

IX-058 – ESTUDO DE TRATABILIDADE DA ÁGUA DE CHUVA PARA O APROVEITAMENTO EM USOS NÃO POTÁVEIS EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO

Débora Lage Moura⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Faculdade de Ciências Administrativas e Contábeis de Itabira (FACCI) / Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira. (FUNCESI).

Lidiane do Carmo Silva

Engenheira Ambiental pela Faculdade de Ciências Administrativas e Contábeis de Itabira (FACCI) / Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira. (FUNCESI).

Débora Brito Neves

Engenheira Ambiental pela Faculdade de Ciências Administrativas e Contábeis de Itabira (FACCI) / Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira. (FUNCESI).

Paulo de Castro Vieira

Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Nova Era, 569 - Vila Piedade - Itabira - MG - CEP: 35900-199 - Brasil - Tel: (31) 9624-1805 - e-mail: binha.lage89@gmail.com

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo o estudo de tratabilidade da água de chuva para o aproveitamento em usos não potáveis em uma instituição de ensino superior. Foram realizados os ensaios de sedimentação, filtração e desinfecção nas amostras de água de chuva coletadas no coletor experimental de captação e reservação, sendo os de sedimentação e filtração com o objetivo da remoção de sólidos suspensos e dissolvidos reduzindo os valores de cor aparente, cor real e turbidez, e o de desinfecção com o objetivo de remover os microrganismos reduzindo o número de coliformes e *E. coli* das amostras. Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos adotados para a caracterização qualitativa da água de chuva bruta e após os ensaios de tratabilidade foram: pH, cor (aparente e real), turbidez, sólidos sedimentáveis, alcalinidade total, condutividade elétrica e coliformes (termotolerantes e *E.coli*). Quanto à qualidade da água de chuva, observou-se que as amostras coletadas após alguns dias sem chuva e referentes às precipitações de menores volumes apresentaram qualidade inferior àquelas coletadas em dias sucessivos de chuva e referentes às precipitações de maiores volumes, devido à atmosfera e superfície de captação estar mais limpas, favorecendo a redução do acúmulo de sólido no telhado e maior diluição do mesmo. A etapa de sedimentação, foi eficiente para os parâmetros pH e turbidez tendo os melhores valores encontrados para a etapa de sedimentação 15 min para o pH, e nas etapas de sedimentação 30 e 45 min para a turbidez. A etapa de filtração, foi eficiente nas etapas de filtração, e sedimentação 15 min + filtração para o pH, e nas etapas de sedimentação 15 e 30 + filtração para turbidez. Para a cor aparente não foi obtido a eficiência completa. A etapa de desinfecção, foi eficiente nas etapas de sedimentação 15 e 30 min + desinfecção para o pH, nas etapas de filtração + desinfecção, sedimentação 15 e 30 min + filtração + desinfecção para turbidez, e em todas as etapas para p cloro total. Para a cor aparente não foi obtido a eficiência completa. Para o coliforme total a etapa de desinfecção não foi eficiente, já para a *E. coli* a etapa de desinfecção foi eficiente nas duas ultimas análises que tiveram as dosagens maiores. Conclui-se, portanto, que através dos ensaios de tratabilidade observou-se que em todas as etapas de sedimentação, filtração e desinfecção os valores dos parâmetros cor e turbidez apresentaram-se inferiores aos valores observados na água bruta.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento de água de chuva, usos não potáveis, tratamento, sedimentação, filtração e desinfecção.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica vem diminuindo ao longo dos anos, bem como a qualidade da água, devido ao crescimento populacional acelerado e a contaminação e assoreamento dos recursos hídricos. Desta forma, novas alternativas de abastecimento têm surgido, o aproveitamento de água de chuva é uma delas.

O aproveitamento da água da chuva configura-se como uma importante fonte alternativa de abastecimento devido ao seu baixo custo, e por ser de fácil acesso à população e de simples instalação.

A utilização de águas pluviais, como fonte alternativa ao abastecimento de água requer a gestão da qualidade e quantidade. Podendo ser utilizada desde que haja controle de sua qualidade e verificação da necessidade de tratamento específico, de modo que não comprometa a saúde dos usuários, nem a qualidade dos componentes do sistema (ANA/FIESP e SindusCon, 2005).

Segundo ANA/FIESP e SindusCon (2005), o sistema de tratamento das águas pluviais depende da qualidade da água coletada e do seu destino final. Para os usos mais comuns em edifícios, como por exemplo, irrigação de áreas verdes e lavagens de pisos, recomenda-se a filtração simples, sistema químico (com correção de pH) e desinfecção.

Os padrões de qualidade e o tratamento da água de chuva dependerão dos usos previstos. Para usos não potáveis restritivos são recomendados de acordo com a NBR ABNT 15.527/ 2007.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para definição das precipitações amostradas, foi realizado um levantamento dos percentis de chuva local, com base em uma série pluviométrica de oito anos (2003 a 2010), onde determinou-se as precipitações mais frequentes no município: 5 mm, 10 mm, 15 mm e 20 mm, figura 1. Desta forma adotou-se a amostragem mínima de 5 (cinco) precipitações para cada um dos quatro percentis de maiores frequências observados.

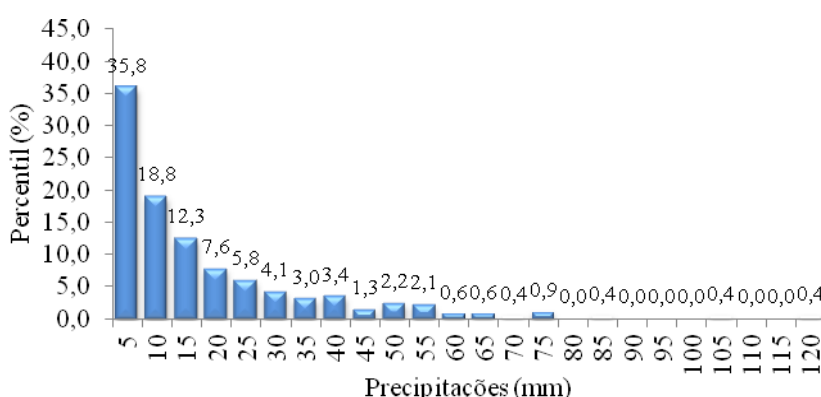


Figura 1: Frequência acumulada das precipitações na cidade de Itabira/MG

Para caracterização da água de chuva, foram coletadas amostras a partir de coletor experimental instalado no laboratório de controle ambiental da instituição de ensino superior na cidade de Itabira-MG, constituído pelos componentes de captação e reservação: telhado do laboratório de controle ambiental (área de 144,5 m²); calhas condutoras da água captada; tubulação de coleta (100 mm); e reservatório (1000 L) constituído de polietileno. O reservatório possuía ainda um extravasor na parte superior e uma válvula na parte inferior que permite que o reservatório seja esvaziado para manutenção e limpeza. Vale ressaltar que o telhado do laboratório de controle ambiental é constituído de telhado de amianto, e o sistema não possui nenhum dispositivo para descarte das primeiras chuvas. Após cada coleta, a água acumulada no reservatório era descartada para limpeza, e assim aguardar a próxima chuva.

Com o objetivo de avaliar a qualidade da água de chuva e a possibilidade de utilizar-la para usos não potáveis no campus da instituição de ensino superior, foram realizadas análises físico-químicas na água bruta e após os ensaios de sedimentação, filtração e desinfecção.

Os ensaios de tratabilidade foram realizados seguindo a ordem: 1º caracterização da água bruta; 2º ensaios de sedimentação; 3º ensaios de filtração; e 4º ensaios de desinfecção. Os ensaios de sedimentação foram realizados para determinação das eficiências de remoção do material coloidal em suspensão para diversos tempos de sedimentação. Os ensaios de filtração foram realizados com o intuito de remoção de partículas em suspensão e de cor diretamente da água bruta e após a etapa de sedimentação. Com o intuito de remoção de

possíveis organismos patogênicos foram realizados ensaios de desinfecção nas amostras brutas e após as etapas de sedimentação e filtração. Na Figura 2 é apresentado o fluxograma geral dos ensaios de tratabilidade realizados para as amostras de água de chuva coletadas.

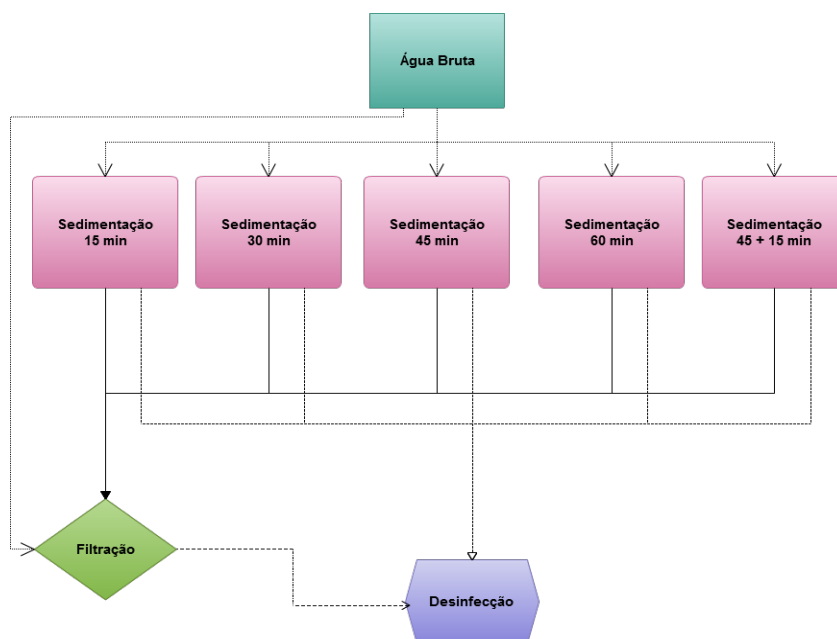


Figura 2: Fluxograma dos ensaios de tratabilidade

Na primeira etapa foi realizado os ensaios de sedimentação, que consistiu em colocar 1L de água bruta coletada do coletor experimental em provetas graduadas de vidro com capacidade de 1000 ml. Os tempos de amostragem adotados durante o ensaio foram de 15 em 15 minutos até o tempo final de 60 minutos. Além disso, foi realizado mais um experimento na etapa de sedimentação, que consistiu em colocar 1L de água bruta coletada do coletor experimental em provetas graduada de vidro com capacidade de 1000 ml, analisando os mesmos parâmetros da etapa anterior (pH, cor aparente e turbidez), e que o tempo observado para essa etapa de sedimentação seria 45 min e, após este tempo foi deslocado delicadamente as partículas aderidas à parede da proveta por meio de movimentos circulares com um bastão de vidro e deixou decantar por mais 15 minutos. Resultando assim em cinco análises de sedimentação, sedimentação 15 minutos, sedimentação 30 minutos, sedimentação 45 minutos, sedimentação 60 minutos e sedimentação 45+15. Os parâmetros de qualidade monitorados neste etapa foram: pH, cor aparente, cor real, turbidez e observado o volume de sólidos sedimentado no fundo da proveta.

Na segunda etapa foram realizados os ensaios de filtração que consistiu na filtração de 1L da amostra de água bruta coletada do coletor experimental em um filtro convencional de carvão e areia (tipo utilizado em bebedouros de água potável) devido à facilidade de encontrá-lo em mercados não especializados e ao seu baixo custo. Este mesmo ensaio foi realizado também com a filtração de 1L da amostra sedimentada. Resultando assim em seis análises de filtração: filtração direta e as filtrações após a sedimentação de 15 minutos, 30 minutos, 45 minutos, 60 minutos e 45+15 minutos. Os parâmetros de qualidade analisados após a filtração foram: pH, cor aparente e turbidez.

A terceira etapa foi à realização por meio dos ensaios de desinfecção, que consistiu na desinfecção de todas as amostras obtidas nos dois ensaios anteriores, utilizando o hipoclorito de sódio como agente desinfetante. Foi adotado o tempo de contato de 30 minutos, e determinando o volume a ser dosado. Posteriormente foram realizadas análises de presença/ausência de coliformes Totais e *Escherichia Coli* para determinação das eficiências de remoção.

O volume de água utilizado, a dosagem de cloro, o tempo de contato e o cloro total resultante da desinfecção estão detalhados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 - Dosagem de cloro

Volume de água (ml)		Dosagem (mg/L)		Tempo de contato (minutos)	Cloro Total (mg/L)	
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
300	1000	3,3 x 10 ⁻⁵	5,0 x 10 ⁻³	30	0,30	4,00

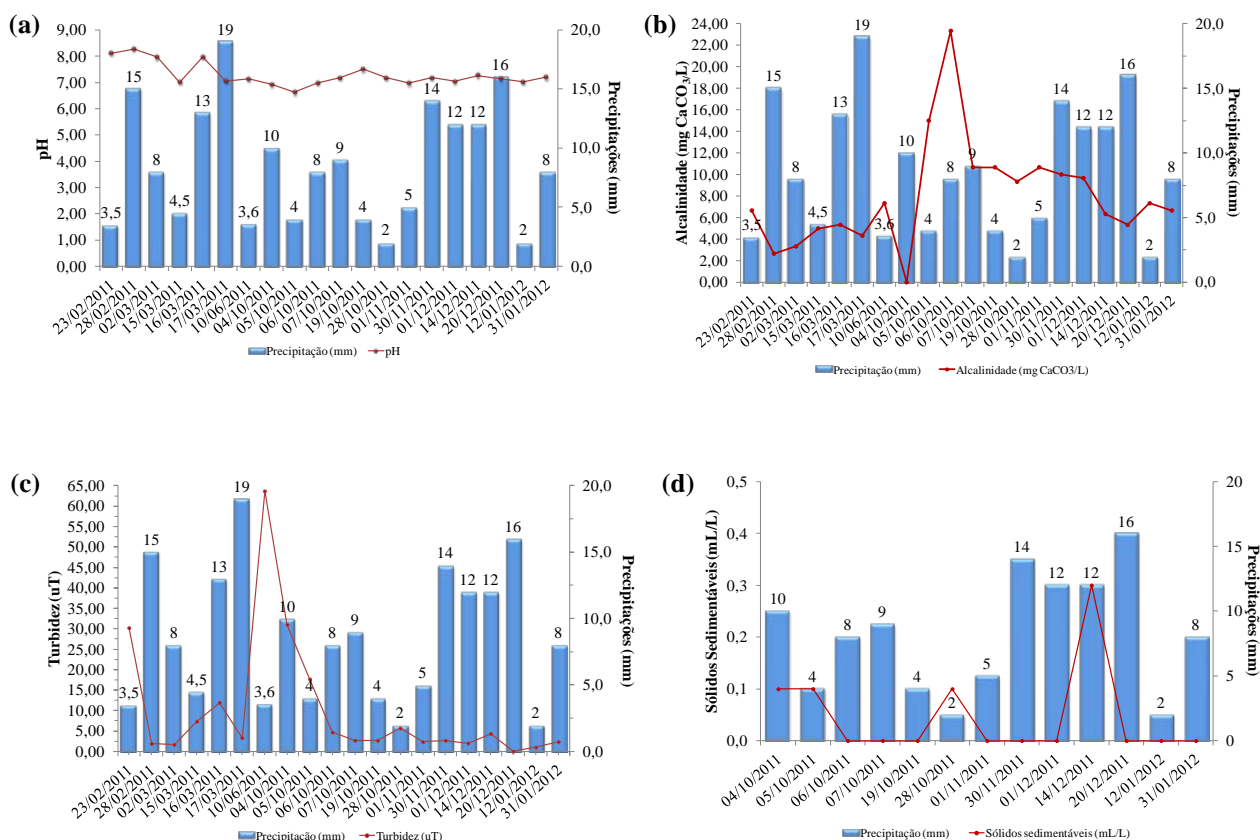
Pôde ser observado que ao longo do estudo foram utilizadas diferentes dosagens de hipoclorito de sódio, para melhor eficiência de remoção de coliformes totais e *E. coli*.

No Brasil não existe legislação federal específica para o aproveitamento de água de chuva que estabeleça os padrões de qualidade que esta água deve atender e os usos a que a mesma pode ser destinado, portanto, os resultados encontrados das análises pós-tratamento foram comparados aos limites estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde 2.914 de 2011 e limites sugeridos pela ABNT NBR 15.527 de 2007.

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos adotados para a caracterização qualitativa da água de chuva bruta e após os ensaios de tratabilidade foram: pH, cor (aparente e real), turbidez, sólidos sedimentáveis, alcalinidade total, condutividade elétrica e coliformes (termotolerantes e *E.coli*). As análises físico-químicas foram realizadas no próprio laboratório de Controle Ambiental, seguindo as metodologias de análises descritas em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* sugeridas por APHA/AWWA/WEF (2005). As análises de coliformes foram realizadas pelo laboratório do serviço de água e esgoto (SAAE) de Itabira.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Na Figura 3 são apresentados os resultados de pH, alcalinidade, turbidez, sólidos sedimentáveis, cor aparente e cor real em função das precipitações monitoradas (5 mm, 10 mm, 15 mm e 20 mm).



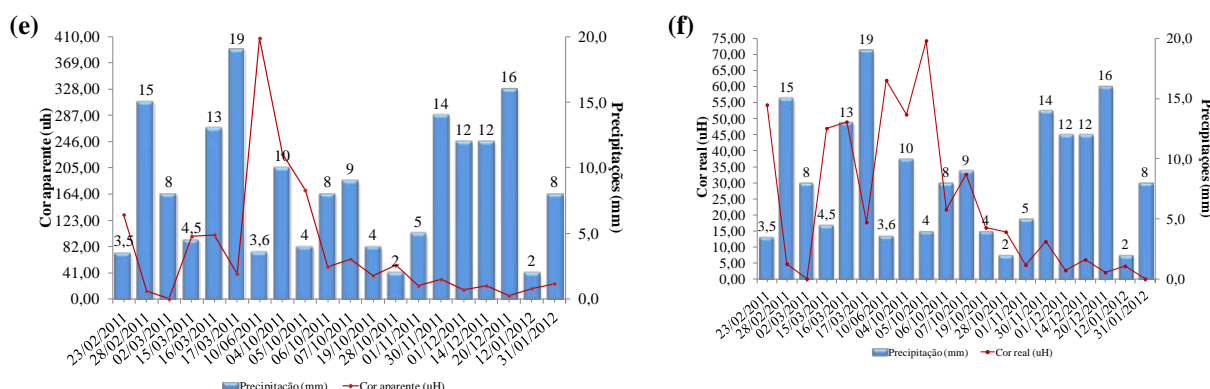


Figura 3: Resultados dos parâmetros físico-químicos e das precipitações observados nas amostras de água de chuva coletadas: (a) pH; (b) Alcalinidade; (c) Turbidez; (d) Sólidos sedimentáveis; (e) Cor aparente e (f) Cor real

Os valores de pH (a) observados podem estar associados à influência do material constituinte do telhado (amianto). Segundo Jacques *et al.* (2005), a composição do amianto apresenta 90% de cimento e apenas 10% de fibras de amianto crisotila, responsável pelo aumento do pH.

Ainda segundo Jacques *et al.* (2005), o material constituinte do reservatório, polietileno, pode ter influenciado nos valores observados de alcalinidade (b), já que o mesmo não libera grandes quantidades de materiais na água.

De forma geral, pôde-se perceber uma tendência na redução dos valores dos parâmetros monitorados turbidez, sólidos sedimentáveis e cor (aparente e real). Tal fato já era esperado visto que quanto maior o volume precipitado, maior a diluição dos materiais presentes no reservatório. Da mesma forma, as amostras coletadas em dias sucessivos de chuva, apresentaram valores dos parâmetros menores, devido ao menor acúmulo de materiais no telhado, que por consequência, foram carregados para o reservatório.

Os resultados médios e desvio padrão de pH, cor aparente e turbidez obtidos nos ensaios de sedimentação são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados médios e Desvio Padrão obtidos nos ensaios de sedimentação

Parâmetro	Água Bruta	Sedimentação				
		15 min	30 min	45 min	60 min	45+15 min
pH	7,14	7,40	7,68	7,73	7,80	7,70
	(0,17)	(0,19)	(0,36)	(0,41)	(0,24)	(0,30)
Cor Aparente (uH)	30,58	26,46	24,83	25,21	22,00	23,08
	(14,30)	(13,58)	(15,74)	(12,92)	(12,3)	(14,4)
Turbidez (uT)	2,95	1,50	1,52	1,54	1,43	1,56
	(1,85)	(0,45)	(0,66)	(0,69)	(0,62)	(0,64)

Média aritmética. () desvio padrão

O pH ao longo da etapa de sedimentação não apresentou significativa variação em relação ao da água bruta, podendo estar associado ao fato da água em questão não entrar em contato com nenhum reagente químico, sendo um processo físico. Os valores de pH na etapa de sedimentação estão dentro dos padrões de consumo humano estabelecidos pela Portaria 2.914/2011, pH entre 6,0 e 9,5. Observa-se ainda que os valores do pH se mantiveram na faixa de 6,75 a 8,25, valores mais alcalinos, o que não é comum, e a menor variação encontrada foi na etapa de sedimentação 15 min.

Para o parâmetro cor aparente pôde-se observar que houve grande variação de cor aparente na etapa de sedimentação, de 1,33 a 51,00. Para as etapas de sedimentação 15, 30, 45, 60 e 45 + 15 min verifica-se que os valores medianos não tiveram grande variação, diminuindo ao longo do tempo de sedimentação, reduzindo o valor de cor aparente como já era esperado. Já para as etapas de sedimentação 15, 45 e 60 observa-se uma grande variação entre o valor mínimo e o 1º quartil, figura 14, sendo verificados os menores valores de cor aparente nessas etapas. Para a sedimentação 30 min verifica-se uma maior variação entre a mediana e o 1º

quartil. Para a sedimentação 45 + 15 min é possível averiguar a maior variação dos valores entre a mediana e o 3º quartil, podendo estar associada ao deslocamento de partículas nos 15 min antecedentes da análise.

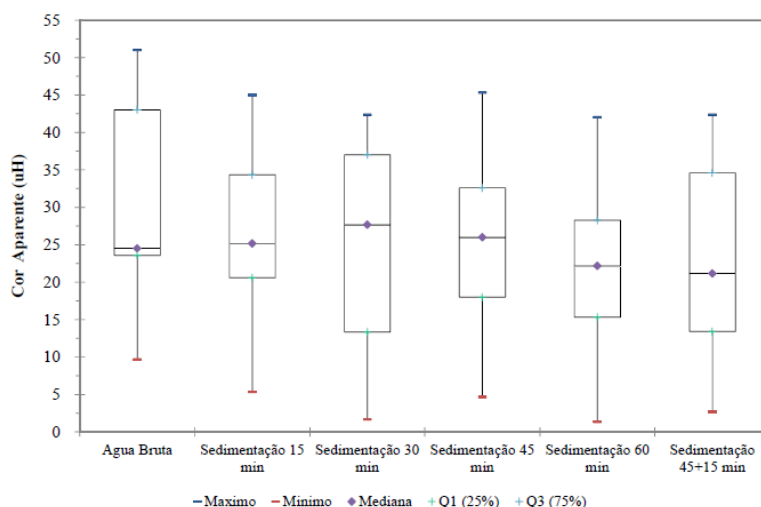


Figura 4 – Boxplot dos resultados de cor aparente após a etapa de sedimentação.

Conclui-se, contudo, que os valores de cor aparente na etapa de sedimentação são maiores que o valor estabelecido pela Portaria MS 518/2004 e Portaria 2.914/2011, 15 uH, observando uma eficiência de 12,5% na água bruta e na etapa de sedimentação 60 min, de 25% nas etapas de sedimentação 15 min, 30 min e 45 min, obtendo maior eficiência na etapa de sedimentação 45+15 min, com 37,5% dos valores abaixo do estabelecido pelas Portarias, e a menor variação encontrada foi na etapa de sedimentação 15 e 45 min.

Os resultados encontrados na água bruta tiveram significativa variação, pois a água em questão entra em contato com as partículas presentes no telhado, figura 5. Observa-se maiores valores de turbidez em relação a etapa de sedimentação. Nos resultados obtidos pode ser observado maior variação em relação à mediana e o 3º quartil, podendo estar associados ao tipo de telhado, e quantidade de particulado na atmosfera.

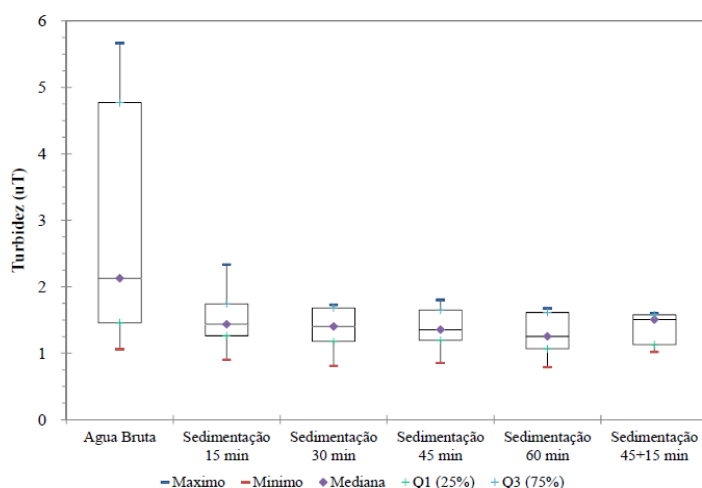


Figura 5 – Boxplot dos resultados de turbidez após a etapa de sedimentação

É possível verificar também que devido a grande variação entre a água bruta e após o tratamento, os sólidos presentes na água sejam partículas finas, pois se sedimentam rapidamente, evidenciado pela queda brusca nos valores máximos obtidos após o tratamento, também podendo estar associado à presença de particulado na atmosfera, pois a instituição está próxima a uma mina à céu aberto em funcionamento.

Para a sedimentação 15, 30, 45, 60 e 45 +15 min pode se verificar uma menor variação do valor mediano, verificando grande variação em relação à água bruta, podendo estar relacionada ao particulado atmosférico, pois a instituição está próxima a uma mina à céu aberto.

Para a etapa de sedimentação 15 min, verifica-se uma maior variação, podendo estar influenciada pelo menor tempo de sedimentação, ocasionado pela sedimentação incompleta de todas as partículas. Pode se observar, no entanto que para os outros tempos de sedimentação não tiveram significativa variação entre eles. Além disso, pode ser observado que os menores valores encontrados nas etapas de sedimentação, são nos tempos de 45 e 60 min, evidenciando a remoção de sólidos dissolvidos ao longo do tempo de sedimentação.

Conclui-se que os valores de turbidez na etapa de sedimentação estão dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria MS 2.914/2011, menor que 5 uT, e dentro do limite recomendado pela ABNT NBR 15.527/2007, que também é de 5 uT., exceto para o valor da água bruta que somente 75% das amostras se apresentaram dentro dos padrões estabelecidos.

Tabela 3 – Resultados médios e desvio padrão obtidos nos ensaios de filtração

Parâmetros	Água Bruta	Filtração	Sedimentação				
			15 min + Filtração	30 min + Filtração	45 min + Filtração	60 min + Filtração	45+15 min + Filtração
pH	7,14 (0,17)	7,41 (0,33)	7,53 (0,33)	7,69 (0,36)	7,73 (0,31)	7,75 (0,43)	7,67 (0,53)
Cor Aparente (uH)	30,58 (14,30)	23,88 (9,20)	21,75 (11,75)	21,13 (10,24)	18,71 (9,33)	17,75 (10,52)	19,54 (13,44)
Turbidez (uT)	2,95 (1,85)	1,83 (0,58)	1,43 (0,53)	1,37 (0,49)	1,42 (0,53)	1,38 (0,52)	1,43 (0,52)

Média aritmética. () desvio padrão

Os resultados obtidos de pH são mais alcalinos comprovados pela maior variação em relação à mediana e o 3º quartil, figura 6, podendo estar associados ao tipo de telhado, pois comumente a água de chuva é levemente ácida.

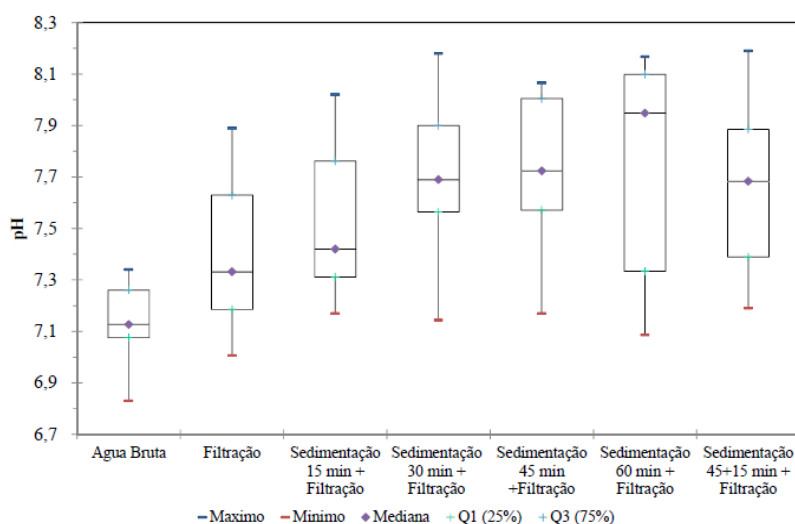


Figura 6 – Boxplot dos resultados de pH após a etapa de filtração

Pode ser averiguado que para a etapa de filtração sem o processo de sedimentação, ocorreu uma menor variação nos resultados obtidos, pode ser verificado ainda que a maior variação para esta etapa esta entre a mediana e o 3º quartil, valores mais alcalinos, estando associado ao tipo de meio filtrante do filtro (carvão ativado e areia).

Para a filtração e sedimentação 15 min + filtração, pode se verificar uma menor variação devido ao pouco tempo de sedimentação precedido, verificando pouca variação em relação à água bruta, somente quando comparamos a mediana com o 3º quartil, evidenciando uma maior variação para os valores mais alcalinos, podendo estar associada ao contato com o carvão ativado e areia presentes no filtro.

Já para a etapa de sedimentação 30 + filtração, verifica-se um aumento da variação dos resultados, tanto em relação ao valor mínimo e o 1º quartil quanto ao valor máximo e o 3º quartil, podendo estar associado ao tempo de sedimentação antecedido ao processo de filtração, indicando uma menor estabilidade e maior valor de pH neste processo. Verificando que para essas duas etapas não tiveram uma estabilidade para o valor do pH.

Pode ser observado para a etapa de sedimentação 45 min + filtração, uma maior variação entre os valores mínimos e o 1º quartil. Para a etapa de sedimentação 60 min + filtração, pode ser verificado uma maior variação entre a mediana e o 1º quartil. Entretanto, os valores máximos dessas etapas se mantiveram próximos, ao dos outros tempos de sedimentação. Verificando assim uma menor estabilidade dos resultados de pH nestas etapas.

Para a etapa de sedimentação 45 + 15 min + filtração pode ser verificado que manteve um padrão com as etapas de filtração e sedimentação 15 min + filtração, porém com valores mais altos, podendo estar associado ao tempo de sedimentação antecedido ao processo, ocasionando a decomposição da matéria orgânica ou pela solubilização da mesma.

É possível concluir que os valores de pH na etapa de filtração estão dentro dos padrões de consumo humano estabelecidos pela Portaria MS 518/2004 e Portaria 2.914/2011, pH entre 6,0 e 9,5. Observando ainda que os valores de pH se mantiveram na faixa de 6,75 a 8,25, obtendo resultados mais alcalinos, podendo estar associado ao meio filtrante (carvão ativado), e a menor variação encontrada para os resultados de pH foi nas etapas de filtração, e sedimentação 15 min + filtração.

Quanto ao parâmetro cor aparente na etapa de filtração pode-se averiguar grande variação dos valores de 2,33 a 51,00. Os resultados encontrados na água bruta tiveram grande variação, devido a grande quantidade de sólidos presente na amostra, pode-se observar que houve significativa variação entre a mediana e o 3º quartil, evidenciando os maiores valores de cor aparente em relação à etapa de filtração, figura 7.

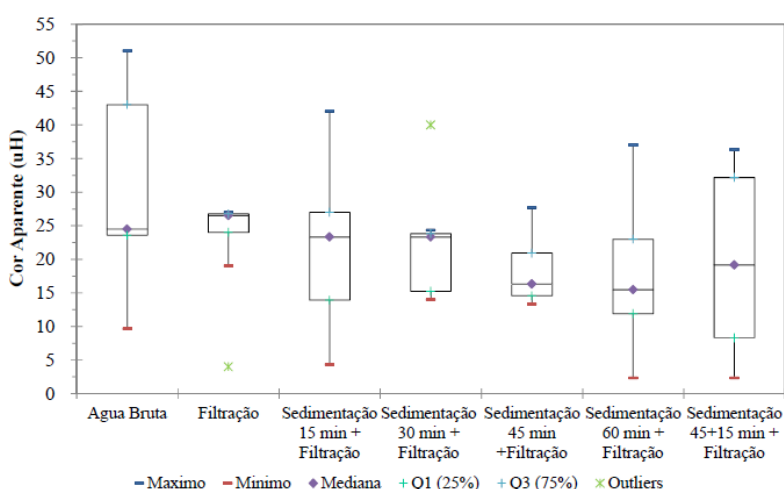


Figura 7 – Boxplot dos resultados de cor aparente após a etapa de filtração

Pode ser observado que para a etapa de filtração em geral, não se tem um padrão comportamental para o parâmetro cor aparente, em relação a etapa de sedimentação. Porém pode ser observado que os valores medianos tiveram um decaimento ao longo do processo de filtração, evidenciando a remoção da cor ao longo do processo.

Pode verificar ainda que as maiores variações dos resultados são encontradas nas etapas de sedimentação 15, 60, 45 + 15 min + filtração, obtendo assim os maiores e os menores resultados de cor em relação aos demais. É observado ainda que houve valores fora dos padrões (outliers), que foram os valores encontrados nos dias 24/03/2012 para a etapa de filtração, sendo esse valor encontrado menor que a mediana, e no dia 20/03/2012 para etapa de sedimentação 30 min + filtração, sendo este valor maior que a mediana.

Foi possível perceber que para a etapa de filtração foram obtidos as maiores eficiência de remoção de cor nas etapas de sedimentação 45 min + filtração, sedimentação 60 min + filtração e sedimentação 45 + 15 min +

filtração, evidenciando a remoção ao longo do tempo, podemos observar ainda que os dias que tiveram maior eficiência na remoção de cor foram os dias 14, 24 e 29, que foram precedidos de dias chuvosos, ocasionando a limpeza do telhado e com isso a menor percolação de materiais para o coletor experimental.

Pode-se concluir que os valores de cor aparente na etapa de filtração são maiores que o valor estabelecido pela Portaria MS 518/2004 e Portaria 2.914/2011, 15 uH, observando uma eficiência de 12,5% na água bruta e na etapa de filtração, de 25% na etapa de sedimentação 30 min + filtração, de 37,5% na etapa de sedimentação 15 min + filtração, obtendo maior eficiência nas etapas de sedimentação 45 + filtração, sedimentação 60 min + filtração e sedimentação 45 + 15 min + filtração, com 50% dos valores abaixo do estabelecido pelas Portarias, e as menores variações encontradas foram nas etapas de filtração, e sedimentação 45 min + filtração.

Os resultados de turbidez encontrados na água bruta tiveram significativa variação, com valores de 0,76 a 5,67, figura 8, pois a água em questão entra em contato com as partículas presentes no telhado. Observa-se maiores valores de turbidez em relação a etapa de filtração. Nos resultados obtidos pode ser observado maior variação em relação à mediana e o 3º quartil, podendo estar associados ao tipo de telhado, e quantidade de particulado na atmosfera.

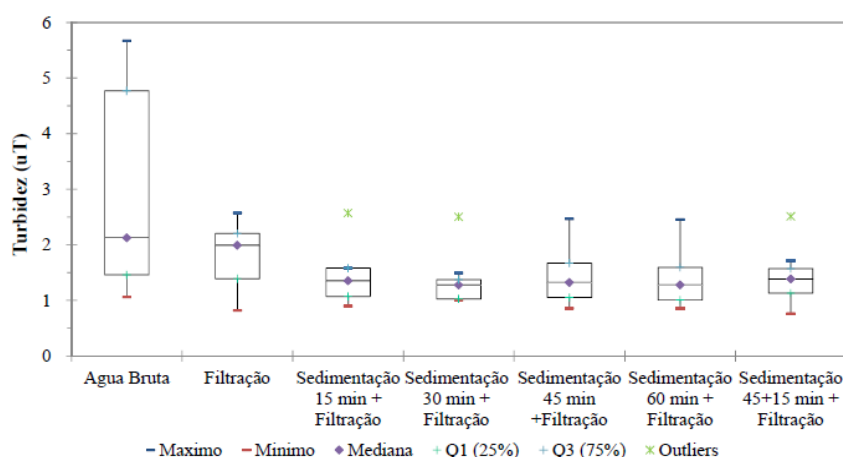


Figura 8 –Boxplot dos resultados de turbidez após a etapa de filtração

Pode ser observado que para a etapa de filtração em geral, uma significativa diminuição no valor de turbidez encontrado em relação ao da água bruta, evidenciando a eficiência de remoção de turbidez. Pode ser averiguado ainda que a mediana se manteve constante com mínima variação, diminuindo ao longo do processo.

Para a etapa de filtração pode ser observado maior variação dos resultados, podendo estar influenciada pela não sedimentação antecedente ao processo de filtração associada à quantidade de sólidos na água bruta, observando que obteve o maior valor Máximo em relação às outras etapas de filtração.

Para a etapa de sedimentação 15 e 30 min + filtração, é possível verificar a menor variação nos resultados, podendo estar associado ao menor tempo de sedimentação antecedente. É observado ainda que houve valores fora dos padrões (outliers), que foram os valores encontrados nos dias 20/03/2012 para a etapa de sedimentação 15, 30 e 45 + 15 min + filtração, sendo este valor maior que a mediana, podendo estar associado a uma maior concentração de partículas dissolvidas na água e pela presença de sólidos, pois a chuva anterior foi no dia 17, ficando assim 3 dias sem chuva, podendo ter acumulado sólidos no telhado.

Pode ser observado pouca variação para os valores medianos, sendo encontrado os menores valores nas etapas de sedimentação 30 min + filtração e sedimentação 60 min + filtração. Foi possível perceber que os dois dias, 14, 15 e 21 de março, que tiveram maior eficiência de remoção de turbidez foram precedidos de chuvas com maior intensidade pluviométricas ocasionando a diluição dos materiais presentes no telhado. Ainda é possível observar que já na etapa de filtração já obteve uma eficiência de remoção de turbidez em torno de 40 a 60%, e na etapa de sedimentação 15 min + filtração obteve uma eficiência de remoção de turbidez em torno de 70 a 80 %.

É possível concluir que os valores de turbidez na etapa de filtração estão dentro dos padrões, exceto para o valor da água bruta que somente 87,5% das amostras se apresentaram dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria MS 518/2004 e Portaria 2.914/2011, menor que 5 uT e a menor variação encontrada foi nas etapas de sedimentação 15 e 30 min + filtração.

Os resultados médios e desvio padrão observados obtidos nos ensaios de desinfecção são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Resultados médios e desvio padrão obtidos nos ensaios de desinfecção. (Continua)

Parâmetros	Água Bruta	Filtração	Sedimentação			
			15 min		30 min	
			-	+ Filtração	-	+ Filtração
			+ Desinfecção			
pH	7,14 (0,17)	7,68 (0,52)	7,81 (0,38)	7,78 (0,31)	7,85 (0,20)	7,81 (0,32)
Cor Aparente (uH)	30,58 (14,30)	9,75 (3,52)	18,50 (12,73)	10,92 (2,63)	16,33 (11,57)	10,25 (5,05)
Turbidez (uT)	2,95 (1,85)	0,81 (0,16)	1,11 (0,34)	0,84 (0,09)	0,98 (0,30)	0,77 (0,12)
Cloro Residual Total (mg/L)	-	2,18 (1,58)	2,28 (1,74)	2,14 (1,67)	2,33 (1,77)	2,19 (1,56)

Média aritmética. () desvio padrão

Tabela 5 - Resultados médios e desvio padrão obtidos nos ensaios de desinfecção (Conclusão)

Parâmetros	Sedimentação					
	45 min		60 min		45+15 min	
	-	+ Filtração	-	+ Filtração	-	+ Filtração
	+ Desinfecção					
pH	7,96 (0,23)	7,89 (0,29)	7,86 (0,29)	7,9 (0,28)	7,84 (0,44)	7,76 (0,57)
Cor Aparente (uH)	17,00 (14,25)	11,00 (3,60)	16,83 (4,75)	9,92 (3,40)	17,50 (12,35)	11,67 (10,04)
Turbidez (uT)	1,16 (0,70)	0,76 (0,22)	0,92 (0,29)	0,80 (0,23)	0,93 (0,37)	0,88 (0,50)
Cloro Residual Total (mg/L)	2,24 (1,77)	2,2 (1,55)	2,25 (1,79)	2,20 (1,53)	2,34 (1,79)	2,15 (1,64)

Média aritmética. () desvio padrão

Verificou-se que para etapa de desinfecção houve uma variação do pH na faixa de 6,83 a 8,27, figura 9. Os valores encontrados na água bruta não tiveram significativa variação, pois a água em questão não entra em contato com nenhum reagente químico. Observa-se menores valores de pH em relação a etapa de desinfecção, pois a água tratada entra em contato com o hipoclorito de sódio.

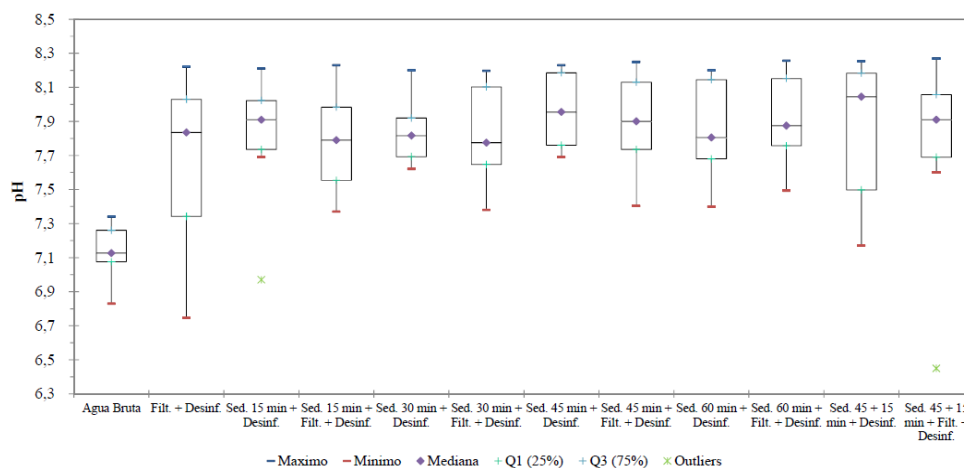


Figura 9 – Boxplot dos resultados de pH após a etapa de desinfecção

Pode ser constatado que para os resultados que tiveram a etapa de filtração anterior à desinfecção tiveram maior variação, podendo estar associado ao tipo de meio filtrante do filtro (carvão ativado e areia). Já para a etapa de sedimentação 15, 30, 45 e 60 min + desinfecção pode ser observado uma menor variação, sendo observado ainda que após a desinfecção o pH destas etapas são valores mais alcalinos, podendo estar associado ao contato com o hipoclorito de sódio.

Ainda pode ser verificado que para a etapa de sedimentação 45 + 15 min houve uma maior variação do pH em relação as outras etapas de sedimentação, podendo estar associado ao tempo de sedimentação e ao deslocamento das partículas nos últimos 15 min.

É possível concluir que os valores de pH na etapa de desinfecção estão dentro dos padrões de consumo humano estabelecidos pela Portaria MS 518/2004 e Portaria 2.914/2011, pH entre 6,0 e 9,5. Observando ainda que os valores do pH se mantiveram na faixa de 6,50 a 8,50, obtendo resultados mais alcalinos, podendo estar associado ao hipoclorito de sódio, e a menor variação encontrada para os resultados de pH foi nas etapas de sedimentação 15 e 30 min + desinfecção.

Pode se observar pela figura 10 que houve grande variação de cor aparente na etapa de sedimentação, de 0,00 a 51,00. Os resultados encontrados na água bruta tiveram grande variação, devido a grande quantidade de sólidos presentes na amostra, pode se observar que houve significativa variação entre a mediana e o 3º quartil, evidenciando os maiores valores de cor aparente em relação à etapa de desinfecção.

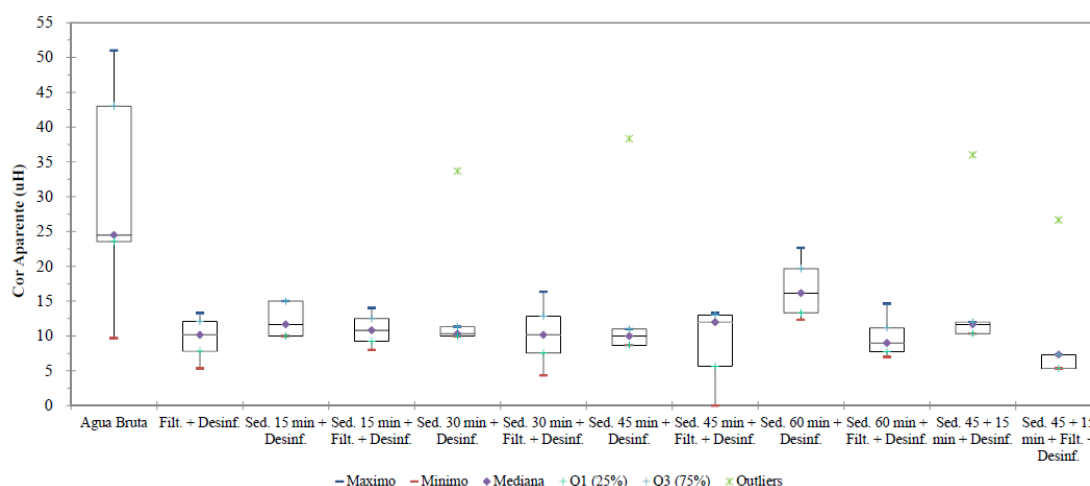


Figura 10 – Boxplot dos resultados de cor aparente após a etapa de desinfecção

Pode ser observado ainda que os resultados que tiveram a etapa de filtração anterior à desinfecção apresentaram os menores valores, evidenciando a eficiência do filtro na remoção de sólidos. Para os resultados que tiveram a desinfecção precedida da sedimentação pode ser observado que não tiveram grande variação entre si, somente para a etapa de sedimentação 60 min + desinfecção teve um pequeno aumento em relação as outras. Pode ser observado ainda que todos os resultados encontrados são inferiores ao da água bruta, evidenciando a remoção de cor ao longo do tratamento.

Foi possível perceber que para a etapa de desinfecção foram obtidos as maiores eficiência de remoção de cor nas etapas de sedimentação 30 e 45 + 15 min + filtração + desinfecção, evidenciando a remoção ao longo do tempo, podemos observar ainda que os dias que tiveram maior eficiência na remoção de cor foram os dias 14 e 29, que forma precedidos de dias chuvosos, ocasionando a limpeza do telhado e com isso a menor percolação de materiais para o coletor experimental.

Pode-se concluir que os valores de cor aparente na etapa de desinfecção são maiores que o valor estabelecido pela Portaria MS 518/2004 e Portaria 2.914/2011, 15 uH, observando uma eficiência de 12,5% na água bruta, de 50% nas etapas de sedimentação 15 min + desinfecção e sedimentação 60min + desinfecção, de 75% nas etapas de sedimentação 30 min + desinfecção, sedimentação 30 min + filtração + desinfecção, sedimentação 45 min + desinfecção, sedimentação 45 + 15 min + desinfecção, sedimentação 45 + 15 min + filtração + desinfecção, obtendo maior eficiência nas etapas de filtração + desinfecção, sedimentação 15 min + filtração + desinfecção, sedimentação 45 min + filtração + desinfecção e sedimentação 60 min + filtração + desinfecção,

com 100% dos valores abaixo do estabelecido pelas Portarias, e as menores variações encontradas foram nas etapas de sedimentação 30 e 45 min + desinfecção.

Houve grande variação de turbidez na etapa de desinfecção, com valores de 0,00 a 5,67, figura 11. Os resultados encontrados na água bruta tiveram significativa variação, pois a água em questão entra em contato com as partículas presentes no telhado. Observa-se maiores valores de turbidez em relação a etapa de sedimentação. Nos resultados obtidos pode ser observado maior variação em relação à mediana e o 3º quartil, podendo estar associados ao tipo de telhado, e quantidade de particulado na atmosfera.

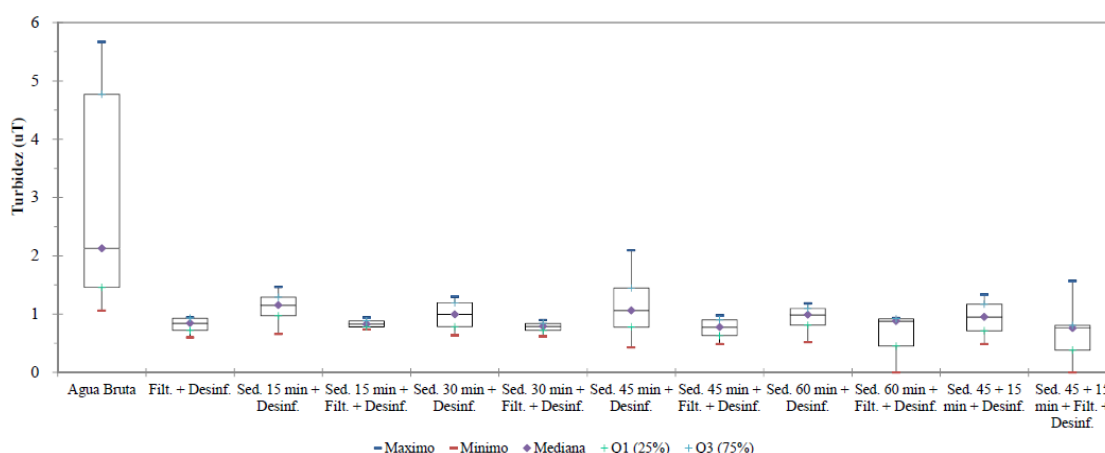


Figura 11 – Boxplot dos resultados de turbidez após a etapa de desinfecção

Pode ser observado que os valores medianos encontrados após o tratamento manteve-se em um padrão, não havendo alteração significativa nas etapas. É possível verificar ainda que houve uma redução dos valores após o tratamento em relação com a água bruta, pode ser observado ainda que quanto maior o tempo do processo os valores são menores, evidenciando uma melhor eficiência de remoção de sólidos. Foi possível perceber que os dois dias, 14 e 30 de março, que tiveram maior eficiência de remoção de turbidez foram precedidos de chuvas com maiores intensidade pluviométricas ocasionando a diluição dos materiais presentes no telhado.

É possível concluir que os valores de turbidez na etapa de desinfecção estão dentro dos padrões, exceto para o valor da água bruta que somente 75% das amostras se apresentaram dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria MS 518/2004 e Portaria 2.914/2011, menor que 5 uT. e a menor variação encontrada foi nas etapas de filtração + desinfecção, sedimentação 15 e 30 min + filtração + desinfecção.

O volume de água utilizado, a dosagem de cloro, o tempo de contato e o cloro total resultante da desinfecção estão descritos na Tabela 6 apresentada a baixo.

Tabela 6 - Cloro

Volume de água (ml)		Dosagem (mg/L)		Tempo de contato (minutos)	Cloro Total (mg/L)	
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
300	1000	$3,3 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-3}$	30	0,30	4,00

Verificou-se que para etapa de desinfecção houve uma variação do cloro total na faixa de 0,30 a 4,00. Pode ser observado que ao longo do estudo foi sendo utilizada diferentes dosagens de hipoclorito de sódio, para melhor eficiência de remoção de coliformes totais e *E. coli*, figura 12.

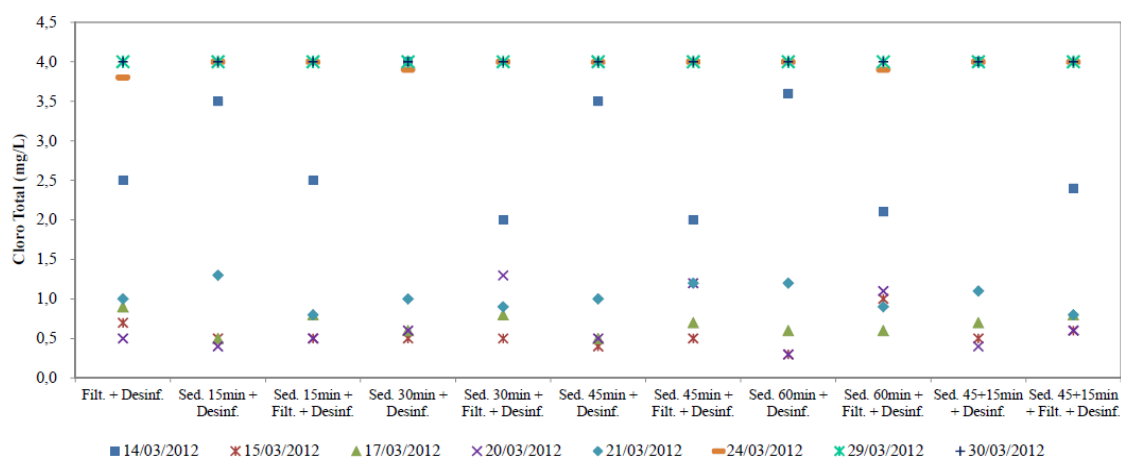


Figura 12 – Resultados de cloro total após a etapa de desinfecção

Pode-se concluir que os valores de cloro total na etapa de desinfecção estão dentro dos padrões de consumo humano estabelecidos pela Portaria MS 518/2004 e Portaria 2.914/2011, cloro entre 0,20 e 5,0 mg/L e a melhor eficiência encontrada foi para o dia 30, com a maior dosagem.

Pode-se observar pela Figura 13 que não houve eficiência por completa na remoção de coliformes totais, sendo que as maiores eficiências foram observadas nos dias 15, 24 e 30 de março.

A presença de coliformes totais após a etapa de desinfecção pode ter sido ocasionada pelo tempo de contato e ou na dosagem de cloro, ineficientes para a remoção. Desta forma, pode se concluir que os limites estabelecidos pela Portaria MS 518/2004 e Portaria 2.914/2011, não foram atendidos, que é ausência em 100 ml.

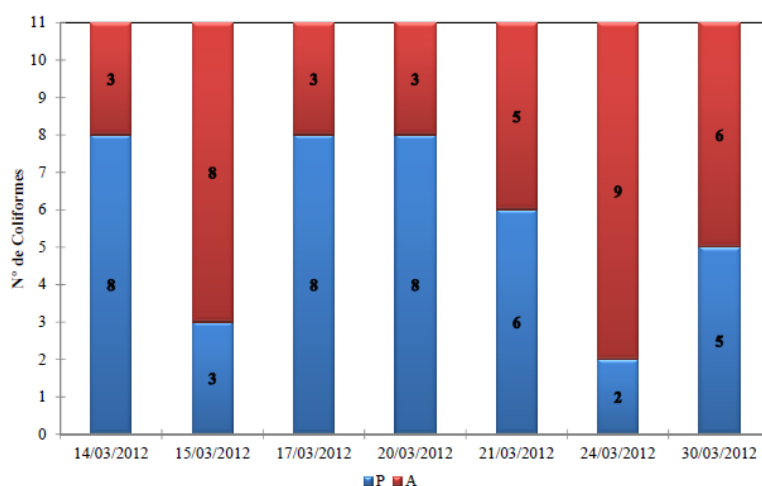


Figura 13 – Gráfico de coliformes totais

Verifica-se a partir da figura 14 (presença e ausência de *E. coli* após a desinfecção) que não houve eficiência por completa na remoção de *E. coli*, sendo que as maiores eficiências foram observadas nos dias 14, 24 e 30 de março, havendo inexistência de bactérias. A presença de *E. coli* após a etapa de desinfecção pode ter sido ocasionada pelo tempo de contato e ou na dosagem de cloro, ineficientes para a remoção.

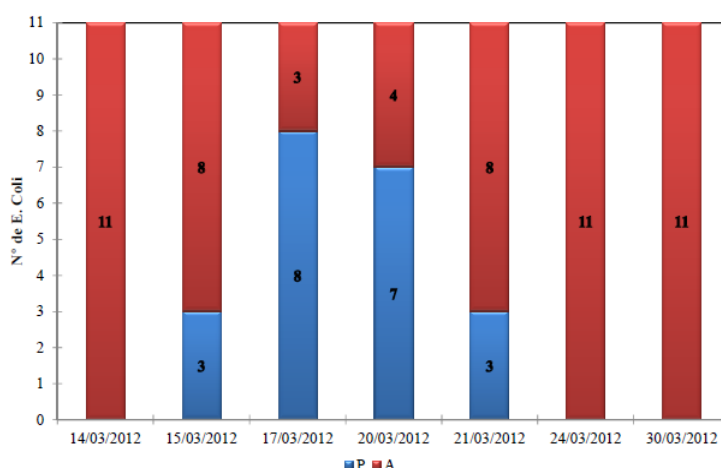


Figura 14 – Gráfico de presença e ausência de E.coli após a desinfecção

Pode-se concluir que somente os ensaios dos dias 14, 24 e 30 atenderam aos limites estabelecidos pela Portaria MS 518/2004 e Portaria 2.914/2011, e o restante não, que é ausência em 100 ml.

CONCLUSÕES

Observou-se que as amostras brutas (sem os ensaios de tratabilidade) coletadas referentes às precipitações de maiores volumes e em dias sucessivos de chuvas apresentaram qualidade superior àquelas coletadas referentes às precipitações de menores volumes e após longos períodos sem chuvas, devido ao menor acúmulo de materiais na superfície de captação e maior diluição dos mesmos na água acumulada. Todos os parâmetros monitorados apresentaram amostras com valores acima dos limites recomendados pela NBR 15.527/2007. Deste modo, pressupõem-se a necessidade de tratamento prévio da água de chuva para posterior utilização, a fim de evitar possíveis danos à saúde das pessoas e às superfícies que entrarem em contato com a mesma.

Através dos ensaios de tratabilidade observou-se que em todas as etapas de sedimentação, filtração e desinfecção os valores dos parâmetros cor e turbidez apresentaram-se inferiores aos valores observados na água bruta, evidenciando a remoção de sólidos ao longo do tempo, para a etapa de desinfecção não foi obtida a remoção dos coliformes totais e para a *E. coli* a etapa de desinfecção foi eficiente nas duas últimas análises que tiveram as dosagens maiores, para o parâmetro pH houve uma variação nos ensaios de tratabilidade de $7,74 \pm 0,36$ sendo observado que os resultados são mais neutros e pouca variação. No entanto, verificou-se que a maior eficiência de tratamento foi obtida nos ensaios de sedimentação 15 minutos seguida da etapa de filtração e da desinfecção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA, FIESP e SindusCon-SP. Conservação e reuso da água em edificações. São Paulo;
2. Prol Editora Gráfica. 2005.
3. APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20ª ed. Washington: APHA, 2005.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-15.527: **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. Rio de Janeiro, 2007.
5. JACQUES, R. *et al.* Avaliação da qualidade da água de chuva na cidade de Florianópolis – SC. Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. Santa Catarina: ABES 2005.
6. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518 de março de 2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências**.
7. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2.914 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**.