores obtidos nas duas análises, e o pior resultado foi para o Arranjo 03 com uma redução de 38,43%.

➤ Condutividade elétrica

Para a condutividade, o limite da EMBRAPA (2010) estipula 3 dS/m. Os valores obtidos nas análises aplicadas na amostra armazenada após os 30 dias e 90 dias apresentaram resultados dentro dessa faixa, possibilitando então o uso dessa água na irrigação. Em todos os arranjos, o valor desse parâmetro aumentou após os 90 dias. Os números obtidos estão na Tabela 14.

Tabela 14- Resultados de condutividade elétrica das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (dS/m)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	0,785	0,72	0,688	0,697	0,722
30	0,325	0,032	0,200	0,245	0,200
90	0,328	0,358	0,233	0,275	0,299

Fonte: Autora (2024).

O valor mínimo de condutividade elétrica entre os 4 arranjos na análise da coleta armazenada durante os 30 dias foi para o Arranjo 03, com aproximadamente 0,2

dS/m. Já o valor máximo foi de 0,325 dS/m para o Arranjo 01- (referência). Os valores encontrados na análise após os 90 dias de armazenamento foram um mínimo de 0,233 dS/m para o Arranjo 03 e um máximo de 0,358 dS/m para o Arranjo 02. Entre os 4 arranjos, o que teve o menos aumentou durante esse período foi o Arranjo 01- (referência) (0,003 dS/m), ocorrendo o contrário no Arranjo 02 (0,326 dS/m).

➤ Amônia

Os valores de amônia descritos na Tabela 15 para a análise dos 30 dias foram maiores do que os identificados nos 90 dias. Em ambas as situações, os valores ficaram dentro do limite previsto pela EMBRAPA (2010), ou seja, ≤ 5 mg/L. Percebeu-se ainda que houve uma redução desse valor para os 4 arranjos.

Tabela 15- Resultados de amônia das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

AMÔNIA (mg/L)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	5,49	6,27	2,98	6,50	5,31
30	1,67	2,49	1,41	2,04	1,90
90	0,66	0,58	1,18	0,58	0,75

Fonte: Autora (2024).

O valor máximo encontrado na análise dos 30 dias foi para o Arranjo 02, com cerca de 2,49 mg/L, e o valor mínimo foi para o Arranjo 03, com 1,41 mg/L. Na análise dos 90 dias, o valor mínimo entre todos os arranjos foi para os Arranjos 02 e 04, com um valor de 0,58 mg/L, enquanto o máximo foi identificado no Arranjo 03, sendo 1,18 mg/L.

Dessa forma, foi possível observar que o Arranjo 03 reduziu em pouca quantidade o valor da amônia após os 90 dias de armazenamento, quando comparado com os outros 3 sistemas. Entre os 4 arranjos, o Arranjo 02 teve o maior valor reduzido entre os 30 e 90 dias, com cerca de 1,91 mg/L a menos, enquanto o Arranjo 03 reduziu apenas 0,23 mg/L.

➤ Fósforo

Os dados das amostras dos 30 dias e dos 90 dias apresentaram resultados acima da faixa limite do CONAMA 357 (2005) e da EMBRAPA (2010), em que os valores máximos para as normativas são de, respectivamente, $\leq 0,124$ e ≤ 2 . Notou-se que para este parâmetro os valores reduziram na análise dos 90 dias; entretanto,

não se enquadraram em nenhum dos limites, não possibilitando, dessa forma, o reuso dessa água.

O valor máximo encontrado para fósforo na análise dos 30 dias foi para o Arranjo 02, com cerca de 11,79 mg/L, e o valor mínimo foi de 8,16 mg/L para o Arranjo 03. Já os resultados dos 90 dias, o mínimo e o máximo identificado para esse parâmetro foram, respectivamente, 5,41 mg/L para o Arranjo 04 e 6,99 mg/L para o Arranjo 03. Dessa maneira, comparando os 4 arranjos, constatou-se que este último foi o sistema em que menos houve a redução do fósforo durante esse período em que a água passou armazenada, com cerca de 1,17 mg/L a menos quando comparado aos resultados obtidos entre os 30 dias e 90 dias, enquanto o que mais houve redução foi o Arranjo 01- (referência), com cerca de 5,45 mg/L entre esse tempo. Os dados de fósforo estão descritos na Tabela 16.

Tabela 16- Resultados de fósforo das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

FÓSFORO (mg/L)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	18,61	15,74	11,16	19,75	16,31
30	11,02	11,79	8,16	8,53	9,88
90	5,57	6,65	6,99	5,41	6,16

Fonte: Autora (2024).

➤ Nitrato

O padrão de Nitrato previsto pelo CONAMA 357 (2005) e pela EMBRAPA (2010), cujos valores permitidos são, respectivamente, $\leq 0,40$ mg/L e ≤ 10 mg/L, foi avaliado nas amostras dos 30 e 90 dias. Notou-se que houve conformidade apenas com o padrão da EMBRAPA (2010), implicando no uso dessa água apenas para a irrigação. Os valores obtidos estão expostos na Tabela 17.

Tabela 17- Resultados de nitrato das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

NITRATO (mg/L)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	7,67	4,86	5,20	5,95	5,92
30	3,96	3,36	3,94	3,17	3,60
90	3,38	1,94	5,78	3,70	3,70

Fonte: Autora (2024).

Com o armazenamento da coleta 1 e após as análises dos 30 e 90 dias, foi possível observar que nesse tempo em que a água passou armazenada houve uma diminuição de valores para o arranjo 1 de 0,58 mg/L e para o Arranjo 02 de 1,42 mg/L. Já nos Arranjos 03 e 04, constatou-se que os valores foram acrescidos nesse período, cerca de 1,84 mg/L e 0,53 mg/L, respectivamente.

O valor máximo de nitrato para os 30 dias foi de 3,96 mg/L, identificado no Arranjo 01- (referência), e o mínimo foi para o Arranjo 04, cujo valor foi de 3,17 mg/L. Na análise após os 90 dias, o valor mínimo foi de 1,94 mg/L para o Arranjo 02 e o valor máximo de 5,78 mg/L para o Arranjo 03. Dos 4 arranjos, o Arranjo 02 (solo comercial + bagaço de coco verde) foi o que mais diminuiu no parâmetro de nitrato ao longo dos 90 dias, reduzindo cerca de 1,42 mg/L, e o que mais aumentou foi o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar), com acréscimo de 1,84 mg/L.

➤ Fósforo

O fósforo possui padrões previstos pela normativa da EMBRAPA (2010), cujo valor limite é de até 2 mg/L. Nenhum resultado após as análises das amostras mostrou-se adequado para esse padrão.

Os valores de fósforo encontrado em cada arranjo podem ser visualizados na Tabela 18.

Tabela 18- Resultados de fósforo das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

FOSFATO (mg/L)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	26,44	24,92	16,57	14,48	20,60
30	18,88	19,82	16,07	13,60	17,09
90	7,90	9,55	12,66	9,15	9,81

Fonte: Autora (2024).

Os valores de fósforo encontrados na análise com água dos 30 dias variaram entre um mínimo de 13,60 mg/L para o Arranjo 04 e um máximo de 19,82 mg/L para o Arranjo 02. Na análise da amostra armazenada durante os 90 dias, o valor máximo foi identificado no Arranjo 03, com cerca de 12,66 mg/L, enquanto o valor mínimo foi para o Arranjo 01- (referência), equivalente a 7,90 mg/L. Nos quatro sistemas, foi identificada uma redução nos níveis de fósforo após os 90 dias de armazenamento. Entre eles, o Arranjo 01- (referência) (solo comercial) apresentou a maior redução,

diminuindo cerca de 10,98 mg/L, enquanto o Arranjo 03 (solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar) teve a menor redução, com apenas 3,41 mg/L.

➤ Ferro total

Das normativas investigadas neste estudo, apenas duas atribuem limites ao ferro total: o CONAMA 357 (2005) e a EMBRAPA (2010). Para essas normativas, os valores máximos permitidos são, respectivamente, até 0,3 mg/L e até 5,0 mg/L. Esses valores determinam a possibilidade de destinação dessa água para a irrigação. No entanto, os valores encontrados nas amostras armazenadas de todos os arranjos foram superiores à faixa estabelecida pelo CONAMA 357 (2005), mas se enquadraram na faixa da EMBRAPA (2010), possibilitando assim a aplicação dessa água apenas para a irrigação.

De maneira geral, houve uma redução na quantidade de ferro total presente nas amostras dos quatro arranjos após os 90 dias. Entre eles, o Arranjo 02 destacou-se por apresentar a maior redução, com cerca de 1,71 mg/L a menos em relação ao valor verificado na análise dos 30 dias. Por outro lado, para o Arranjo 03, ocorreu o oposto, com uma redução mínima de apenas 0,08 mg/L, sendo este o arranjo que menos reduziu nesse período.

O valor mínimo de ferro total averiguado na análise dos 30 dias foi para o Arranjo 03, com cerca de 1,38 mg/L, enquanto o valor máximo foi para os Arranjos 02 e 04, ambos com 2,30 mg/L. Já nos resultados após os 90 dias de armazenamento, foi possível identificar que o valor mínimo foi de 0,59 mg/L para o Arranjo 02, e o valor máximo foi de 1,94 mg/L encontrado na amostra do Arranjo 04. Esses valores estão detalhados na Tabela 19.

Tabela 19- Resultados de ferro total das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

FERRO TOTAL (mg/L)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	4,50	2,93	2,00	4,41	3,46
30	1,93	2,30	1,38	2,30	1,98
90	0,68	0,59	1,30	1,94	1,13

Fonte: Autora (2024).

➤ Sulfato

Os valores de sulfato encontrados nas amostras estão expostos na Tabela 20. Nas análises dos 30 e 90 dias, foram averiguados valores dentro da faixa limite do CONAMA 357 (2005) e da EMBRAPA (2010), pois os dados ficaram inferiores a 250 mg/L e 960,6 mg/L. Observou-se uma redução nos valores após os 90 dias de armazenamento, sendo que a maior redução foi para o Arranjo 02, com cerca de 13,59 mg/L a menos em comparação com o resultado verificado na análise dos 30 dias. Por outro lado, a redução mínima ocorreu no Arranjo 04, onde houve uma diminuição de apenas 7,27 mg/L.

Tabela 20- Resultados de sulfato das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

SULFATO (mg/L)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	53,49	47,08	25,94	44,62	42,78
30	23,30	22,55	23,58	17,55	21,74
90	11,79	8,96	14,72	10,28	11,44

Fonte: Autora (2024).

Os valores mínimos e máximos de redução na análise após os 30 dias de armazenamento entre os 4 arranjos foram observados no Arranjo 04 e no Arranjo 03. No caso do valor mínimo, foi identificado no Arranjo 04, com cerca de 17,55 mg/L, enquanto o Arranjo 03 apresentou o maior valor entre os arranjos, com cerca de 23,58 mg/L. Na análise após os 90 dias, esses valores mínimos e máximos foram averiguados respectivamente no Arranjo 02, com cerca de 8,96 mg/L, e no Arranjo 03, com 14,72 mg/L.

➤ **Sólidos dissolvidos totais**

Os resultados das análises após 30 dias e 90 dias mostraram que todos os valores dos sistemas ficaram dentro do valor limite da EMBRAPA (2010), ou seja, abaixo de 2000 mg/L. No entanto, eles ficaram acima do valor de 200 mg/L estabelecido pela NBR 13.969 (1997), indicando que o uso dessas amostras só seria adequado para a irrigação.

Em todos os 4 arranjos, houve uma redução nos valores desse parâmetro, com destaque para o Arranjo 03, que apresentou uma diminuição de cerca de 32 mg/L entre os períodos de armazenamento. O Arranjo 02 foi o que teve a menor redução entre os arranjos, correspondendo a cerca de 5 mg/L a menos de sólidos totais.

Quanto às amostras após os 30 dias, o valor mínimo foi identificado no Arranjo 03, sendo 253 mg/L, enquanto o valor máximo foi para o Arranjo 01- (referência), com cerca de 335 mg/L. Na análise dos 90 dias, o valor mínimo foi de 221 mg/L para o Arranjo 03, e o máximo foi para o Arranjo 01- (referência), com 310 mg/L. Os valores de sólidos dissolvidos totais estão na Tabela 21.

Tabela 21- Resultados de sólidos dissolvidos totais das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (mg/L)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	449	348	271	333	350
30	335	305	253	298	298
90	310	300	221	278	277

Fonte: Autora (2024).

➤ Dureza total

Os resultados das duas análises indicam que os quatro arranjos apresentaram valores de dureza total abaixo de 58 mg/L, conforme mostrado na Tabela 22. Esses valores classificam a água como sendo água mole, de acordo com Richter e Netto (1991) e Von Sperling (2014). A exceção foi observada na análise dos 30 dias para o Arranjo 01- (referência), que apresentou um valor superior, próximo a 58 mg/L. Esse valor classificaria essa amostra como tendo grau de dureza moderado, segundo esses autores. No entanto, se compararmos esses limites com os de Alvarado (1999), em que os valores iniciais são até a faixa de 60 mg/L, esse valor se enquadraria como água normal. Dessa forma, em ambos os critérios, a água armazenada, quando aplicada em atividades domésticas ou ao passar nas tubulações, não traria danos aos materiais que entrassem em contato direto com o líquido.

Tabela 22- Resultados de dureza total das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

DUREZA TOTAL (mg/L)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	70	40	32	46	47
30	58	36	28	22	36
90	28	20	18	20	22

Fonte: Autora (2024).

Os valores obtidos indicam uma redução de dureza total após os 90 dias, especialmente no Arranjo 01- (referência), que apresentou uma diminuição de 30

mg/L. Por outro lado, no Arranjo 02, ocorreu o oposto, sendo o que menos reduziu entre os quatro arranjos, com apenas 2 mg/L de diferença entre as análises dos 30 e 90 dias.

Na análise dos 30 dias, o valor mínimo foi identificado no Arranjo 04, com cerca de 22 mg/L, enquanto o valor máximo foi para o Arranjo 01- (referência), com aproximadamente 58 mg/L. Já na análise dos 90 dias, os valores mínimo e máximo foram, respectivamente, 18 mg/L para o arranjo 3 e 28 mg/L para o Arranjo 01- (referência). Esses resultados indicam variações nos níveis de dureza total ao longo do período de armazenamento.

➤ Cálcio

Os resultados das análises para os 30 e 90 dias de armazenamento indicaram que todos os valores de cálcio foram significativamente inferiores ao limite estabelecido pela EMBRAPA (2010) de $\leq 400,8$ mg/L.

Essa condição possibilita o uso dessa água para irrigação, considerando o parâmetro de cálcio. Além disso, observou-se uma redução em todos os dados na amostra dos 90 dias. Os valores específicos para cálcio nesses dois períodos estão disponíveis no Tabela 23.

Tabela 23- Resultados de cálcio das amostras de água escoadas nos arranjos após o armazenamento

CÁLCIO (mg/L)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	64	38	30	20	38
30	42	26	14	16	25
90	24	16	12	12	16

Fonte: Autora (2024).

Os dados mostraram uma redução significativa no teor de cálcio no Arranjo 01- (referência), com uma diminuição de cerca de 18 mg/L entre as análises do 1º mês e 3º mês após a coleta 1. Por outro lado, no Arranjo 03, essa redução foi mais modesta, totalizando apenas 2 mg/L no mesmo período.

Em relação aos valores específicos, na análise de 30 dias, os valores máximo e mínimo de cálcio foram encontrados no Arranjo 03 (14 mg/L) e no Arranjo 01- (referência) (42 mg/L), respectivamente. Na análise de 90 dias, os valores mínimo e máximo foram observados nos Arranjos 03 e 04, ambos com 12 mg/L, e no arranjo 01- (referência), com 24 mg/L. Essa variação nos teores de cálcio entre os arranjos e

ao longo do tempo pode ser crucial para determinar a adequação da água para diferentes usos, especialmente considerando as regulamentações estabelecidas.

➤ Cloreto

Os resultados indicaram que o teor de cloreto aumentou nos Arranjos 01- (referência) e 02 entre as análises de 30 e 90 dias, com incrementos de 4 mg/L e 2,5 mg/L, respectivamente. Esses arranjos apresentaram resultados mais favoráveis no armazenamento de 30 dias. Por outro lado, nos Arranjos 03 e 04, houve uma redução significativa após 90 dias, com uma diminuição de aproximadamente 11 mg/L e 6 mg/L, respectivamente, tornando esse período mais satisfatório em termos de teor de cloreto. Todos esses valores estão detalhados na Tabela 24.

Tabela 24- Resultados de cloreto obtidos nas análises após 30 dias e 90 dias de armazenamento

CLORETO (mg/L)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	45,49	44,49	30,99	32,99	38,49
30	34,49	41,49	40,49	43,99	40,11
90	38,49	43,99	29,49	37,99	37,49

Fonte: Autora (2024).

Entre os 4 arranjos, o Arranjo 01- (referência) apresentou o pior valor, enquanto o Arranjo 03 obteve o melhor resultado em relação ao teor de cloreto. Apesar das variações nos valores de cloreto nos quatro arranjos ao longo dos períodos de 30 e 90 dias, todos os dados permaneceram dentro da faixa estabelecida pela EMBRAPA (2010), cujo valor máximo permitido é de até 1063,8 mg/L.

Na análise após 30 dias da coleta 1, o valor mínimo de cloreto foi observado no arranjo 1-referência, aproximadamente 34,49 mg/L, enquanto o valor máximo foi de 43,99 mg/L no Arranjo 04. Para a análise após 90 dias, o valor mínimo de cloreto foi registrado no Arranjo 03, atingindo cerca de 29,49 mg/L, e o valor máximo foi observado no Arranjo 02, com 43,99 mg/L. Esses dados podem ser fundamentais para determinar a adequação da água para diferentes finalidades, conforme as normas estabelecidas.

➤ Alcalinidade

Para a alcalinidade nas amostras após os 90 dias de armazenamento indicaram uma redução em todos os arranjos. A maior diminuição foi observada no Arranjo 01-

(referência), com uma redução de 29,64 mg/L, enquanto a menor redução foi no Arranjo 03, com apenas 3,95 mg/L a menos em comparação com as amostras dos 30 dias.

Apesar das reduções, é importante notar que os valores obtidos para a alcalinidade em todos os arranjos após os 90 dias não atenderam aos limites estabelecidos pela EMBRAPA (2010), que define uma faixa de 6 a 8,5 mg/L para esse parâmetro. Esses resultados podem influenciar na aplicação da água para diferentes usos, conforme as especificações das normas, os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 25.

Tabela 25- Resultados de alcalinidade obtidos nas análises após 30 dias e 90 dias de armazenamento

ALCALINIDADE (mg/L)					
Tempo de armazenamento (Dias)	Arranjo 01- (referência)	Arranjo 02	Arranjo 03	Arranjo 04	Média
0	97,81	76,08	64,22	71,14	77,3110
30	270,71	227,24	154,13	160,06	203,034
90	241,07	201,55	150,18	150,18	185,744

Fonte: Autora (2024).

Na análise dos 30 dias, o valor mínimo foi de 154,13 mg/L para o Arranjo 03, enquanto o valor máximo foi de 270,71 mg/L para o Arranjo 01-referência. Na análise dos 90 dias, o valor mínimo foi observado nos Arranjos 03 e 04, ambos com 150,18 mg/L, e o valor máximo foi de 241,07 mg/L para o Arranjo 01- (referência).

De maneira geral, os Arranjos 03 e 04 apresentaram valores menores de alcalinidade, enquanto o Arranjo 01- (referência) teve os valores mais elevados, tanto nos 30 quanto nos 90 dias.

Os resultados indicam que o Arranjo 03 foi mais eficiente em manter os menores valores para diversos parâmetros nas análises dos 30 dias e dos 90 dias. destacando-se por demonstra-se favorável a qualidade da água dentro dos padrões desejados. Em seguida, o Arranjo 02 também demonstrou desempenho satisfatório nesse aspecto, já, o Arranjo 01- (referência) apresentou a quantidade menor de parâmetros com valores menores entre os arranjos, indicando dessa forma menos eficaz para a qualidade da água em comparação com o Arranjo 03.

De todos os parâmetros investigados tanto na análise após os 30 dias e os 90 dias, os valores encontrados para os quatro arranjos nesses dois períodos foram superiores a faixa limite para o pH, cor verdadeira, fósforo, nitrato e ferro total, de

acordo com o Conama 357 (2005), como também para o pH, fósforo, fosfato e a alcalinidade em concordância com a EMBRAPA (2010), ainda para o pH segundo a NBR 15527 (2019) e para o pH e os sólidos dissolvidos totais de acordo com a NBR 13.969 (1997).

Observou-se aumentos específicos, como turbidez no Arranjo 03, nitrato nos Arranjos 03 e 04, além de aumento de cloreto no Arranjo 01- (referência) e no Arranjo 02, destacando-se dessa maneira a importância de monitorar esses parâmetros individualmente. O pH e a condutividade foram os únicos parâmetros que apresentaram aumento de valores para todos os arranjos após os 90 dias.

Os Arranjos 01- (referência) (solo comercial) e 02 (solo comercial + bagaço de coco verde) se destacaram como os que mais reduziram os valores dos parâmetros avaliados durante esse período. Esses resultados podem fornecer insights valiosos para a gestão e otimização do armazenamento de água, bem como para a escolha de arranjos que possam manter ou melhorar a qualidade da água ao longo do tempo.

Haja vista a baixa qualidade de água observada nesta pesquisa mesmo após a adição de elementos ao sistema de telhado verde ecológico, que visou um padrão mais adequado para fins de reuso é importante notar que alguns dos resultados obtidos não permitem o uso da água percolada pelos diferentes arranjos para fins de irrigação, logo, a aplicação de filtros surge como uma alternativa para a diminuição desses valores de forma que traga a aplicação desse efluente.

O filtro utilizado por Silva (2017) seria uma alternativa haja vista que ele já foi aplicado com essa função e mostrou-se eficiente, ele foi elaborado com três faixas de areia de 20 cm e poderia reduzir os valores da coleta quinzenal para: nitrato dos arranjos 2, 3 e 4, de forma que eles se enquadrassem em 0,40 mg/L do CONAMA 357 (2005) e 10 mg/L da EMBRAPA (2010).

Ele é aplicável também porque a amônia apresentou valores superiores a faixa da EMBRAPA de 5 mg/L nos arranjos 1, 2 e 4, além do fósforo que para todos os arranjos foram superiores a faixa da EMBRAPA (2010) de 2 mg/L e do CONAMA 357 (2005) de 0,124 mg/L, seria uma alternativa também para reduzir os altos valores de sólidos dissolvidos totais nas 5 coletas dos 4 arranjos, se enquadrando no limite de 200 mg/L da NBR 13969/97. No caso das análises dos 30 e 90 dias, serviria para diminuir todos os valores de sólidos dissolvidos totais, nitrato e fósforo.

Já quanto a remoção da cor o filtro de carvão ativado em coluna aplicado por Junior, Dalsasso e Roher (2010) em seu estudo, seria uma alternativa também para diminuir os valores de amônia.

6 CONCLUSÕES

A implementação de materiais reciclados, tanto na composição quanto na estruturação dos substratos, utilizando garrafas PET, resultou em um telhado ecológico com custo de implantação inferior ao de um telhado verde convencional. Comparado ao estudo de Gonçalves (2021), houve uma economia de aproximadamente R\$ 211,54 por m², mas em relação ao telhado de Rocha (2020), que custou apenas R\$ 18,98 por m², o telhado ecológico tornou-se cerca de 12,57 vezes mais caro. A diferença de custo é atribuída às conexões e aos materiais aplicados no substrato, incluindo manta geotêxtil, argila expandida e caqueira de telha, ainda é possível considerar que os preços dos materiais oscilam conforme o passar dos anos.

O solo comercial adquirido em Caruaru-PE, utilizado na formulação dos substratos estava desfavorável pois apresentou valores de pH elevados e déficit de nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetativo. Apesar disso, devido à simulação com condições reais, o solo foi adotado no estudo. A uniformidade entre as garrafas PET utilizadas nos substratos variou nos ensaios. Apenas no Arranjo 04 foi identificado valores próximos no ensaio de pH. Apesar de todos os tratamentos e ensaios aplicados aos materiais incorporados no solo comercial, verificou-se a não uniforme dessas garrafas, nos quatro arranjos.

Quanto à retenção de água, o Arranjo 01- (referência), composto apenas por solo comercial, apresentou a maior retenção, sendo o mais adequado para drenagem urbana. No entanto, o Arranjo 03, com solo comercial e bagaço de cana-de-açúcar, mostrou-se mais permeável, atendendo à faixa ideal para a retenção hídrica em substratos.

Os parâmetros de pH e sulfato, foram satisfatórios em todos os arranjos nas coletas quinzenais em conformidade com o CONAMA 357 (2005). Os parâmetros de: pH, condutividade, sulfato, cloreto, cálcio e sólidos dissolvidos totais, apresentaram valores adequados também para todos os sistemas nas 5 coletas para os limites previsto pela EMBRAPA (2010). O valor limite de 10 mg/L de nitrato dessa normativa foi adequado apenas no Arranjo 01- (referência) (7,67, 5,55, 5,44, 5,50 e 3,70), já o de ferro total apenas para o Arranjo 02, 03 e 04. O Arranjo 03 foi o único entre os 4 sistemas em que os valores de amônia das 5 coletas ficaram abaixo da faixa com limite máximo 5 mg/L, tais valores em mg/L foram, 2,98, 1,78, 5,00, 4,74, 2,19, este

arranjo também apresentou os menores valores de alcalinidade e dureza total. O Arranjo 04, apresentou os menores valores de fosfato na quarta e na quinta coleta se adequando NBR 13.969/1997 e a NBR 15527/2019. O único parâmetro adequado, nas 4 legislações entre os 17 analisados nas 5 coletas dos 4 arranjos foi o pH, os números obtidos nas coletas respeitaram o valor do limite mínimo de 6,0 mg/L e máximo de 9,0 mg/L.

O Arranjo 03 cujo substrato foi composto por bagaço de cana-de-açúcar + solo comercial foi o único que nas 5 coletas quinzenais apresentou valores adequados para nitrito dentro dos 0,07 mg/L desta normativa, cujos números em mg/L, foi de respectivamente para as 5 coletas, 0,065, 0,066, 0,045, 0,022 e 0,013, assim como a turbidez também, os valores em uT se enquadraram na faixa máxima de 40 uT e 100 uT, sendo eles, 16,6, 22,7, 9,73, 10,8, 7,97, este sistema apresentou os menores valores encontrados nas 5 coletas para cor verdadeira e cor aparente. Este arranjo obteve os melhores resultados dentro dos limites das normativas, apresentando os menores valores para os parâmetros analisados. Atendeu aos padrões da EMBRAPA (2010) e do CONAMA 357 (2005) em 10 dos 17 parâmetros avaliados, e apenas ao pH conforme a NBR 13.969 (1997) e a NBR 15527 (2019).

O Arranjo 01- (referência), usado como referência composto com solo comercial como substrato, registrou os maiores valores em relação aos outros arranjos em vários parâmetros, como turbidez, cor aparente, cor verdadeira, amônia, fósforo, ferro total, dureza total e alcalinidade. No entanto, atendeu apenas aos padrões da EMBRAPA (2010) e CONAMA 357 (2005) para o nitrato, com valores inferiores.

Com a aplicação da ANOVA nos dados das coletas quinzenais foi possível observar que o valor-p obtido dos parâmetros de pH, condutividade, amônia, nitrato, nitrito, fosfato, sólidos dissolvidos totais e cloreto apresentaram semelhança significativa nas combinações com todos os arranjos e nas combinações individuais entre AR1 e AR2; AR1 e AR3; AR1 e AR4; AR2 e AR3; AR2 e AR4 e AR3 e AR4.

Com relação diferença significativa para os respectivos parâmetros e arranjos: Turbidez (AR2 e AR3; AR3 e AR4), cor aparente (AR1 e AR3, AR2 e AR3, AR3 e AR4), cor verdadeira (AR1 e AR3; AR1 e AR4; AR2 e AR3), fósforo (AR1 e AR3; AR2 e AR3), ferro total (AR1 e AR3; AR2 e AR3), sulfato (AR1 e AR3), dureza total (Todos os arranjos; AR1 e AR2; AR1 e AR3; AR1 e AR4; AR2 e AR3), Cálcio (Todos os arranjos; AR1 e AR2; AR1 e AR3; AR1 e AR4) e alcalinidade (Todos os arranjos; AR1

e AR2; AR1 e AR3; AR1 e AR4; AR2 e AR3). Demonstrando dessa maneira que, o valor-p foi menor que o nível de significância adotado de 0,05, observando ainda a diferença do AR1 para um maior número de parâmetros, logo, pode-se observar que as incorporações podem influenciar na qualidade da água escoada.

Para a água armazenada durante os 30 dias e 90 dias, após todo o período de armazenamento houve redução significativa de valores dos parâmetros investigados em cada arranjo. O Arranjo 01- (referência), foi o sistema que teve a maior quantidade de parâmetros com números elevados nos 30 dias apesar de ser o arranjo com a maior quantidade de parâmetros cujos valores foram reduzidos após os 90 dias de armazenamento, nesse período apenas cloreto teve a maior redução. Os menores valores identificados na análise dos 30 dias foram em sua maioria para o Arranjo 03, apresentando as menores reduções após os 90 dias. Após os 90 dias, avaliando os 4 arranjos, o Arranjo 02 e o Arranjo 03, apresentaram uma maior quantidade de parâmetros cujos valores formam valores reduzidos.

Através do tempo de permanência de armazenamento da água da coleta 1, observou-se que entre os parâmetros investigados nos 4 arranjos, ficaram dentro da faixa do CONAMA 357/2005 para os padrões de sulfato e cálcio, a turbidez se enquadrava apenas para o Arranjo 03 nos 30 dias e para o Arranjo 04 nos 90 dias, esse padrão avaliado, também respeitou as normativas NBR 13.969 (1997) e NBR 15527 (2019) no primeiro período para o Arranjo 03. Já para a EMBRAPA, os 4 arranjos apresentaram conformidade para os parâmetros de condutividade, amônia, nitrato, ferro total, sulfato, sólidos dissolvidos totais e cloreto, no Arranjos 01- (referência) (solo comercial) e no Arranjo 02 (solo comercial + bagaço de coco).

Em resumo, o Arranjo 03, composto por solo comercial + bagaço de cana-de-açúcar, destacou-se como o melhor entre os arranjos para a qualidade da água nas 5 coletas quinzenais, atendendo às normativas da EMBRAPA (2010), CONAMA 357 (2005), NBR 13.969 (1997) e NBR 15527 (2019). Em contraste, o Arranjo 01- (referência), composto apenas com solo comercial, apresentou os piores resultados nesse contexto.

Após 30 e 90 dias de armazenamento da coleta 1, o arranjo 1 (referência) registrou as maiores reduções em vários parâmetros, enquanto os arranjos 2 e 3 mostraram as menores reduções. Todos os sistemas mantiveram conformidade com os padrões estabelecidos, exceto pela turbidez nos arranjos 3 e 4. Ao avaliar os materiais incorporados, o bagaço de cana-de-açúcar teve um impacto mais positivo

em vários parâmetros em comparação com o bagaço de coco verde e a caqueira de telha.

6.1 Trabalhos futuros

Como continuidade desta pesquisa sugere-se ampliar o período de análise para a água coletada e armazenada, considerando um tempo de permanência superior a 3 meses a fim de verificar a sua qualidade considerando o período de estiagem das regiões semi-áridas.

Propõe-se desenvolver estudos complementares para investigar as possíveis aplicações deste sistema em telhados de fibrocimento, devido ao crescimento desse tipo de telhado e seu baixo custo. O foco seria disseminar a utilização desse sistema, inclusive em habitações populares, examinando a aplicação sobre condições reais de chuva e verificando a qualidade da água percolada ao longo de pelo menos 1 ano de instalação.

Para reduzir os valores que não atendem às normativas da EMBRAPA (2010), CONAMA 357 (2005), NBR 13.969 (1997) e NBR 15527 (2019), propõe-se o tratamento da água por meio de dispositivos-filtro de baixo custo e com funcionalidade comprovada, como filtros de areia ou carvão ativado. Após a aplicação desses filtros, seria relevante investigar a viabilidade do reuso dessa água.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação de Normas técnicas Brasileira, NBR 15527:2007. Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Norma Brasileira. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT Associação de Normas técnicas Brasileira. NBR 6457:2016. Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Norma Brasileira. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT Associação de Normas técnicas Brasileira. NBR 7181:2016. Solo — Análise granulométrica. Norma Brasileira. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT NBR 13.969/1997. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Norma Brasileira. Rio de Janeiro, 1997.
- ABNT NBR NM 18 - 12 - Cimento Portland - Analise Química - Determinação de Perda Ao Fogo.
- ABAD, M.; MARTINEZ, P. F.; MARTINEZ, J. Evaluación agrónomica de los substratos de cultivo. Actas de Horticultura, Villaviciosa, Espanha, v. 11, p. 141-154, 1993.
- AKTHER, M.; HE, J.; CHU, A.; HUANG, J.; DUIN, B. V. A review of green roof applications for managing urban stormwater in different climatic zones. Sustainability (Switzerland), [S. l.], v. 10, n. 8, p. 1–28, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/8/2864>. Acesso em: 03 ago. 2022.
- ALABURDA, J.; NISHIRA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. Revista Saúde Pública, v. 32 (2), p. 160-5, 1998.
- ALEPE LEGIS, 2021. **DECRETO Nº 51.296, DE 3 DE SETEMBRO DE 2021.** Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=57591&tipo=TEXTTOORIGINAL>. Acesso em: 03 ago. 2022.
- ALEPE LEGIS, 2021. **DECRETO Nº 51.341, DE 14 DE SETEMBRO DE 2021.** Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=57810&tipo=>>. Acesso em: 03 ago. 2022.
- ALMEIDA, Otávio Alvares. Qualidade da água de irrigação. Dados eletrônicos, Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010, 228 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/26783/1/livro-qualidade-agua.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2022.
- ALMEIDA, Maria F. X. M.; MEDEIROS, Mércia C. Telhado Verde: análise na cidade do Recife. 2021. Disponível em: https://www.faculadamedas.edu.br/wp-content/uploads/2021/09/E-book-Telhado-Verde_compressed.pdf. Acesso em: 03 ago. 2022.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, V. 22, N. 6, p. 711–728, jan.2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 03 ago. 2022.

AMPIM, P.A.Y.; SLOAN, J. J., CABRERA, R. I., HARP, D. A. H., & JABERS, F. H. (2010). **Green Roof Growing Substrates: Types, Ingredients, Composition And Properties.** *Journal Of Environmental Horticulture*, 28(4), 244-252. Disponível em: <https://hrijournal.org/doi/abs/10.24266/0738-2898-28.4.244>. Acesso em: 03 ago. 2022.

ANDENAES, E.; KVANDÉ, T.; MUTHANNA, T. M., & LOHNE, J. (2018). Performance of blue-green roofs in cold climates: A scoping review. *Buildings*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/buildings8040055>.

ANDRADE NETO, C. O. Segurança sanitária das águas de cisternas rurais. In: Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva. 4º. 2003, Juazeiro. Anais... Juazeiro, BA: ABCMAC, 2003.

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/>. Acesso em: 06 ago. 2022.

APHA- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; American water works association – awwa; water environment federation - wef. Standard methods for examination of water and wastewater. 21. ed. Washington, 2005. 1496 p.

APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed., Washington DC, 2018.

ARAÚJO, Sidney Rocha de. **As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos**. Seropédica, Rio de Janeiro, p. 03-04, 2007.

ARAÚJO, B. G.; SOUSA, A. M. S.; PERES, M. D. Telhado verde de garrafa PET. I Simpósio de Produção Científica, Anais..., Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, PA, pp. 1-3, 2017.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29, 2. ed, Campina Grande, UFPB, p. 145. 1999.

BACK, M. M.; PETRY, H. B.; SCHAFER, G.; MARCHESI, D. R. Avaliação de características físico-químicas de substratos comerciais utilizados na produção de mudas de maracujazeiro-azedo, **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.36, n.1, 2023. Doi: <http://doi.org/10.52945/rac.v36i1.1589>.

BALDESSAR, S. M. N. Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/52621/R%20-%20D%20-%20SILVIA%20MARIA%20NOGUEIRA%20BALDESSAR.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2022.

BAILEY, D.A.; NELSON, P.V.; FONTENO W.C. Substrates pH and water quality. Raleigh: North Carolina State University, 2000. Disponível em: <http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/>. Acesso em: 08 ago. 2022.

BERNDTSSON, C. J. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>.

BIX, R. Some thoughts on physical properties of substrates with special reference to

aeration. *Acta Horticulturae*, n.31, p.149-160, 1973.

BLISS, D. J.; NEUFELD, R. D.; RIES, R. J. Storm Water Runoff Mitigation Using a Green Roof. *Environmental Engineering Science*, Vol. 26, 2. 2009.

BLANUSA, T., VAZ MONTEIRO, M. M., FANTOZZI, F., VYSINI, E., LI, Y., & CAMERON, R. W. F. (2013). Alternatives to Sedum on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better “cooling service”? *Building and Environment*, 59, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.011>.

BRANDI, Thais Cerqueira. Proposta de telhado verde e aproveitamento de águas pluviais no bloco 5 da UNESP, campus de Guaratinguetá. 2021. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/234535/brandi_tc_tcc_guara.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Acesso em: 05 ago. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2017.

BRANDY, N. C.; WEIL, R. R. Natureza e propriedade dos solos. 7ª edição, Rio de Janeiro, 1989. 898 p.

BRUNO, M. B. A; Pacheco, C; Gomes, G; Folgueras, M. V. (2019). Análise do desempenho de adensamento da massa refratária de sílica usada em fornos de indução. *Cerâmica* 65 (2019) 498-505. <https://doi.org/10.1590/0366-69132019653762455>.

BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulturae. *Acta Horticulturae*, v. 26, p. 37-44, 1972. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1972.26.5>.

BOERTJE, G.A. Physical laboratory analyses of potting composts. *Acta Horticulturae*, n.150, p.47-50, 1983.

BORGES, H. H. S., AGUIAR, W. M. A. & ZAMPIERI, J. N. F. (2020). A utilização do telhado verde na construção civil como alternativa para diminuição dos impactos ambientais. *Revista Interfaces do Conhecimento*, 01, 98-111.

BUENO, R. Telhado verde: os Jardins da Babilônia continuam funcionais. 2010. Disponível em: <https://www.ecocidades.com/2010/09/02/telhados-verdes-os-jardins-da-babiloniacontinuam-funcionais/>. Acesso em 06 ago. 2022.

BUCCOLA, N.; SPOLEK, G.; A Pilot-Scale Evaluation of Greenroof Runoff Retention, Detention, and Quality. *Water, Air, & Soil Pollution*, [s.l.], v. 216, n. 1-4, p.83-92, 9 jul. 2011.

BUDEL, MARCEL ARAMIS. Estudo comparativo da qualidade da água de chuva coletada em cobertura convencional e em telhado verde. 2010. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1423/1/CT_PPGECC_M_Budel,%20Marcel%20Aramis_2014.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2023.

BUNT, A.C. Some physical and chemical characteristics of loamless pot plant substrates and their relation to plant growth. *Plant and Soil*, v.38, n.4, p.1954- 1965, 1983.

BURSZTA-ADAMIAK, E. Analysis of the Retention Capacity of Green Roofs. *Journal of Water and Land Development*, v. 16, n. 1/6, p. 3-9, 2012.

CAMILÔTO, Marina Corbelli. Uso de telhados verdes em edificações. 2020.

Disponível em:

<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/27877/1/texto%20completo.pdf>.

Acesso em: 06 ago. 2022.

CAMPANHARO, M.; RODRIGUES, J. J. V.; LIRA JUNIOR, M. A. ESPINDULA, M. C.; COSTA, J. V. T. **Características físicas de diferentes substratos para produção de mudas de tomateiro**. *Revista Caatinga*, v.19, p.140-145, 2006.

CANTOR, S. L. **Green Roofs in Sustainable Landscape Design**. W. W. Norton & Company, New York – London, 2008. 352p.

CARRIJO, O.A.; LIZ, R.S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

CASTRO, A.; GOLDENFUM, J. Uso de telhados verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano. 2008. Disponível em: <https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2015/03/ESCOAMENTO-SUPERFICIAL-URBANO.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2022.

CASTRO, A. S. **Uso de Pavimentos Permeáveis e Coberturas Verdes no Controle Quali- Quantitativo do Escoamento Superficial Urbano** Porto Alegre, 2011. 142 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CARVALHO, Gustavo Medina. Proposta técnica e econômica da implantação de um sistema de telhado verde. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10020976.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2022.

CARRIJO, O.A.; LIZ, R.S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

CARUARU. **Lei nº 62, de 27 de dezembro de 2018**. Institui o programa de incentivo denominado IPTU Verde no município de Caruaru e dá outras providências. Caruaru: Câmara Municipal, 2018.

CAVINS, T.J.; WHIPKER, B.E.; FONTENO, W.C.; HARDEN, B.; MCCALL, I.; GIBSON, J.L. **Monitoring and managing pH and EC using the PourThru Extraction Method**. *Horticulture Information Leaflet 590*, New 7/2000. Raleigh: North Caroline State University, 2000. 17p.

CEN - COMITÉ EUROPEÉN DE NORMALISATION. EN 13041 – Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo – Determinación de las propiedades físicas. Densidad aparente seca, volumen de aire, volumen de água, valor de contracción y porosidad total. Bruxelles, 1999.

CETESB. Drenagem Urbana: manual de projeto. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 464 p. 1986.

CHEN, C. F., KANG, S. F., & LIN, J. H. (2018). Effects of recycled glass and different substrate materials on the leachate quality and plant growth of green roofs. *Ecological Engineering*, v.112, p.10–20. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.013>.

COMA, J.; PÉREZ, G.; SOLÉ, C. CASTELL, A.; CABEZA, L. F. Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Renewable Energy*, 85: 1106-1115, 2016.

CONAMA 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução. 2005.

CONOVER, C.A. Soil amendments for pot and field grown flowers. **Florida Flower Grower**, Florida, v.4, n.4, p.1-4, 1967.

CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. Germain Corneel (Ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste**. Brasília, DF: MMA, 2018.

CORTÉS, C. F.; CASTILLO, C. A. D. Mejora de las condiciones de habitabilidad y del cambio climático a partir de ecotechos extensivos. Estudio de caso: barrio La Isla, Altos de Cazucá, Soacha, Cundinamarca. **Cuadernos de vivienda y urbanismo**, v. 4, n. 8, 2011.

CRUZ, W.; LEONI, A. Coberturas verdes na região metropolitana de Curitiba – barreiras e potencial de estabelecimento na visão dos profissionais da construção civil. 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/35228242/COBERTURAS_VERDES_NA_REGI%C3%83O_METROPOLITANA_DE_CURITIBA_BARREIRAS_E_POTENCIAL_DE_ESTABELECIMENTO_NA_VIS%C3%83O_DOS_PROFISSIONAIS_DA_CONSTRU%C3%87%C3%83O_CIVIL. Acesso em: 03 ago. 2022.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. PROJETO CADASTRO DE FONTES DE ABASTECIMENTO POR ÁGUA SUBTERRÂNEA ESTADO DE PERNAMBUCO, DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO DE CARUARU. 2005. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15833/1/Rel_Caruaru.pdf. Acesso em: 03 ago. 2022.

"DDC cool and Green Roofing Manual." Preparado para o Departamento de Design & Construção de Design Sustentável da cidade de Nova York, por Gruzen Samton Architects LLP com Amis Inc., Flack & Kurtz Inc., Mathews Nielsen Landscape Architects P.C., e SHADE Consulting, LLC (2007).

D. S. Oliveira, D. S. Rodrigues & C. J. F. de Oliveira. **Telhados verdes: uma proposta para o uso de espécies nativas do brasil**. Mix sustentável. V.7, pp. 111-126, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n3.111-126>.

De BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates In *Horticulture*. *Acta Horticulturae*, n.26, p.37-44, 1972.

DI BERNARDO, L. Tratamento de Água para abastecimento por Filtração Direta. São Carlos – São Paulo, 2003. 479p.

DILLY, D. P. A., **Tratado sobre o sistema de telhado verde extensivo para coberturas planas em edificações de pequeno e médio porte**. Dissertação (mestrado) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Leopoldo, p. 99, 2016.

DELDUQUE, Thalita Pereira. Reaproveitamento de quebras de blocos de cerâmica vermelha como elemento filtrante no tratamento de água. 2014. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

DEVORE, Jay L. Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências. 2006. Cengage. Disponível em: <https://www.academia.edu/38884246/Probabilidade_e_Estat%C3%ADstica_para_Engenharia_e_Ci%C3%A2ncias_6th_Jay_L_Devore_Cengage_2006_>>. Acesso em: 08 ago. 2022.

DUNNETT, N.; KINGSBURY, N., **Plantio de telhados verdes e paredes vivas**. 2004. Disponível em: <<https://library.wur.nl/WebQuery/titel/1939498>>. Acesso em: 08 ago. 2022.

ECOTELHADO. Mais que ideias soluções verdes para seu: telhado, parede, pavimento, esgoto, reuso água da chuva e muito mais arquitetura sustentável e ecológica. 2007. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/>>. Acesso em: 04 ago. 2022.

ECOTELHADO. Trabalhe com captação da água das chuvas com telhado verde. 2019. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/trabalhe-com-captacao-da-agua-da-chuva-com-telhado-verde/>>. Acesso em: 08 ago. 2022.

EKSI M., ROWE, D.B.; FERNÁNDEZ-CA R.; CREGG, B.M. **Avaliação de materiais reciclados ou disponíveis localmente como substratos de telhado verde. Verde urbano**. V.156, Ecol. Eng., 13 pp. 1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105966>.

EKSI, M. et al. Effect of substrate compost percentage on green roof vegetable production. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 14, n. 2, p. 315–322, 2015.

RODRIGUES FILHO, J. E. R.; SILVA FILHO, L. F.; D. S.; Silva, G. P., (2018). Reutilização De Rejeitos Da Industria De Cerâmica Vermelha. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/b1495601-5e6a-4af3-94ac-f948841448c1/content>>. Acesso em: 08 ago. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, 212pp. 1997.

EMBRAPA, 2010. **Qualidade da Água de Irrigação**. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/875385/1/livroqualidadeagua.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2022.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 27 mar. 2023.

EMBRAPA. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1128267/1/5840.pdf>. Acesso em: 12 out. 2023.

FARRELL, C.; MITCHELL, R. E., SZOTA, C.; RAYNER, J. P., & WILLIAMS, N. S. G. (2012). Green roofs for hot and dry climates: Interacting effects of plant water use, succulence and substrate. *Ecological Engineering*, 49, 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.036>

FLL, 2008. Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing. Green Roofing Guideline, Germany. Disponível em: <<http://www.greenroofsouth.co.uk/FLL%20Guidelines.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2022.

FARIAS, Maria Mariah Monteiro Wanderley Estanislau Costa de. **Aproveitamento de água de chuva por telhados:** aspectos quantitativos e qualitativos. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

FILHO, Júlio de Mesquita. Técnicas construtivas e procedimentos sustentáveis – estudo de caso: edifício na cidade de São Paulo. 2011. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119174/furukawa_fm_tcc_guara.pdf. Acesso em: 03 ago. 2022.

FIRMINO, Elziane Favoreto Alves. Qualidade da água e do sedimento de corpos hídricos do município de Alegre, Espírito Santo. 2012. Disponível em: https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/10394/1/tese_12525_Vers%C3%A3o%20Final%20-%20ELZIANE.FAVORETO.ALVES.FIRMINO20180829-110236.pdf. Acesso em: 03 ago. 2022.

FERMINO, M. H. Substratos: composição, caracterização, e métodos de análise. Guaíba: Agrolivros, 2014. 112p.

FERRANS, P.; REY, C. V.; PÉREZ, G.; RODRÍGUEZ, J. P.; GRANADOS, M. D. Effect of green roof configuration and hydrological variables on runoffwater quantity and quality. *Water (Switzerland)*, [S. l.], v. 10, n. 7, p. 1–18, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/7/960>. Acesso em: 03 ago. 2022.

FERREIRA, C.; MORUZZI, R. Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis. Encontro Nacional Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2007.

FERREIRA, P. P. L.; BRAGA, R. M.; TEODORO, N. M. A.; MELO, V. R. M.; MELO, D. M. A., & Melo, M. A. F. (2015). Adsorção de Cu 2+ e Cr 3+ em efluentes líquidos utilizando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar. *Cerâmica*, 61(360), 435-441.

FERREIRA, C. A.; MORUZZI, R. B. Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação da água da chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis. Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, 2007. Disponível em: https://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/planejamentoterritorialegeoprocessamento640/md_rodrigo_artigos_consideracoes.pdf. Acesso em: 06 ago. 2022.

FERRAZ, Marcos Vieira.; CENTURION, José. Frederico. BEUTLER, Amauri Nelson. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 27, p. 209-214, 2005.

FERRAZ, I. L. O Desempenho Térmico de um Sistema de Cobertura Verde em Comparação ao Sistema Tradicional de Cobertura com Telha Cerâmica. Dissertação de Mestrado, Departamento de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, Brasil, 150 p., 2012.

RANS, P.; REY, C. V.; PÉREZ, G.; RODRÍGUEZ, J. P.; DÍAZGRANADOS, M. Effect of Green Roof Configuration and Hydrological Variables on Runoff Water Quantity and Quality. *Water*, v. 10, n. 7, p. 960, 20 jul. 2018.

FRANCO, B. P.; LACERDA, F. C. R.; MIRANDA, D. C. A aplicação de métodos sustentáveis na construção civil: um estudo sobre a captação e reaproveitamento de água das chuvas através da cobertura verde. 2020. Disponível em: https://repositorio.alfaunipac.com.br/publicacoes/2020/534_a_aplicacao_de_metodos_sustentaveis_na_construcao_civil_um_estudo_sobr.pdf. Acesso em: 06 ago. 2022.

FONSECA, A. F.; BARBOSA, D. M. D. Determinação da acidez e alcalinidade em diferentes amostras. 2014. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/centro-federal-de-educacao-tecnologica-de-minas-gerais/laboratorio-de-fisico-quimica/acidez-e-alcalinidade-solos-tcc/7669744>. Acesso em: 06 ago. 2023.

FUNFGELT, K.; SOUZA, A. G.; TONET, E. A.; FACHINI, S. Telhado verde e a influência no conforto térmico em uma edificação de madeira no IFC campus Rio do Sul. In: **5ª Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnologia Interdisciplinar**. 2012, Camboriú. Anais[...]. Camboriú: Instituto Federal Catarinense, 6 p., 2012.

GARCEZ, L. N. Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial. São Paulo, SP: EPUSP, 2004.

GARCIA, B. A. S. R.; MARY, W.; SILVA, L. P. da; Alberto M. A. Análise do runoff a partir de materiais vegetais residuais fibrosos para uso como substrato agrícola em telhados verdes. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/316277599_ANALISE_DO_RUNOFF_A_PARTIR_DE_MATERIAIS_VEGETAIS_RESIDUAIS_FIBROSOS_PARA_USO_COMO_SUBSTRATO_AGRICOLA_EM_TELHADOS_VERDES_RUNOFF_ANALYSIS_OF_VEGETABLE_FIBRES_WASTE_MATERIALS_TO_APPLY_AS_GROWING_SUBSTRAT?enrichId=rgreq-b0a488731c8bb3b230cf17ece3c12018-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzMxNjI3NzU5OTtBUzo0ODUyNDQ0MTI0MDM3MTRAMTQ5MjcwMjY5MTg4MA%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf>. Acesso em: 09 ago. 2022.

GARRIDO NETO, P. de S. Telhados verdes associados com sistema de aproveitamento de água de chuva: Elaboração de dois projetos para futuros estudos sobre esta técnica compensatória em drenagem urbana e prática sustentável na construção civil. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

GIACOMELLO, E.; GASPARI, J. Hydrologic performance of an extensive green roof under intensive rain events: Results from a rain-chamber simulation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 6, p. 1–23, 2021.

GIMENES, Julia de Carvalho. Captação e aproveitamento de água de chuva: estudo experimental da qualidade de água de um telhado verde e de um telhado convencional. 2017. 112 p. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019324.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2022.

GOH, K.M.; HA YNES, R.I. Evaluation of potting media for comercial nursey production of container grow plants: 1. Physical and chemical characteristics of soil and soilless media and their constituents. *New Zeland Journal of Agricultural Research*. v.20, p.363-370, 1977.

GOMES, Y. R. R.; SILVA, T. F. d.; MACEDO, P. M. T. d.; SANTOS, G. C. d.; SANTOS, S. M. d. Influência do substrato do telhado verde na qualidade da água de chuva. 2018. Disponível em: <https://files.abrhydro.org.br/Eventos/Trabalhos/82/10817.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2022.

GOMES, Yan Ranny Machado. Telhado verde em clima tropical úmido: investigação da qualidade da água. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/34506>. Acesso em: 03 ago. 2022.

GONÇALVES, E. D, BLANCO, C. J. C., WATRIN, V. R., COSTA C. E. A. S. Análise experimental e custos de telhados verdes comerciais e fabricados com garrafas pet para redução de cheias urbanas na Amazônia. *Mix Sustentável*, v.7, n.2, p.57-66, abr. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n2.57-66>.

GONÇALVES, J.L.M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas fl orestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia, Resumos... Piracicaba: Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996. CD-Rom.

GONZAGA, G. B. M.; LIMA, J. V. F.; T. NETO, L.; ROLEMBERG, R. R.; SANTOS, L. R. L. Telhado verde: uma proposta sustentável para a construção civil. *Caderno de Graduação: Ciências Exatas E Tecnológicas – UNIT, Alagoas*, v. 4, n. 2, 2017. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/5213>. Acesso em: 03 ago. 2022.

GONG, Y.; ZHANG, X.; Li, J.; FANG, X.; Yin, D.; XIE, P.; NIE, L. (2020). Factors affecting the ability of extensive green roofs to reduce nutrient pollutants in rainfall runoff. *Science of the Total Environment*, 732, 139248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139248>.

GUEDES, F. L.; FILHO, R. A.; FERREIRA, F. G. D.; AZEVEDO, F. G. (2019). Análise comparativa de custos e vantagens entre telhados verdes e sistemas convencionais de coberturas. *Revista Eletrônica Estácio Recife*, 5, 1-18.

GUPTA, U. C.; JAME, Y. W.; CAMPBELL, C. A.; LEYSHON, A. J.; NICHOLAICHUK, W. Boron toxicity and deficiency: a review. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 65, n. 3, p. 381–409, ago. 1985.

Han She Lim, What happens to nitrogen and phosphorus nutrient contributions from green roofs as they age? A review. *Environmental Advances*, v. 12, jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100366>.

HATHAWAY, A.M.; HUNT, W. F.; JENNINGS, G. D. A field study of green roof hydrologic and water quality performance. *Transactions of the ASABE*, 51: 37- 44, American Society of Agricultural and Biological Engineers, ISSN 0001-2351 2008.

HASHEMI, S. S. G.; MAHMUD, H. B.; ASHRAF, M. A. Performance of green roofs with respect to water quality and reduction of energy consumption in tropics: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 669–679, 1 dez. 2015.

HUI, S. C. M. Benefits and potential applications of green roof systems in Hong Kong. In: *Proceedings of the 2nd Megacities International Conference 2006*, 1-2 December 2006, Guangzhou, China, pp. 351-360. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/241844469_Benefits_and_potential_applications_of_green_roof_systems_in_Hong_Kong. Acesso em: 03 ago. 2022.

HIWATASHI, Erika. O PROCESSO DE RECICLAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS INORGÂNICOS DOMICILIARES EM PORTO ALEGRE. 1998. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/29128/000243943.pdf?sequence=1>. Acesso em: 03 ago. 2022.

HOSSAIN, M. S.; RAHIM, N. A.; AMAN, M. M e SELVARAJ, J. Application of ANOVA method to study solar energy for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 44, n. 29, p.14571–14579, 2019.

HYDROTEC MEMBRANE CORPORATION. *Garden Roof Planning Guide*. Canadá, 2007. p.19.

INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 17, DE 21 DE MAIO 2007. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-17-de-21-05-2007-aprova-metodo-substrato.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2022.

INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 31, DE 23 DE OUTUBRO DE 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-31-de-23-10-2008-altera-metodo-substrato.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico de 2010*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/caruaru/panorama>. Acesso em: 04 ago. 2022.

JAQUES, R. C. *Qualidade da Água de Chuva no Município de Florianópolis e Sua Potencialidade Para Aproveitamento em Edificações Florianópolis*, 2005. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

JUNIOR, A. B. C.; DALSASSO, L. R.; ROHERS, F. Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado. *Santa Catarina*, v. 15, p. 385-392, 2010.

JUNIOR, J. V. B.; ROMANEL, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management), v. 5, n. 2, p. 27-37, jul./dez. 2013.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, v.19, p.107-149, 1967.

KREUTZFELD, Mariele, 2018. Simulação da capacidade de retenção da água da chuva em telhados verdes para o município de Toledo-PR. Disponível em:< <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/24103/1/capacidadederetencaoaguchuva.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

KRESIC, N. Hydrogeology and groundwater modeling. 2. Ed. Boca Raton: CRC press, 2006.

KÄMPF, A. N. (2000a) Produção comercial de plantas ornamentais. Guaíba: Agropecuária, 254p.

KÄMPF, A. N. (2000b) Seleção de materiais para uso como substrato. In Kämpf, A. N., Fermino, M. H., Substratos para Plantas: a base da produção vegetal em recipientes. 1 ed., Porto Alegre: Gênese, p.139-146.

KÄMPF, A.N. Produção comercial de plantas ornamentais. Guaíba: Agropecuária, 2005. 256p.

KAVA, Cintia Merlo, 2011. **A Construção Civil, a Construção Sustentável e a Educação Socioambiental: Um Estudo de Caso de Aplicações nas Habitações de Interesses Sociais**. Disponível em:< <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/43217/R%20-%20E%20-%20CINTIA%20MERLO%20KAVA.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 ago. 2022.

KIBERT, CHARLES J., (1994). Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction. in Kibert, C.J., ed. Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction. Tampa, FL, November 6-9. CIB Publications TG 16, Roterdã.

KLEIN, Lais de Bortoli. Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial em diferentes tipos de coberturas. 2017. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

KNOPIK, F. Telhados Verdes. Paisagismo e jardinagem. 2014. Disponível em:< <https://www.arquidicas.com.br/telhados-verdes/>>. Acesso em: 07 ago. 2022.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. "Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes". Wall-map 150cmx200cm. 1928.

KUOPPAMÄKI, K.; HAGNER, M.; LEHVÄVIRTA, S., & SETÄLÄ, H. (2016). Biochar amendment in the green roof substrate affects runoff quality and quantity. *Ecological Engineering*, 88, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.12.010>.

LÁZARO, Pedro Henrique Branco. **Avaliação de qualidade de água de chuva de telhados verdes para usos não potáveis**. 2020. Disponível em:< <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1129143>. Acesso em: 23 ago. 2023.

LEE, J. Y.; MOON, H. J.; KIN, T. I.; KIM, H. W.; HAN, M. Y. (2013). Quantitative

analysis on the urban flood mitigation effect by the extensive green roof system. Environmental Pollution. Coreia do Sul.

LEONARDO, Haylla Rebeka de Albuquerque Lins. **Desempenho de telhados ecológicos em área urbana**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/43073>. Acesso em: 04 ago. 2022.

LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3 ed. ver. e ampl. Campinas, SP: Atomo, 2010.

LIBERALESSCO, Tiago. **Telhados verdes extensivos: influência da composição do substrato na retenção hídrica e no desenvolvimento da vegetação**. 2018. Disponível em: < <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/19104> >. Acesso em: 03 ago. 2022.

LI, Y.; BABCOCK, R. Green roofs against pollution and climate change. A review. Agronomy for Sustainable Development, p. 695-705, 2014. 10.1007/s13593-014-0230-9.

LIU, R.; STANFORD, R. L.; DENG, Y.; LIU, D.; LIU, Y. e YU, S. L. The influence of extensive green roofs on rainwater runoff quality: a fieldscale study in southwest China. Environmental Science and Pollution Research, [s. l.], v. 27, n. 12, p. 12932–12941, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06151-5>.

LIU, H.; KONG, F.; YIN, H.; MIDDEL, A.; ZHENG, X.; HUANG, J.; XU, H.; WANG, D., & WEN, Z. (2021). Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: A bibliometric review. *Building and Environment*, 196(December 2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107794>.

LIMA, Glenda Cordeiro de Oliveira. **Avaliação do desempenho de telhados verdes: capacidade de retenção hídrica e qualidade da água escoada**. 2013. Disponível: < <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10498> >. Acesso em: 03 ago. 2023.

LIMA, B. L. F. D.; MIRANDA J. A. D.; DALL J. G. W.; JÚNIOR, N. K.; MOREIRA P. AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE POTABILIDADE DA ÁGUA E DE CONSUMO DO INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE-CAMPUS ARAQUARI. 2019, Disponível em: < <https://quimica.arauari.ifc.edu.br/wp-content/uploads/sites/20/2020/04/TRABALHO-FINAL-AVALIA%C3%87%C3%83O-DE-PAR%C3%82METROS-DE-POTABILIDADE-DA-%C3%81GUA-E-DE-CONSUMO-DO-INSTITUTO-FEDERAL-CATARINENSE-CAMPUS-ARAQUARI.pdf> >. Acesso em: 12 ago. 2022.

LIMA, J. O. G.; LOPES, F. d. C. da C.; LIMA, J. R.. Hidroquímica do carbonato e bicarbonato: efeito na qualidade de águas subterrâneas em Crateús, Ceará, Brasil. 2014. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/HF7qLLxj7JW8fWWwMYF5ZjF/?format=pdf&lang=pt> >. Acesso em: 12 ago. 2022.

LORENA, E. M. G.; MEDEIROS, R. M. de.; KOZMHINSKY, M.; SILVA, V. de P., HOLANDA. R. M. de. e MORAES, A. S. Comportamento da precipitação e umidade relativa do ar em Caruaru-PE, BRASIL. 2017. Disponível em: < https://editorarealize.com.br/editora/anais/wiasb/2017/TRABALHO_EV079_MD1_SA2_ID71_20042017093442.pdf >. Acesso em: 12 ago. 2022.

LOST, C. Produção de sedimentos e qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade do Oeste do Paraná, 2008.

LOIOLA, C.; MARY, W.; PIMENTEL DA SILVA, L. Hydrological performance of modular-tray green roof systems for increasing the resilience of mega-cities to climate change. **Journal of Hydrology**, v. 573, p. 1057–1066, 2019.

LUDWIG, L.; FERNANDES, D.M.; SANCHES, L.V.C.; VILLAS BOAS, R.L. Caracterização física de substratos formulados a partir de casca de pinus e terra vermelha. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS - Materiais Regionais como substrato, 6, 2008, Fortaleza. Anais eletrônicos... Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, SEBRAE /CE e UFC, 2008. Disponível em: < http://www.cnpat.embrapa.br/viensub/Trab_PDF/sub_2.pdf >. Acesso em: 06 out. 2022.

LUDWIG, F.et al. Análise de crescimento de gérbera de vaso conduzida em diferentes substratos. *Horticultura Brasileira*, v. 28, n. 1, p. 70-74, 2010.

MACIVOR, J. S.; LUNDHOLM, J. Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 3, p. 407–417, 2011.

MACMILLAN, G. York University Rooftop Garden Stormwater Quantity and Quality Performance Monitoring Report, 2004. Disponível em: https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/documents/3.4_Macmillan-monitoring.pdf. Acesso em: 03 ago. 2022.

MÁS, E. (2002) Diagnóstico das matérias primas e metodologia da extração das matérias primas. Qualidade e tecnologia em cerâmica vermelha.

MEDEIROS, S. S.; CAVALCANTE, A. M. B.; MARIN, A. M. P.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H e PINTO, T. H. **Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro**. INSA. Campina Grande - PB, 2012.

MEDEIROS, R.M. Estudos dos fatores provocadores de chuvas no estado de Pernambuco - Brasil. 2016.

MELO, L. R. C.; ANDRADE NETO, C. O. Variação da qualidade da água de chuva em três pontos distintos da cidade de Natal-RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 2007.

MENEGALE, Marcella Leite de Campos; CASTRO, Gustavo Spadotti Amaral e MANCUSO, Mauricio Antonio Cuzato. SILÍCIO: INTERAÇÃO COM O SISTEMA SOLO-PLANTA. *Journal of Agronomic Sciences*, Umuarama, v.4, n. especial, p.435-454, 2015.

MITCHELL, M.E, HAMILTON, T.L, UEBEL-NIEMEIERA, C, HOPFENSBERGERD K.N., BUFFAMA I. Nitrogen cycling players and processes in green roof ecosystems. **Applied Soil Ecology**. v.132, p.114–125, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.08.007>.

MITCHELL, Mark E.; EMILSSON, Tobias; BUFFAM, Ishi. Carbon, nitrogen, and phosphorus variation along a green roof chronosequence: Implications for green roof ecosystem development. **Ecological Engineering**. v.164, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106211>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Relatório - Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília, 2006.

MINER, J.A. Sustratos: Propiedades y caracterización. Madrid, Barcelona e México: Ediciones Mundi-Prensa, 1994. 172 p.

MORAN, A.; HUNT, B.; JENNINGS, G. 2004. **A North Carolina field study to evaluate greenroof runoff quantity, runoff quality, and plant growth**. Disponível em: < <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40685%282003%29335>>. Acesso em: 03 ago. 2022.

MORUZZI, R. B.; MOURA, C. C. de; BARBASSA, A. P. Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 59-73, jul./set. 2014.

MOUSINHO, F. H. G.; LIMA, J. M. S.; PEREIRA, M. M. A.; Pessoa, J. O.; SANTOS, S. M.; OLIVEIRA, L. M. M.; PAIVA, A. L. R. Caracterização pluviométrica dos últimos 50 anos em Caruaru -PE, com análise de tendências, máximas diárias, Curvas IDF e distribuição Gumbel. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.17,n.2 (2024).

NARANJO, A.; COLONIA, A.; MESA, J.; MAURY-RAMÍREZ, A. Evaluation of semi-intensive green roofs with drainage layers made out of recycled and reused materials. **Coatings**, v. 10, n. 6, p. 525, 2020.

NETO, E. G. C.; ALMEIDA, A. K.; LEITE, I. R.; GUARIENTI J. A e ALMEIDA, I. K. D. Telhado verde: alternativa sustentável para a drenagem do escoamento superficial. *Mix Sustentável*, 2021. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/download/4338/3581>. Acesso em: 06 ago. 2022.

NESP, 2016. **Perfil do município de Caruaru/PE: Análise do acesso e da qualidade da Atenção Integral à Saúde da população LGBT no Sistema Único de Saúde**. Disponível em: <<https://silo.tips/download/perfil-do-municipio-de-caruaru-pe-analise-do-acesso-e-da-qualidade-da-atenao-int>>. Acesso em: 03 ago. 2022.

NOGUEIRA, Joyce Daiane de Lima. **Qualidade da água de telhados verdes na cidade de Natal/RN: análise do pH, condutividade elétrica e turbidez**. 2018. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/26268/1/Qualidade%20da%20gua%20de%20telhados%20verdes%20na%20cidade%20de%20Natal%20RN.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2022.

OLIVEIRA, Cooler Costa de. **Substratos para uso em telhados verdes: Avaliação da retenção hídrica e qualidade da água de escoamento**. 2012. Disponível em: < <http://www.peamb.eng.uerj.br/producao.php?id=565> >. Acesso em: 03 ago. 2022.

OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B.; COFFMAN, R. R.; DOSHI, H.; DUNNETT, N.; GAFFIN, S.; KÖHLER, M.; LIU, K. K. Y. & ROWE, B. (2007). Green

roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57(10), 823–833. <https://doi.org/10.1641/B571005>.

PALLA, A.; BERRETTA, C.; LANZA, L. G.; BARBERA, P. La. (2008). Modelling storm water control operated by green roofs at the urban catchment scale. University of Genoa – Italy, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.

PANZIERA, A. G.; CALIL, V. S.; AMARAL, F. D.; SWAROWSKY, A. Desempenho de diferentes tipos de telhado verde no conforto térmico urbano na cidade de Santa Maria, RS. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 16, n. 3, p. 445-457, 2015.

PEŁCZKOWSKI, G.; KOWALCZYK, T.; SZAWERNOGA, K.; ORZEPOWSKI, W. Hydrological Performance and Runoff Water Quality of Experimental Green Roofs. *Water*, v. 10, n. 9, p. 1185, 4 set. 2018.

PECK, S.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M.; BASS, B. **Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada**. Canada Mortgage and Housing Corporation, 1999. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenhariacivil/162/sistemas-construtivos-287779-1.aspx>. Acesso em: 03 ago. 2022.

PELLEGRINI, J. B. R. Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino - Agudo – RS. 2005. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

PEREIRA, J. S.; LIMA, L. F.; PORTELA, R. M.; VIEIRA, A. F.; TAKANE, R. J. **Desenvolvimento de mudas de kalanchoe sob diferentes níveis crescentes de condutividade elétrica**. 2015. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015c/agrarias/desenvolvimento%20de%20mudas%20de%20kalanchoe.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2022.

PEREIRA JÚNIOR, A. A. M.; SILVA, S. A. O. **Montagem de telhado verde com a utilização de materiais de baixo custo**. Projeto No. 604. Monografia apresentada ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte: CEFET, 2011. Disponível em: <https://www.scribd.com/document/325561474/Montagem-de-Um-Telhado-Verde-Com-a-Utilizacao-de-Materiais-de-Baixo-Custo>. Acesso em: 03 ago. 2022.

PERONI, Leonardo. **Substratos renováveis na produção de mudas de Eucalyptus grandis**. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/5823/1/LeonardoPeroni-2012-trabalho.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2023.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M. A. (2013). **Guia de Interpretação de Análise de Solo e Foliar**. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/40/1/Guia-interpretacao-analise-solo.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2023.

PESSOA, Jonas Onis. **Qualidade e quantidade de águas pluviais escoadas a partir de telhados verdes extensivos em Santa Maria-RS**. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7661/PESSOA,%20JONAS%20ONIS.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 22 out. 2023.

QUEIROZ, Affonso. *Kalanchoe laetivirens*. 2021. Disponível em: <https://affonsoqueiroz.blogspot.com/2021/06/kalanchoe-laetivirens.html>. Acesso em: 03 maio 2023.

RAC, D.P. Disponibilit  em eau d s substrates horticoles. *Revue Suisse de Viticulture Arboriculture Horticultrale*, v.17, n.3, p.177-178, Mai/Juin 1985.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: Blucher, 1991. 332 p.

REBOLLAR, N. A. P.; REBOLLAR, P. B. **Telhados verdes: uma abordagem multidisciplinar**. Florianópolis: LEDIX, 2017. p. 17-122.

RECIFE. **Lei n . 18.112, de 12 de janeiro de 2015**. Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edifica es por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências. Recife: Câmara Municipal, 2015.

REIS E SILVA, D. F. Telhados Verdes Associados com Sistema de Aproveitamento de água da Chuva: Qualidade da  gua Drenada e Potencial de Economia de  gua Potável. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

REYES, R.; BUSTAMANTE, W.; GIRON S, J.; PAST N, P. A.; ROJAS, V.; SUÁREZ, F.; VERA, S.; VICTORERO, F. & BONILLA, C. A. (2016). Effect of substrate depth and roof layers on green roof temperature and water requirements in a semi-arid climate. *Ecological Engineering*, 97, 624–632. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.025>.

ROCHA, Ranny Scarllet Tavares Marcolino da. **Desempenho térmico de telhado verde ecológico de baixo custo em clima semiárido**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2020.

ROCHA, A. F. S.; MARTINS, S. R. R.; COSTA, R. R. G. F. (2014). Acidez do solo sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Quirinópolis. Disponível em: [file:///C:/Users/M%C3%A1rcia/Downloads/3149-Texto%20do%20artigo-9121-2-10-20140922%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/M%C3%A1rcia/Downloads/3149-Texto%20do%20artigo-9121-2-10-20140922%20(1).pdf). Acesso em: 03 ago. 2023.

ROLA, Sylvia Meimaridou, **A Natural  o como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: estudo da capacidade do sistema de natural  o em filtrar a água de chuva**. 2008. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Sylvia_Meimaridou_Rola.pdf. Acesso em: 03 ago. 2022.

ROWE, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*, 159(8-9), 2100-2110.

SPEAK, A.F., Rothwell, J.J., Lindley, S.J., Smith, C.L. Metal and nutrient dynamics on an aged intensive green roof. **Environmental Pollution**. v.184, p. 33-43, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.017>.

S , R. A. B. D., Rodrigues, C. O. M. **O telhado verde no clima semiárido: um estudo de viabilidade para construções em pau dos ferros**. 2018. Disponível em:

<<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/50779>>. Acesso em: 06 ago. 2022.

SANTOS, P.S. (1975) Tecnologia de argilas: Fundamentos. São Paulo: Edgard Blucher, 340 p.

SANTOS, C. B.; LONGHI, S. J.; HOPPE, J. M.; MOSCOVICH, F. A. efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L. F.) D. Don. **Ciência Florestal**, Santa Maria 10(2): 1-15. 2000.

SANTOS, L. R. L.; LIMA, J. V. F.; NETO, L. T.; ROLEMBERG, R. R.; GONZAGA, G. B. M. Telhado verde: uma proposta sustentável para a construção civil. *Caderno de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas – UNIT*, Alagoas, v. 4, n. 2, 2017.

Disponível em:

<<https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/download/5213/2568/14594#:~:text=Green%20Building.&text=O%20Telhado%20verde%20%C3%A9%20uma%20t%C3%A9cnica%20construtiva%20que%20consiste%20na,f%C3%A1bricas%2C%20escrit%C3%B3rios%20e%20outras%20edifica%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em: 03 ago. 2022.

SAKAGAMI, Tatiana Akemi. **Desempenho hidrológico de telhado verde extensivo**. 2016. Disponível em:

<<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/155135>>. Acesso em: 06 ago. 2022.

SAVI, Adriane Cordone. **Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na cidade de Curitiba**. 2015. Disponível em:< <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/42102/R%20-%20D%20-%20ADRIANE%20CORDONI%20SAVI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 06 ago. 2022.

SAVVAS, D.; GRUDA, N. **Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – A review**. *European Journal of Horticultural Science*, v.83, n.5, p.280–293, 2018. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>.

SCARASSATTI, M. R. N., BENATTI, A. & MORAIS, E. B. (2021). Effect of maltand sugar cane bagasse in nutrient retention in extensive green roof substrates. *Research, Society and Development*,10, e3510312907.

SCHAFER, G. Plant substrate. *Ornamental Horticulture*, v.28, n.2, p.140-141, 2022. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v28i2.2459>.

SCHAFER, Gilmar.; SOUZA, Paulo Vitor Dutra; FIOR, Claudimar Sidnei. Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. *Horticultura Ornamental*, v.21, n.3, p.299-306, 2015. <https://doi.org/10.14295/oh.v21i3.735>.

SCHAFER, G, LERNER, B. L, **Physical and chemical characteristics and analysis of plant substrate**. *Ornamental Horticulture*, v.28, n.2, p.181-192, 2022. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v28i2.2496>.

SCHARF, Bernhard.; ZLUWA, Irene. Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof system. *Energy and Buildings* 151 (2017) 56-573.

SEIDL, M.; GROMAIRE, M. C.; SAAD, M., & De Gouvello, B. (2013). Effect of substrate depth and rain-event history on the pollutant abatement of green roofs. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 183, 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.026>.

SILVA, L. P. Transformações recentes na agropecuária nordestina - a situação do agreste de Pernambuco. In: Encontro Nacional de Geografia Agrária, XIX, 2009, São Paulo. Anais. São Paulo: 2009. pp. 1-26.

SILVA, Neusiane da Costa. TELHADO VERDE: SISTEMA CONSTRUTIVO DE MAIOR EFICIÊNCIA E MENOR IMPACTO AMBIENTAL. 2011. 60 p. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SILVA, Ênio Farias de França e Silva. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo. 2002. 136p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura, "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVA, Neusiane da Costa, 2011. **"Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental"**. Disponível em:<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9AEGBV/1/telhado_verde__sistema_construtivo_de_maior_efici_ncia_e_menor_impacto__ambiental.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2022.

SILVA, W. L. L., & OLIVEIRA, S. P. (2012). Modificação das características de adsorção do bagaço de cana para remoção de azul de metileno de soluções aquosas. *Scientia Plena*, 8(9), 1-9.

SILVA, Aline Sousa da. **Comparação entre professores e profissionais de outras áreas em relação ao uso da voz – uma análise estatística**. 2013. Disponível em: <URL completa>. Acesso em: 06 ago. 2022.

SILVA, Thomas Fernandes da. **Tecnologia alternativa em drenagem urbana: telhado verde**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017.

SINCERO, A. P.; SINCERO, G. A. *Physical Chemical Treatment of Water and Wastewater*. London: IWA Publishing, 2003.

SOUZA, Bruno Amorim de. **Análise comparativa da qualidade da água de chuva escoada por um telhado convencional e percolada por um sistema vegetado**. 2020. Disponível em:<<https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/47353>>. Acesso em: 06 ago. 2022.

STOVIN, Virginia; VESUVIANO, Gianni; KASMIN, Hartini. **The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions**. *Journal of Hydrology*, 2011.

TEEMUSK, A.; MANDER, Ü. **Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events**. *Ecological Engineering*. Oxford, v. 30, n. 3, p.271-277, 2007.

TRAN, S.; LUNDHOLM, J. T.; STANIEC, M.; ROBINSON, C. E; SMART, C. C.; VOOGT, J. A e CARROLL, D. M. Plant survival and growth on extensive green roofs: distributed experiment in three climate regions. **Ecological Engineering**, v. 127, n. September 2018, p. 494–503, 2019.

TEIXEIRA, C. A, BUDEL, M. A, CARVALHO K. Q. de, BEZERRA, S. M. da C. 2017. **Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 135-155, abr./jun. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000200150>.

TOLEDO, Lucas Queiroz Lopes Loures. **Análise preliminar da qualidade e quantidade da água do Ribeirão das Rosas em Juiz de Fora, MG**. 2019. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/Lucas-final.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2022.

TOMAZ, Plínio. **Telhado verde**. 2005. Disponível em: https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_bfa504956e664155b22974ef016e05a7.pdf?index=true. Acesso em: 03 ago. 2022.

TUCCI, C. Águas Urbanas – Desenvolvimento Urbano. Estudos avançados 22 (63), 2008.

VACARI, Thaisa Camila. (2015). Caracterização da qualidade da água pluvial retida em módulos experimentais de telhados verdes e o seu estudo como alternativa tecnológica para redução do volume da água pluvial escoada.

VALERO, R.M.M.; MATSURA, E.E.; SOUZA, A.L. de. Caracterização física de dois substratos orgânicos para plantas e a estimativa de umidade por meio da reflectometria no domínio do tempo. *Ciência Rural*, v. 39, n. 2, p. 571-574, 2009.

VILARIM, Maiana Borba. Desempenho térmico de telhado verde de baixo custo em região de clima tropical úmido. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/46963/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Maiana%20Borba%20Vilarim.pdf>>. Acesso em: 22 de maio de 2023.

VIJAYARAGHAVAN, K.; RAJA, F. D. Design and development of green roof substrate to improve runoff water quality: Plant growth experiments and adsorption. *Water Research*. v. 63, p. 94-101, 2014.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M.; & Balasubramanian, R. (2012). A field study to evaluate runoff quality from green roofs. *Water Research*, 46(4), 1337– 1345.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M. Can green roof act as a sink for contaminants? A methodological study to evaluate runoff quality from green roofs. **Environmental Pollution**, v. 194, p. 121–129, 2014.

VIJAYARAGHAVAN, K. Green Roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 740-752, 2016.

VIJAYARAGHAVAN, K.; REDDY, D. H. K., & YUN, Y. S. (2019). Improving the

quality of runoff from green roofs through synergistic biosorption and phytoremediation techniques: A review. *Sustainable Cities and Society*, 46(September 2018), 101381. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.12.009>.

VENTURA, B. G.; BARBOSA, E. C. N., NOVA, L. G. V. **Telhado verde: análise comparativa entre telhados verdes com camadas drenantes de argila expandida e cascalho, em relação ao fibrocimento**.2021. Disponível em:<<https://grupounibra.com/uploads/repositorio/engci-tcc-10.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2022.

VERDONCK, O.; Reviewing and evaluation of new materials used as substrates. *Acta Horticulturae*, n.150, pA67-473, 1983.

VERDONCK, O.; GABRIELS, R. Summary and discussion session standartization of analytical methods. *Acta Horticulturae*, n. 221, pA43-444, 1988.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Minas Gerais: UFMG, 1995.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª ed., Belo Horizonte: UFMG, 2014.

YEMAL, J. A.; TEIXEIRA, N. O. V.; NÄÄS, I. A. Sustentabilidade na construção civil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLENER PRODUCTION. 3., 2011, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo, 2011.

WERMEIER, K. F.; NOYA, M. G. **Plantas fitorremediadoras como auxílio na qualidade de água escoada de telhados verdes**.2019. Disponível em:<<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJT/article/download/7152/6242/18908>>. Acesso em: 03 ago. 2022.

WANG, H.; QIN, J.; HU, Y. Are green roofs a source or sink of runoff pollutants? *Ecological Engineering*, v. 107, p. 65–70, 1 out. 2017.

WILLES, Jorge Alex. **Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema**. 2014. Disponível em:<<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-03122014-171411/pt-br.php>>. Acesso em: 03 ago. 2022.

WONG, J. K. W., & LAU, L. S. K. (2013). From the “urban heat island” to the “green island”? A preliminary investigation into the potential of retrofitting green roofs in Mongkok district of Hong Kong. *Habitat International*, 39, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2012.10.005>

ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, 2005. 74 p. Disponível em:<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23802/15867/86331>>. Acesso em: 12 ago. 2022.

ZORZETO, Thais Queiroz. **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (Fragaria x ananassa Duch.)**.2011. Disponível em:

<<https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/pb1214709>>.pdf. Acesso em: 12 ago. 2023.

ZUIN, V. G.; IORIATTI, M. C.; MATHEUS, C. E. O Emprego de Parâmetros Físicos e Químicos para a Avaliação da Qualidade de Águas Naturais. Química Nova na Escola, v. 31 n. 1, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TEMPO DE RETENÇÃO E VOLUME COLETADO DAS AMOSTAS QUINZENAIS DOS ARRANJOS

COLETA	Arranjo 01- referência			Arranjo 02		
	Início da irrigação (Hrs)	Início da percolação (Hrs)	Volume coletado (ml)	Início da irrigação (Hrs)	Início da percolação (Hrs)	Volume coletado (ml)
Coleta 01 29/11/2022	10:11:00	10:26:00	2900	08:46:00	08:50:00	2930
Coleta 02 12/12/2022	10:35:00	10:38:00	2990	08:58:00	09:00:00	3170
Coleta 03 28/12/2022	08:45:00	08:50:00	3040	10:24:00	10:28:00	3100
Coleta 04 14/02/2023	11:11:00	11:13:00	3100	09:22:00	09:25:00	3200
Coleta 05 03/03/2023	10:15:00	10:26:00	2980	08:40:00	08:47:00	3260
Média (tempo / volume)	00:07:20		3002	00:04:00		3132

COLETA	Arranjo 03			Arranjo 04		
	Início da irrigação (Hrs)	Início da percolação (Hrs)	Volume coletado (ml)	Início da irrigação (Hrs)	Início da percolação (Hrs)	Volume coletado (ml)
Coleta 01 29/11/2022	10:12:00	10:16:00	3180	08:48:00	08:50:00	3220
Coleta 02 12/12/2022	10:08:00	10:11:00	3340	08:56:00	09:05:00	3140
Coleta 03 28/12/2022	08:44:00	08:50:00	3015	10:18:00	10:25:00	3110
Coleta 04 14/02/2023	11:14:00	11:15:00	3060	09:20:00	09:26:00	3120
Coleta 05 03/03/2023	10:15:00	10:17:00	3350	08:42:00	08:50:00	3120
Média (tempo / volume)	00:03:20		3189	00:06:40		3142

**APÊNDICE B – VALORES DA ÁGUA DESTILADA APLICADA AS AMOSTRAS
QUINZENAIS**

ÁGUA DESTILADA						
Parâmetros	Unidade	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta
		1	2	3	4	5
		29/11/2022	12/12/2022	28/12/2022	14/02/2023	03/03/2023
pH	-	6,95	7,06	8,88	5,57	7,48
Turbidez	uT	0,15	0,1	0,1	0,1	0,15
Cor	mg/L	0	0	0	0	0
aparente	Pt-Co					
Condutividade	dS/m	2,61	2,86	2,79	3,81	1,31

APÊNDICE C – VALORES OBTIDOS PARA O ARRANJO 1- REFERÊNCIA, NAS ANÁLISES QUINZENAIS

ARRANJO 01- REFERÊNCIA (SOLO COMERCIAL)						
Parâmetros	Unidade	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta
		1	2	3	4	5
		29/11/2022	12/12/2022	28/12/2022	14/02/2023	03/03/2023
pH	-	6,94	7,05	7,5	7,42	7,57
Turbidez	uT	76,5	110	35,7	18,6	21,7
Cor aparente	mg/L Pt-Co	2628	2729	1683	1797	1472
Cor verdadeira	mg/L Pt-Co	1844	1923	1446	1472	1205
Condutividade	dS/m	0,79	0,32	0,18	0,25	0,16
Amônia	mg/L	5,49	6,35	4,18	10,43	2,61
Fósforo	mg/L	18,61	19,01	12,92	12,33	9,84
Nitrato	mg/L	7,67	5,55	5,44	5,50	3,70
Nitrito	mg/L	0,14	0,15	0,08	0,05	0,04
Fosfato	mg/L	26,44	21,27	16,92	12,29	9,08
Ferro total	mg/L	4,50	5,42	2,73	2,52	2,05
Sulfato	mg/L	53,49	63,49	35,09	36,23	30,47
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	449	110	324	437	245
Dureza total	mg/L	70	68	46	64	48
Cálcio	mg/L	64	42	30	46	36
Cloreto	mg/L	45,49	40,49	18,99	28,49	23,49
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	97,81	80,03	76,08	77,06	64,22

**APÊNDICE D– VALORES OBTIDOS PARA O ARRANJO 2 NAS ANÁLISES
QUINZENAIS**

ARRANJO 02- (SOLO COMERCIAL + BAGAÇO DE COCO VERDE)						
Parâmetros	Unidade	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta
		1	2	3	4	5
		29/11/2022	12/12/2022	28/12/2022	14/02/2023	03/03/2023
pH	-	6,78	6,93	7,72	7,04	7,74
Turbidez	uT	32,4	54,4	25,6	23,3	18,2
Cor aparente	mg/L Pt-Co	1870	2013	1504	1280	1174
Cor verdadeira	mg/L Pt-Co	1421	1614	1238	1092	961
Condutividade	dS/m	0,72	0,277	0,19	0,1475	0,1538
Amônia	mg/L	6,28	5,23	11,78	1,86	2,38
Fósforo	mg/L	15,75	15,88	12,42	9,93	8,95
Nitrato	mg/L	4,86	4,24	3,66	3,81	14,71
Nitrito	mg/L	0,09	0,11	0,07	0,04	0,03
Fosfato	mg/L	24,92	23,54	20,33	14,79	7,76
Ferro total	mg/L	2,93	3,39	2,30	2,01	1,61
Sulfato	mg/L	47,08	64,72	32,26	23,77	24,25
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	348	162	270	262	243
Dureza total	mg/L	40	42	30	28	32
Cálcio	mg/L	38	30	16	16	20
Cloreto	mg/L	44,49	36,49	17,49	23,99	18,99
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	76,08	85,96	65,21	54,34	61,26

APÊNDICE E – VALORES OBTIDOS PARA O ARRANJO 3 NAS ANÁLISES QUINZENAIS

ARRANJO 03- (SOLO COMERCIAL + BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR)						
Parâmetros	Unidade	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta
		1	2	3	4	5
		29/11/2022	12/12/2022	28/12/2022	14/02/2023	03/03/2023
pH	-	7,08	7,11	7,63	7,45	7,61
Turbidez	uT	16,6	22,7	9,73	10,8	7,97
Cor aparente	mg/L Pt-Co	1245	1089	842	935	779
Cor verdadeira	mg/L Pt-Co	1091	890	749	842	698
Condutividade	dS/m	0,69	0,15	0,11	0,13	0,11
Amônia	mg/L	2,98	1,78	5,00	4,74	2,19
Fósforo	mg/L	11,16	9,52	7,76	7,82	6,10
Nitrato	mg/L	5,20	3,59	3,17	2,95	15,27
Nitrito	mg/L	0,06	0,07	0,05	0,02	0,01
Fosfato	mg/L	16,58	15,02	13,64	13,06	5,90
Ferro total	mg/L	2,00	1,93	1,43	1,47	1,14
Sulfato	mg/L	25,94	23,21	20,94	19,53	16,60
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	271	295	195	231	172
Dureza total	mg/L	32	22	18	24	20
Cálcio	mg/L	30	18	12	16	12
Cloreto	mg/L	30,99	29,99	16,49	21,49	18,99
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	64,22	46,436	49,4	45,448	39,52

APÊNDICE F – VALORES OBTIDOS PARA O ARRANJO 4, NAS ANÁLISES QUINZENAIS

ARRANJO 04- (SOLO COMERCIAL + CAQUEIRA DE TELHA)						
Parâmetros	Unidade	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta	Coleta
		1	2	3	4	5
		29/11/2022	12/12/2022	28/12/2022	14/02/2023	03/03/2023
pH	-	6,89	6,61	7,75	6,9	7,79
Turbidez	uT	75,5	57,1	31,4	34,1	19,1
Cor aparente	mg/L Pt-Co	2090	1537	1618	1300	964
Cor verdadeira	mg/L Pt-Co	1486	1114	1329	1016	790
Condutividade	dS/m	0,70	0,22	0,10	0,15	0,12
Amônia	mg/L	6,50	4,10	4,63	3,17	1,86
Fósforo	mg/L	19,76	11,10	11,93	8,83	6,71
Nitrato	mg/L	5,95	3,40	4,37	3,79	17,31
Nitrito	mg/L	0,23	0,10	0,08	0,04	0,02
Fosfato	mg/L	14,48	12,76	15,06	9,31	6,34
Ferro total	mg/L	4,41	2,97	2,71	2,09	1,51
Sulfato	mg/L	44,62	37,26	30,75	26,04	19,15
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	333	197	272	256	210
Dureza total	mg/L	46	38	38	24	24
Cálcio	mg/L	20	26	20	16	18
Cloreto	mg/L	32,99	34,49	18,49	20,99	19,49
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	71,14	55,33	63,23	51,38	43,47

APÊNDICE G– ANÁLISE DA ANOVA PARA TODOS OS ARRANJOS A PARTIR DOS VALORES OBTIDOS NAS COLETAS QUINZENAIS

Parâmetros	Combinações	α	F	valor-P	F crítico	Similaridade
pH	Todos os arranjos	0,05	0,20	0,89701	3,24	Semelhança significativa
	AR1 e AR2	0,05	0,05	0,82728	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	0,21	0,65711	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR4	0,05	0,16	0,70394	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	0,32	0,58530	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,03	0,86904	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	0,48	0,50726	5,32	Semelhança significativa
Turbidez	Todos os arranjos	0,05	2,46	0,09972	3,24	Semelhança significativa
	AR1 e AR2	0,05	1,34	0,28114	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	4,08	0,07816	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR4	0,05	0,20	0,66832	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	6,26	0,03687	5,32	Diferença significativa
	AR2 e AR4	0,05	1,13	0,31912	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	8,17	0,02120	5,32	Diferença significativa
Cor aparente	Todos os arranjos	0,05	5,84	0,00682	3,24	Diferença significativa
	AR1 e AR2	0,05	2,62	0,14408	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	15,97	0,00397	5,32	Diferença significativa
	AR1 e AR4	0,05	3,11	0,11591	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	10,32	0,01238	5,32	Diferença significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,07	0,79503	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	6,58	0,03340	5,32	Diferença significativa
Cor verdadeira	Todos os arranjos	0,05	7,08	0,00304	3,24	Diferença significativa
	AR1 e AR2	0,05	3,12	0,11522	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	23,27	0,00132	5,32	Diferença significativa
	AR1 e AR4	0,05	5,70	0,04397	5,32	Diferença significativa
	AR2 e AR3	0,05	9,34	0,01569	5,32	Diferença significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,50	0,50110	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	4,44	0,06818	5,32	Semelhança significativa
Condutividade	Todos os arranjos	0,05	0,16	0,92191	3,24	Semelhança significativa
	AR1 e AR2	0,05	0,07	0,79576	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	0,39	0,55034	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR4	0,05	0,27	0,61967	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	0,14	0,72005	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,07	0,80126	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	0,01	0,91510	5,32	Semelhança significativa
Amônia	Todos os arranjos	0,05	0,94	0,44653	3,24	Semelhança significativa
	AR1 e AR2	0,05	0,02	0,89300	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	2,82	0,13146	5,32	Semelhança significativa

Fósforo	AR1 e AR4	0,05	1,33	0,28227	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	1,31	0,28607	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,56	0,47470	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	0,49	0,50238	5,32	Semelhança significativa
	Todos os arranjos	0,05	2,32	0,11386	3,24	Semelhança significativa
	AR1 e AR2	0,05	0,71	0,42377	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	9,08	0,01671	5,32	Diferença significativa
	AR1 e AR4	0,05	1,00	0,34585	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	6,04	0,03942	5,32	Diferença significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,12	0,73639	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	1,80	0,21652	5,32	Semelhança significativa
	Todos os arranjos	0,05	0,08	0,97117	3,24	Semelhança significativa
Nitrato	AR1 e AR2	0,05	0,09	0,76593	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	0,04	0,85315	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR4	0,05	0,27	0,62005	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	0,005	0,94650	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,04	0,83903	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	0,07	0,79867	5,32	Semelhança significativa
	Todos os arranjos	0,05	1,00	0,41804	3,24	Semelhança significativa
	AR1 e AR2	0,05	0,55	0,48049	5,32	Semelhança significativa
Nitrito	AR1 e AR3	0,05	3,62	0,09371	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR4	0,05	0,00	0,94587	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	2,30	0,16766	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,34	0,57491	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	1,77	0,21968	5,32	Semelhança significativa
	Todos os arranjos	0,05	1,65	0,21715	3,24	Semelhança significativa
	AR1 e AR2	0,05	0,06	0,81529	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	1,46	0,26109	5,32	Semelhança significativa
Fosfato	AR1 e AR4	0,05	2,55	0,14898	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	2,21	0,17541	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR4	0,05	3,52	0,09753	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	0,26	0,62650	5,32	Semelhança significativa
	Todos os arranjos	0,05	3,00	0,06177	3,24	Semelhança significativa
	AR1 e AR2	0,05	1,91	0,20413	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	7,73	0,02394	5,32	Diferença significativa
	AR1 e AR4	0,05	0,76	0,40782	5,32	Semelhança significativa
Ferro total	AR2 e AR3	0,05	5,70	0,04402	5,32	Diferença significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,25	0,63316	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	4,95	0,05667	5,32	Semelhança significativa
	Todos os arranjos	0,05	3,08	0,05743	3,24	Semelhança significativa
	AR1 e AR2	0,05	0,28	0,60895	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	12,02	0,00848	5,32	Diferença significativa
	AR1 e AR4	0,05	0,76	0,40782	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	5,70	0,04402	5,32	Diferença significativa
Sulfato	AR2 e AR4	0,05	0,25	0,63316	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	4,95	0,05667	5,32	Semelhança significativa

Sólidos Dissolvidos Totais	AR1 e AR4	0,05	2,52	0,15132	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	4,64	0,06334	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,58	0,46690	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	4,85	0,05868	5,32	Semelhança significativa
	Todos os arranjos	0,05	0,79	0,51881	3,24	Semelhança significativa
	AR1 e AR2	0,05	0,64	0,44574	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	1,42	0,26680	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR4	0,05	0,77	0,40563	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	0,42	0,53697	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,01	0,93157	5,32	Semelhança significativa
Dureza total	AR3 e AR4	0,05	0,39	0,54990	5,32	Semelhança significativa
	Todos os arranjos	0,05	15,96	0,00005	3,24	Diferença significativa
	AR1 e AR2	0,05	18,30	0,00269	5,32	Diferença significativa
	AR1 e AR3	0,05	40,91	0,00021	5,32	Diferença significativa
	AR1 e AR4	0,05	14,23	0,00545	5,32	Diferença significativa
	AR2 e AR3	0,05	9,22	0,01614	5,32	Diferença significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,01	0,94004	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	4,73	0,06127	5,32	Semelhança significativa
	Todos os arranjos	0,05	8,49	0,00132	3,24	Diferença significativa
	AR1 e AR2	0,05	7,37	0,02650	5,32	Diferença significativa
Cálcio	AR1 e AR3	0,05	15,25	0,00451	5,32	Diferença significativa
	AR1 e AR4	0,05	15,40	0,00439	5,32	Diferença significativa
	AR2 e AR3	0,05	1,38	0,27447	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR4	0,05	0,74	0,41447	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	0,42	0,53575	5,32	Semelhança significativa
	Todos os arranjos	0,05	0,64	0,59925	3,24	Semelhança significativa
	AR1 e AR2	0,05	0,18	0,68111	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	1,79	0,21713	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR4	0,05	0,99	0,34790	5,32	Semelhança significativa
	AR2 e AR3	0,05	0,61	0,45690	5,32	Semelhança significativa
Cloreto	AR2 e AR4	0,05	0,23	0,64663	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	0,14	0,71837	5,32	Semelhança significativa
	Todos os arranjos	0,05	6,91	0,00338	3,24	Diferença significativa
	AR1 e AR2	0,05	1,81	0,21534	5,32	Semelhança significativa
	AR1 e AR3	0,05	19,47	0,00225	5,32	Diferença significativa
	AR1 e AR4	0,05	9,40	0,01543	5,32	Diferença significativa
	AR2 e AR3	0,05	7,92	0,02271	5,32	Diferença significativa
	AR2 e AR4	0,05	2,51	0,15161	5,32	Semelhança significativa
	AR3 e AR4	0,05	1,57	0,24588	5,32	Semelhança significativa
Alcalinidade						

permitido por norma													
Condutividade	dS/m	0,325	0,328	0,319	0,358	0,199	0,233	0,245	0,275	-	Valores dentro do permitido	-	-
Valor de amônia permitido por norma	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 5	-	-
Amônia	mg/L	1,67	0,66	2,49	0,58	1,41	1,18	2,04	0,58	-	Valores dentro do permitido	-	-
Valor de fósforo permitido por norma	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 0,124	≤ 2	-	-
Fósforo	mg/L	11,02	5,57	11,79	6,65	8,16	6,99	8,53	5,41	Valores acima do permitido	Valores acima do permitido	-	-
Valor de nitrato permitido por norma	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 0,40	≤ 10	-	-
Nitrato	mg/L	3,96	3,38	3,36	1,94	3,94	5,78	3,17	3,70	Valores acima do permitido	Valores dentro do permitido	-	-
Valor de fosfato permitido por norma	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 2	-	-
Fosfato	mg/L	18,88	7,90	19,82	9,55	16,07	12,66	13,60	9,15	-	Valores acima do permitido	-	-
Valor de ferro total permitido por norma	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 0,3	≤ 5,0	-	-

Ferro total	mg/L	1,93	0,68	2,30	0,59	1,38	1,30	2,30	1,94	Valores acima do permitido	Valores dentro do permitido	-	-
Valor de <u>sulfato</u> permitido por norma	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 250	≤ 960,6	-	-
Sulfato	mg/L	23,30	11,79	22,55	8,96	23,58	14,72	17,55	10,28	Valores dentro do permitido	Valores dentro do permitido	-	-
Valor de sólidos dissolvidos totais permitido por norma	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 2000	-	≤ 200
Sólidos dissolvidos Totais	mg/L	335	310	305	300	253	221	298	278	-	Valores dentro do permitido	-	Valores acima do permitido
Valor de dureza total permitido por norma	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureza total	mg/L	58	28	36	20	28	18	22	20	-	-	-	-
Valor de cálcio permitido por norma	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 400,8	-	-
Cálcio	mg/L	42	24	26	16	14	12	16	12	-	Valores dentro do permitido	-	-
Valor de cloreto permitido por norma	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 1063,8	-	-
Cloreto	mg/L	34,49	38,49	41,49	43,99	40,49	29,49	43,99	37,99	-	Valores dentro do permitido	-	-
Valor de alcalinidade	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,0 - 8,5	-	-

permitido por norma													
Alcalinidade	mg/L	270,71	241,07	227,24	201,55	154,13	150,18	160,06	150,18	-	Valores acima do permitido	-	-