



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

WALLACE ANISZEWSKI TÁVORA E SILVA

APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS: Implantação de um sistema de reutilização de água pluvial para fins não potáveis no campus do CEULP-ULBRA
(ESTUDO DE CASO).

PALMAS - TO
2017

WALLACE ANISZEWSKI TÁVORA E SILVA

APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS: Implantação de um sistema de reutilização de água pluvial para fins não potáveis no campus do CEULP-ULBRA
(ESTUDO DE CASO).

Trabalho de conclusão de curso elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Prof^a. MSc. Elaine Maria Chiesa da Silva

PALMAS - TO

2017

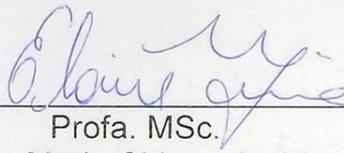
Wallace Aniszewski Távora e Silva

APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS: Implantação de um sistema de reutilização de água pluvial para fins não potáveis no campus do CEULP-ULBRA
(ESTUDO DE CASO).

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Civil**, do curso de **Engenharia Civil** da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA.

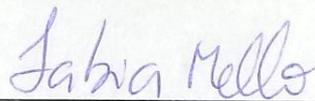
Palmas, 18 de maio de 2017.

Banca examinadora:



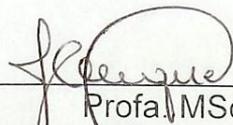
Profa. MSc.

Elaine Maria Chiesa da Silva
Orientadora - ULBRA



Profa. MSc.

Fábria Santos Mello – ULBRA



Profa. MSc.

Jacqueline Henrique – ULBRA

CONCEITO DA APROVAÇÃO: _____

Dedico este trabalho aos meus pais, Stela e Marcus,
à minha esposa, Rayane, e aos meus irmãos
que como família sempre me apoiaram
e deram-me palavras de incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, pois sem Ele nada somos. Ele é o alfa e o ômega, amém.

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais, Marcus e Stela, pelo incentivo, dedicação e suporte sem os quais não seria possível a elaboração desse trabalho e conseqüentemente meu título de Engenheiro Ambiental e Civil.

Agradeço a minha esposa e futura advogada Rayane Aniszewski que sempre esteve ao meu lado ajudando em tudo e tolerando minhas falhas.

Agradeço ao meu irmão empresário Yuri Aniszewski pelo suporte prestado na confecção desse trabalho.

Agradeço à professora MSc. Elaine por acreditar nesse trabalho e me ajudar a elaborá-lo, além de prestar críticas para a construção mais acertada do mesmo.

Agradeço ao corpo administrativo do CEULP-ULBRA pelas informações disponibilizadas para que esse trabalho fosse concluído.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de água pelo planeta. Fonte: RESAG (2015)	6
Figura 2 – Esquema do Ciclo Hidrológico. Fonte: MMA (2015).....	7
Figura 3 – Sistema simples de reaproveitamento de água de chuva.	13
Figura 4 – Vista da tela inicial do programa Netuno 4.....	19
Figura 5 – Vista superior da área de estudo, Ceulp-Ulbra, Palmas-TO. Fonte: Google Earth.....	22
Figura 6 – Vista parcial do Bloco 2 e estacionamento do Ceulp-ULBRA em dia chuvoso	23
Figura 7 - Vista parcial do local de operação da Estação Meteorológica 83033 da Inmet em Palmas-TO. Fonte: Google Earth, 2017.	27
Figura 8 – Balanço hídrico climatológico da região de Palmas-TO obtido da estação pluviométrica 83033 da INMET. Período de 1961-1990. Fonte: Adaptado de INMET, 2016.	28
Figura 9 – Precipitações médias calculadas no período de medição de Jan/95 a Fev/2016. Fonte: Adaptado de INMET (2016) e INPE (2016).	29
Figura 10 – Precipitações médias anuais calculadas no período de 1995 a 2016. Fonte: Adaptado de INMET (2016).	29
Figura 11 – Cálculo de área em superfície plana inclinada. Fonte: UNIÁGUA (2015)	33
Figura 12 – Calha de platibanda. Fonte: UNIÁGUA (2015).....	33
Figura 13 – Caixa de inspeção da recepção da água das calhas por cano PVC	34
Figura 14 – Vista parcial do Bloco 7, em dia chuvoso, destacando a cobertura	34
Figura 15 – Simulação dos dados obtidos por cálculo no software Netuno 4	36
Figura 16 – Simulação com dados sazonais calculados pelo software Netuno 4	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diferentes níveis de qualidade de água em consideração ao uso.	9
Quadro 2 – Valores de coeficientes de escoamento superficial de alguns materiais	17
Quadro 3 – Precipitações médias mensais calculadas e máximas registradas com base no banco de dados das estações meteorológicas do INMET e do INPE.	30
Quadro 4 - Precipitações médias anuais (PMA) no período de 1995 a 2016 calculadas com base no banco de dados da estação meteorológica 83033 do INMET.	30
Quadro 5 – Quantitativo de alunos matriculados no ano de 2016 no CEULP-ULBRA	31
Quadro 6 – Área coberta de cada edificação do Ceulp-ULBRA.....	32

SÚMARIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos.....	3
1.1.1	Objetivo Geral	3
1.1.2	Objetivos Específicos	3
1.2	Justificativa	4
1.3	Problema	5
1.4	Hipótese	5
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
2.1	Ciclo da água.....	6
2.2	Regime pluviométrico de Palmas-TO	8
2.3	Histórico sobre reaproveitamento de águas pluviais	8
2.4	Sistema de coleta de águas pluviais.....	9
2.5	Normas técnicas e legislações	11
2.6	Volume requerido dos reservatórios	11
2.7	Qualidade das águas pluviais	12
2.8	Funcionamento do sistema de coleta	13
2.9	Dimensionamento do sistema coletor e de armazenamento	15
2.10	Coeficiente de escoamento superficial	16
2.11	Certificações ambientais e selos de qualidade.....	17
2.12	Software Netuno 4.....	18
2.12.1	Dados de entrada.....	18
2.12.2	Dados de precipitação	19
2.12.3	Área de captação	20
2.12.4	Demanda total de água	20
2.12.5	Número de moradores	20
2.12.6	Percentual da demanda total a ser suprida por água pluvial.....	21
2.12.7	Coeficiente de escoamento superficial.....	21
2.12.8	Reservatórios	21
3.	METODOLOGIA	22
3.1	Área de estudo	22
3.2	Abordagem metodológica.....	23
3.3	Etapas do desenvolvimento metodológico	23

3.4	Levantamentos de dados pluviométricos.....	24
3.5	Dados populacionais do CEULP-ULBRA para cálculo da demanda	24
3.6	Dimensionamento das estruturas reservadoras	25
3.6.1	Dados fixos.....	25
3.6.2	Dados variáveis	25
3.7	Economia de água potável simulado pelo software Netuno 4	26
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1	Levantamento dos Dados Hidrológicos	27
4.2	Balanço hídrico de Palmas-TO.....	28
4.3	Tratamento dos dados hidrológicos de Palmas-TO.....	28
4.4	Consumo de água potável para fins sanitários	31
4.5	Áreas de contribuição	32
4.6	Sistema de captação de águas pluviais.....	33
4.7	Volume do sistema de armazenamento	35
4.8	Dimensionamento do sistema de armazenamento.....	35
4.9	Economia de água potável	35
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	40
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
8.	ANEXOS	44
8.1	ANEXO A – PLANTA DE SITUAÇÃO DO CEULP-ULBRA	44
8.2	ANEXO B – PLANTA DE COBERTURA DO CEULP-ULBRA.....	44
8.3	ANEXO C – MÉTODOS DE CÁLCULO PARA RESERVATÓRIOS.....	45

RESUMO

Ao longo dos anos a água tornou-se um recurso cada vez mais escasso e valioso, devido à sua má distribuição, às perdas, ao aumento populacional no Planeta, à crescente degradação dos recursos hídricos, resultado de ações indiscriminadas por parte do homem, tornando parte da água disponível imprópria para os diversos usos das atividades humanas. A substituição de fonte de captação se mostra como uma alternativa mais apropriada para satisfazer as demandas menos restritivas, deixando a água de melhor qualidade (potável) para uso mais nobre. O presente trabalho teve como principal objetivo avaliar a viabilidade técnica para a implantação de um sistema de captação de águas pluviais e seu potencial de uso no campus do CEULP-ULBRA em Palmas-TO. Este sistema poderá substituir a água potável em atividades como descargas de vasos sanitários, limpeza de pisos e jardinagem. A metodologia utilizada consistiu primeiramente da escolha do local de estudo que foi o campus universitário do CEULP-ULBRA por possuir uma grande área de cobertura, após isso foi levantado e tratado os dados pluviométricos de Palmas-TO através de dados de estações pluviométricas locais, em seguida foi avaliada a população de acadêmicos para se obter a demanda por água potável e não potável e com base nela o dimensionamento das estruturas reservadoras. Com isso, foram simulados cenários de uso da água potável e da água pluvial através do software Netuno 4 e os resultados foram de um potencial de utilização da água pluvial que chegou a 17,44% com um atendimento parcial de 66,61% no mês mais chuvoso e menos de 4% de potencial de utilização nos meses de seca, da demanda hídrica total por água não potável em substituição à água potável no campus. Isso demonstrou que o dimensionamento do sistema de armazenamento deve ser criterioso para que possa reservar o máximo possível para os meses de seca que chegam a 5 meses na região da capital palmense.

1. INTRODUÇÃO

A água, fonte vital para todos os organismos vivos, tem se tornado um recurso cada vez mais escasso, principalmente em regiões onde a disponibilidade é pequena. Em algumas atividades industriais, por exemplo, o consumo de água é elevado e sua escassez induz à procura de novas alternativas para minimizar esse problema. A reciclagem da água, o reuso de água servida e o aproveitamento de água de chuva, são alternativas para combater esse problema que devem ser avaliadas, entretanto deve haver antes uma análise técnica e econômica (MAY, 2004).

Com isso, a água é tida como o cerne do desenvolvimento sustentável e possibilita uma gama de serviços, além de prover o crescimento socioeconômico, bem como a sustentabilidade ambiental. Fornece alimento e segurança energética para a saúde humana e ambiental. Contribui para melhorias no bem-estar social e para o crescimento inclusivo, afetando a subsistência de bilhões de pessoas (UNESCO, 2015).

Em um esforço para conservação desse importante recurso natural, no último relatório da UNESCO, foi proposto a criação de um Sistema Urbano de Manejo Integrado da Água em todos os países, o IUWM (sigla americana para "*Integrated Urban Water Management*"), que tem como objetivo alinhar o desenvolvimento urbano juntamente com a gestão das bacias hidrográficas, além de reunir o abastecimento de água, saneamento, águas pluviais e gestão das águas residuais para integrá-los ao planejamento urbano e desenvolvimento econômico. A implantação do IUWM exigirá estruturas bem definidas com políticas públicas, planejamento cuidadoso, capacitação institucional adequada e investimentos em sistemas de proteção e monitoramento das áreas de captação fluvial e reutilização de águas pluviais e de outras fontes (UNESCO, 2015).

Medidas como esta são importantes uma vez que um volume surpreendente de água pluvial é desperdiçado nas cidades todos os anos, misturando-se inclusive com águas residuais domésticas, comerciais e industriais, onerando os Sistemas de Tratamento de Efluentes (ETE's) e causando prejuízos econômicos e socioambientais.

Naturalmente, existem regiões com pouca disponibilidade hídrica para as atividades antrópicas. Esse cenário é agravado com a poluição dos mananciais e com

o aumento do consumo de água provocado pelo crescimento da população e os seus padrões de comportamento (VILLIERS, 2002 apud MAY, 2004). Assim, algumas regiões que antes conseguiam se sustentar com a quantidade de água disponível, atualmente apresentam escassez de água com qualidade para suprir as atividades humanas (UNESCO, 2009). Embora o Brasil possua um expressivo potencial hídrico, tal cenário também ocorre em algumas regiões do país (BRASIL, 1997).

Para superar o problema de disponibilidade de água, fontes locais deste recurso têm sido utilizadas como um meio de preservar as fontes hídricas tradicionais, como mananciais superficiais e subterrâneos (ANGRILL et al., 2012). Dentre as soluções encontradas está a captação da água de chuva (WARD; MEMON; BUTLER, 2012). A captação de água de chuva ocorre em áreas impermeáveis, que podem ser tanto telhados ou pisos. Uma vez captada, a água pluvial é transportada para reservatórios de armazenamento que viabilizam a utilização do recurso, quando não está chovendo (TWDB, 2005).

Este trabalho visa apresentar um estudo de potencial de uso para a implantação de um sistema de captação de águas pluviais no município de Palmas-TO, onde existem atualmente, vários problemas pontuais na drenagem urbana devido uma série de fatores, como a ineficiência do sistema de captação de águas pluviais, entupimento de coletores devido presença de entulhos e lixo, entre outros. Estes problemas podem ser observados todos os anos na estação chuvosa e não são exclusivos de Palmas, várias outras capitais brasileiras enfrentam esse problema e tentam solucioná-lo de maneiras diversas.

Especificamente este trabalho visa fazer uma análise do potencial de uso de águas pluviais e da economia de água potável que pode ser obtida no campus do Ceulp-Ulbra, utilizando a água da chuva não potável para fins menos nobres, o que exigiria menos investimentos com sistemas de tratamento de água (ETA's ou sistemas compactos).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Avaliar a viabilidade técnica para a implantação de um sistema de captação de águas pluviais e seu potencial de uso no campus do Ceulp-Ulbra em Palmas-TO.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estimar o potencial de água pluvial nos meses de chuva na região com base em dados hidrológicos de estações pluviométricas de Palmas-TO;
- Estimar a quantidade de água que poderia ser coletada utilizando-se a área de cobertura total do Ceulp-Ulbra conforme ABNT NBR 15527:2007;
- Verificar o coeficiente de *Runoff* mais adequado, com base na literatura, dos telhados para dimensionamento do sistema de captação de águas pluviais;
- Verificar o percentual de água potável poderia ser economizado com a implantação desse sistema e;
- Dimensionar um reservatório para armazenamento da água de chuva conforme ABNT NBR 15527:2007.

1.2 Justificativa

A escassez de recursos naturais, em especial a atual crise hídrica que o mundo vem passando, traz ao homem o desafio de manter o crescimento e qualidade de vida de forma sustentável, racionalizando o uso destes recursos. No caso dos recursos hídricos, existe uma tendência à escassez de água de qualidade para consumo humano. Então, é essencial que a sociedade saiba utilizar a água de maneira racional e eficiente. Por isso, fontes alternativas de recursos hídricos não potáveis devem ser utilizadas para fins pouco nobres, substituindo e diminuindo ao máximo o uso de água potável para esses fins.

A gestão hídrica é uma preocupação crescente e as grandes empresas vêm investindo em sistemas próprios de captação e tratamento de água, a fim de não depender das concessionárias para o seu próprio abastecimento. Além disso, existe uma busca contínua por uma maior eficiência no uso da água nos processos de produção industrial. Para o setor produtivo, eventuais falhas no abastecimento causam grandes prejuízos econômicos. Os setores de agricultura também vêm buscando aperfeiçoar seus processos de irrigação, esforçando-se para evitar desperdícios desse bem tão importante para a atividade.

Uma das alternativas mais comuns para melhorar o aproveitamento dos recursos hídricos é a captação pontual de águas da chuva. Instalações com este fim podem ser construídas em quase todos os tipos de edificações e não geram custos adicionais elevados. Com a valorização econômica da água, este tipo de instalação tende a ser cada vez mais atraente do ponto de vista financeiro.

Além de melhorar o aproveitamento do uso dos recursos hídricos, a captação da água da chuva nas edificações tem o potencial de ajudar a reduzir vazões afluentes ao sistema de drenagem pluvial urbano, contribuindo para reduzir esta demanda. Precipitações de grande intensidade mostram todos os anos a limitação dos sistemas de drenagem urbana das grandes cidades brasileiras. As enchentes causam grandes prejuízos materiais e em alguns casos até mortes, sendo um dos problemas mais recorrentes nas cidades urbanizadas. A captação de parte desta água em cada edificação diminui a demanda sobre estes sistemas.

A água potável deveria ser utilizada para fins nobres (uso humano), enquanto a água pluvial substituiria em função não tão nobre, como a lavagem de calçadas,

rega de jardim ou em uso para vasos sanitários. Deste modo, poder-se-ia manter a água de qualidade para beber, cozinhar e tomar banho.

Contudo, para se obter sucesso com esse tipo de sistema de captação é necessário que se faça uso desta alternativa seguindo exigências de operação e manutenção mais ativas nas instalações, principalmente no sistema coletor como telhados. Além disso, o controle de qualidade desta água deve ser feito pelos próprios usuários, diferente da água fornecida pela concessionária, que tem um controle de qualidade rigoroso, realizado por profissionais habilitados, uma vez que um sistema próprio de captação e reservação de água de chuva exigiria controles adicionais de tratamento e qualidade dependendo do uso ao qual se destinaria.

Com o aumento na demanda mundial, o consumo indiscriminado e exacerbado de água, as perdas expressivas por sistemas de distribuição ineficientes e a poluição dos rios e mares a população tem enfrentado problemas de descontinuidade de fornecimento de água e escassez de água potável. Além disso, muitos países, inclusive parte do Brasil, já enfrentam graves problemas de falta de abastecimento d'água por conta da seca.

Devido a isso é uma alternativa muito receptiva e ambientalmente adequada a reutilização de água de chuva em usos cotidianos em que se aplicaria, costumeiramente em tempos de abundância, água potável, para fins que não fossem de consumo humano.

1.3 Problema

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual é a economia potencial de água potável obtida com a implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais no campus da Ulbra em Palmas?

1.4 Hipótese

É possível que haja economia de água considerável substituindo a utilização de água potável por água da chuva para usos não nobres.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta revisão da literatura, onde foram levantadas algumas características fundamentais para este estudo. Não se teve a finalidade de esgotar cada um dos temas, mas sim de identificar parâmetros para refletir este assunto com intuito de facilitar o trabalho de campo.

Primeiramente há um breve relato histórico sobre a utilização de água de chuva, identificando os principais autores de estudos sobre a temática e as legislações pertinentes. Na sequência, é contextualizado o que é reaproveitamento de águas pluviais e quais os destinos se podem dar a esta água. Por fim, o estudo demonstra se existe a possibilidade de se economizar e a viabilidade de instalação de um sistema de captação de águas pluviais no campus do Ceulp-Ulbra.

2.1 Ciclo da água

É estimado que cerca de 2/3 da superfície do planeta Terra é coberta de água salgada (oceanos e mares). O volume total de água na Terra é estimado em torno de 1,35 milhões de km³, sendo que 97,5% deste volume é de água salgada. Apenas 2,5% é de água doce, porém localizada em regiões de difícil acesso, como aquíferos (águas subterrâneas) e geleiras. Apenas 0,007% da água doce encontra-se em locais de fácil acesso para o consumo humano, como lagos, rios e na atmosfera (UNIÁGUA, 2015). A Figura 1 a seguir demonstra esta proporção.



Figura 1 – Distribuição de água pelo planeta. Fonte: RESAG (2015)

O ciclo hidrológico envolve fatores climáticos, geográficos e biológicos. As águas evaporam dos oceanos e da superfície do planeta para atmosfera, onde se condensam até precipitar sobre a Terra. Para então, através da infiltração no solo recarregar as águas subterrâneas e assim retornar aos oceanos. O ciclo hidrológico envolve processos complexos de evaporação, precipitação, transpiração, interceptação, infiltração, percolação, armazenagem e escoamento (CHOW,1964).

A Figura 2 demonstra como funciona o ciclo hidrológico.

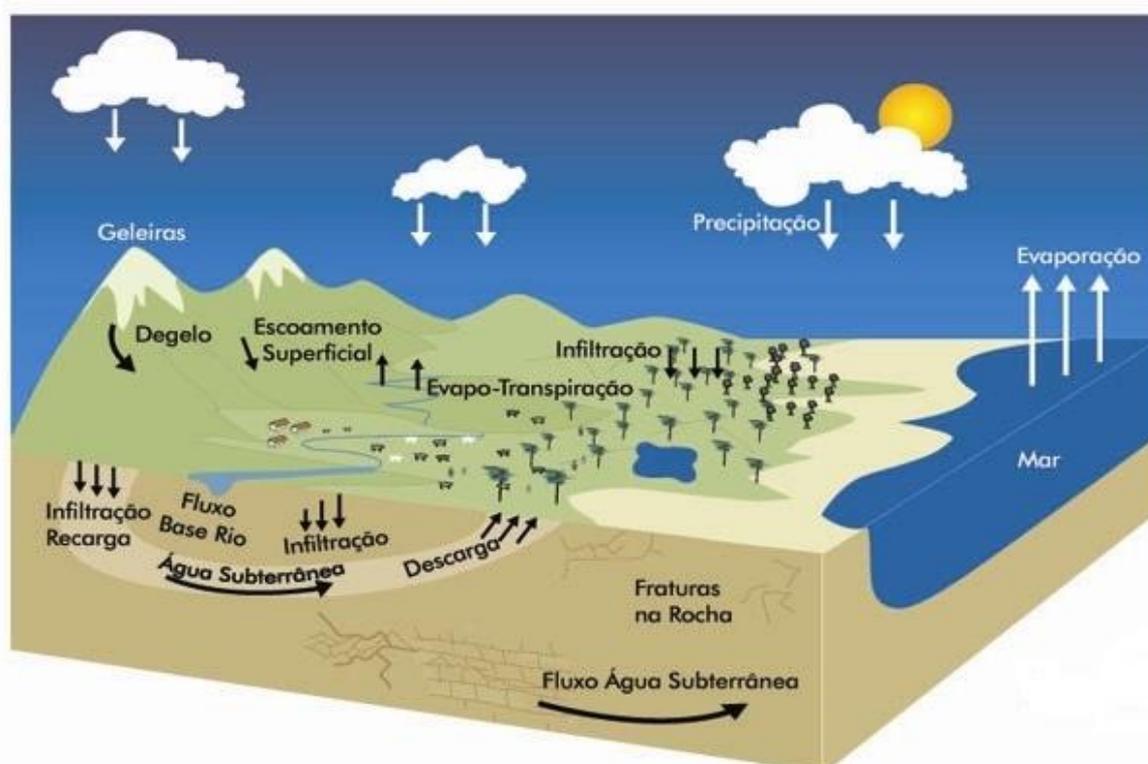


Figura 2 – Esquema do Ciclo Hidrológico. Fonte: MMA (2015)

Segundo Giacchini (2010), o ciclo hidrológico sofre a interferência de diversos fatores seja de origem natural ou antrópica. Em relação aos fatores naturais, destacam-se as variações climáticas, quanto aos antrópicos, destacam-se aqueles relacionados aos processos de urbanização e infraestrutura urbana, entre outros. Desta forma, em meios urbanizados, a água destina-se, através dos seus múltiplos usos, aos usos domésticos, à irrigação, ao uso industrial, à produção de energia, a atividades relacionadas a pesca e aquicultura, a diluição de esgotos, a navegação, a recreação, entre outros.

2.2 Regime pluviométrico de Palmas-TO

A classificação climática de Palmas é do tipo clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno C2WA'a', sendo caracterizada por duas estações bem definidas, uma seca e a outra chuvosa (SEPLAN, 2008). Em toda bacia do Tocantins o semestre mais chuvoso compreende os meses de outubro a março, com valores máximos ocorrendo geralmente nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, representando 90% da precipitação média anual que se enquadra em um regime de chuvas nitidamente tropical.

Segundo o professor SILVA JR. (2016), essas condições pluviométricas são influenciadas pela atuação de sistemas meteorológicos de grande escala, formadores de precipitação que atuam nessa época do ano sobre essa região, são eles: a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os sistemas meteorológicos de pequena escala (atividade convectiva formadora de nuvens intensas).

O inverno é considerado seco devido ao maior domínio da massa de ar quente e seca nos meses de junho, julho e agosto. Essa massa inibe a formação de nuvens, logo nesse período as chuvas são raras (SILVA JR., 2016).

2.3 Histórico sobre reaproveitamento de águas pluviais

Evidências arqueológicas comprovaram que a captação da água pluvial ocorreu aproximadamente há 6.000 anos na China. Algumas ruínas datadas de 2.000 a.C. ainda estão preservadas em Israel, os quais coletavam a água pluvial das encostas para o uso na irrigação (GOLD & NISSEN-PETERSEN, 1999 apud JABUR *et al.*, 2011).

Ainda segundo estes autores, existem registros da utilização de água da chuva antes mesmo do nascimento de Cristo, em seu trabalho eles citam cisternas no deserto de Negev em Israel que datam de 2000 a.C. Os autores também citam cisternas de enormes volumes no norte da África que foram construídas há pelo menos 2 mil anos. Nos EUA, principalmente nas regiões rurais do meio oeste, existem diversas cisternas com mais de 100 anos que eram a única fonte de água limpa no início do século passado para os habitantes dessa região.

No Brasil, Fendrich (2002), relata que a Fortaleza de Santo Antônio de Ratonos, construída no século XVIII e situada na região norte da Ilha de Ratonos Grande e ao nordeste da Ilha de Santa Catarina, as tropas do império consumiam as águas provenientes de chuva que eram coletadas pelos telhados das casas e conduzidas a cisternas.

2.4 Sistema de coleta de águas pluviais

O sistema de coleta de águas pluviais para fins não potáveis não precisa necessariamente ser de difícil solução técnica ou de alto valor. O reservatório, na maioria dos projetos, o item mais oneroso, pode ser de diferentes volumes ou de materiais acessíveis. Contudo, sistemas com captações e vazões maiores necessitam de reservatórios dimensionados corretamente para atender ao volume total (ABNT, 1994).

Para a coleta da água pluvial, o sistema envolve a captação, a filtração, a reservação e a distribuição. Em alguns casos é necessária a desinfecção, para a utilização de fins potáveis, como na lavagem de roupas (OLIVEIRA, 2005).

Segundo Oliveira (2005), a qualidade da água varia conforme a utilidade que se dá à mesma. Quanto mais nobre é este uso, maior a exigência quanto à qualidade. Segundo Group Raindrops (2002) apud Oliveira (2005), é possível separar o uso da água em quatro grupos, bem como especificar a necessidade de tratamento requerida para a mesma, no caso de ser utilizada a chuva de zonas não muito industrializadas como manancial (Quadro 1).

Quadro 1 – Diferentes níveis de qualidade de água em consideração ao uso.

Uso da Água Pluvial	Tratamento
Rega de Jardim	Não é necessário
Irrigadores, combate a incêndio, ar condicionado	É necessário para manter os equipamentos em boas condições
Fontes e lagoas, banheiros, lavagem de roupas e carros	É necessário, pois a água entra em contato com o corpo humano
Piscina/banho, para beber e para cozinhar	A desinfecção é necessária, pois a água é ingerida direta ou indiretamente

Fonte: Rain Drops (2002) apud Oliveira (2005)

O Ministério da Saúde publicou a Portaria nº 2.914 de 2011 em que fixa critérios de qualidade de água para consumo humano (BRASIL, 2011).

A legislação brasileira, através da Política Nacional de Recursos Hídricos, instruída através da Lei nº 9.433 de 1997, em seus artigos 1º e 2º definem:

- A água como um bem de domínio público;
- A água como um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- Em situações de escassez é prioritário o uso para consumo humano e dessedentação animal e;
- O objetivo dessa política é de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

Contudo, as águas de chuva são encaradas, ainda hoje, pela legislação brasileira como esgoto, pois ela comumente é recepcionada pelos telhados das edificações e escoada através dos pisos para as sarjetas e bocas de lobo (CETESB, 2017) carreando consigo todo tipo de impurezas, dissolvidas ou suspensas, muitas vezes onerando os sistemas de tratamento de efluentes urbanos ou sendo direcionadas para córregos e rios contribuindo para o aumento da vazão disponível do mesmo e suprimindo ocasionalmente um Sistema de Tratamento de Água Potável para abastecimento humano.

Segundo Silva & Domingos (2007) a Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva – ABCMAC prevê algumas diretrizes que esses sistemas devem adquirir:

“A captação de água de chuva deve se tornar obrigatória, porém introduzida com a participação da sociedade, em várias fases, como será determinado por lei, para determinadas categorias de construções e em áreas abertas.

Usar os investimentos na captação e no manejo de água de chuva no campo do suprimento de água, drenagem, controle de enchentes etc, para assegurar que a sociedade brasileira utilize a água de chuva em larga escala.

Aumentar a segurança hídrica descentralizada e a auto-suficiência local, encorajando, ao mesmo tempo, a operação e manutenção em nível familiar e comunitário (encorajando donos de casas, condomínios, comunidades e bairros a terem sua "própria água");

Emendas para leis/planos estaduais e municipais sobre o uso de água de chuva como fonte suplementar de água para uso doméstico”

2.5 Normas técnicas e legislações

A NBR 15527:2007 fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, como em descargas de bacias sanitárias, irrigação de jardins, lavagem de veículos e calçadas, limpezas de pátios, espelhos de água e usos industriais, recomendando ser fundamental que a concepção do projeto do sistema atenda as seguintes referências:

(a) Portaria M.S. Nº 2.914/11 (antes Port. 518/04) de 12/12/11 - procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade;

(b) ABNT NBR 5626:1998 - Instalação predial de água fria;

(c) ABNT NBR 10844:1989 - Instalações prediais de águas pluviais;

(d) ABNT NBR 12213:1992 - Projeto de captação de águas de superfície para abastecimento público;

(e) ABNT NBR 12217:1994 - Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público;

(f) ABNT NBR 7229:1993 - Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos e;

(g) ABNT NBR 15527:2007 - Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos.

2.6 Volume requerido dos reservatórios

Os primeiros milímetros de água de chuva gerada pela área de captação (o chamado *first flush*, representando perda de água de 15% a 20%) devem ser descartados e não direcionados ao reservatório, razão da possível presença de poluentes tóxicos na atmosfera, poeiras e fuligem acumulada nas superfícies coletoras. A NBR 15527:2007 define métodos de cálculos para o dimensionamento de reservatórios, onde o volume de água de chuva aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura. Este volume é dado pela Equação 1:

$$V = P \times A \times C \times \eta_{\text{fator_de_captação}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

V = volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável;

P = precipitação média anual, mensal ou diária;

A = área de coleta;

C = coeficiente de escoamento superficial da cobertura ou superfície de captação e;

$\eta_{\text{fator_de_captação}}$ = eficiência do sistema de captação (devido a implementos que podem ser instalados antes do reservatório, como filtros, peneiras, sendo $\eta \approx 0,85$).

2.7 Qualidade das águas pluviais

A maior preocupação quando se trata de sistemas de aproveitamento de águas pluviais é a qualidade da água obtida e se a mesma está apta para o consumo humano e usos sanitários. De um modo geral, a água pluvial apresenta condições aceitáveis, sendo muito pura, principalmente devido ao processo de "destilação natural" que sofre, devido ao processo a que é submetida no ciclo hidrológico e os processos de evaporação e condensação. Contudo, dependendo da região, a chuva pode apresentar poluentes, principalmente em regiões próximas aos grandes centros urbanos ou a áreas bastante industrializadas, formando óxido de enxofre e nitrogênio (GOULD; NISSEN-PETERSEN, 1999 apud SILVA & DOMINGOS, 2007) que são lavados da atmosfera e carregados juntamente com a água de chuva.

De acordo com Helmreich e Horn (2009) apud Machado (2015), a água da chuva pode ser contaminada por microrganismos e produtos químicos perigosos e, por isso, necessitam de um pré-tratamento antes do uso, principalmente quando a finalidade for para consumo humano. A filtração lenta e a tecnologia solar são métodos para reduzir a poluição. Tecnologias de membranas também é uma técnica viável de desinfecção para o fornecimento de água potável. Um sistema bem planejado e cuja operação seja bem executada é essencial para garantir que todo o processo de captação da água ocorra de forma eficiente e livre de impurezas indesejáveis. Seja para áreas urbanas ou rurais, o sistema está sujeito a sofrer contaminações, principalmente de origem biológica.

2.8 Funcionamento do sistema de coleta

1 – Capta-se a água de chuva provenientes de áreas impermeabilizadas, normalmente os telhados, via as calhas;

2 – A água de chuva tem, em condições normais, a qualidade da água para o banho, se for previamente filtrada;

3 – Armazenar a água de chuva: A melhor forma de armazenamento é como no caso da água potável em cisterna subterrânea. Sem luz e calor, retarda-se a ação das bactérias. Cisternas fabricadas em concreto ainda neutralizam a maior acidez da água de chuva;

4 – Usar a água de chuva: podem-se usar sistemas com bombas que trabalham sob demanda, quando há consumo, a bomba alimenta a tubulação. Porém, em geral basta uma caixa exclusiva no telhado, que abastece sem contato com a água potável - as descargas e outros pontos de consumo como a torneira de jardim e a máquina de lavar roupa. Prever isto em novas construções será fácil e onera muito pouco os custos de construção;

5 – Realimentar o sistema de abastecimento: Numa estiagem prolongada, a descarga precisa continuar funcionando bem. Para este caso está prevista a realimentação com água potável, diretamente na cisterna ou por uma ligação no filtro.

A Figura 3 a seguir demonstra um sistema simples de reaproveitamento de água da chuva utilizando o telhado como receptor e a calha como veículo da água até o reservatório.

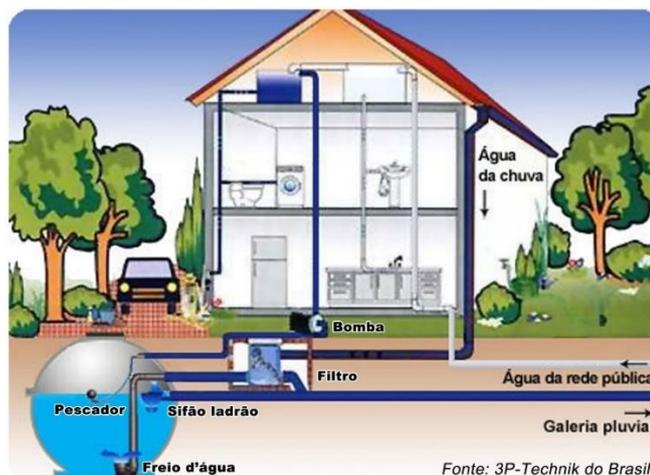


Figura 3 – Sistema simples de reaproveitamento de água de chuva.

Fonte: 3P-Technik do Brasil

O sistema poderia ser aplicado tanto em residências em construção, com rede hidráulica separada da rede de água potável da rua, e incluir o uso em descarga de banheiros e torneiras externas, como em casas já construídas. Não sendo possível modificar as instalações existentes, é possível aproveitar a água de chuva externamente, para jardins, limpeza de pisos e calçadas, lavar carros, entre outros usos.

É muito importante que se impeça a conexão cruzada no sistema de abastecimento de água para que não haja contato da água pluvial com a água potável, geralmente distribuída pela concessionária local de água, para que o abastecimento humano não seja prejudicado de acordo com a ABNT NBR 5626:1998.

Segundo Gonçalves (2006), algumas precauções devem ser tomadas em relação ao reservatório visando à manutenção da qualidade da água e a vida útil do sistema. Estas precauções são:

- As paredes e a cobertura do reservatório devem ser impermeáveis, tomando-se cuidado com frestas e aberturas no sistema;
- Deve-se evitar a entrada de luz solar para evitar a proliferação de algas;
- A entrada de água no reservatório e o extravasor devem ser protegidos com telas que impeçam a entradas de insetos e outros animais;
- O reservatório deve ser dotado de uma abertura na parte superior para visita e inspeção;
- A água deve entrar no reservatório sem provocar turbulência, evitando a ressuspensão de sólidos já decantados;
- O reservatório deve ser limpo uma vez por ano para a retirada de todo o lodo depositado no fundo.

Ainda segundo Gonçalves (2006), o próprio reservatório funciona como um decantador tendo em vista que após alguns dias de armazenamento, a qualidade da água melhora significativamente devido acomodação das partículas suspensas na parte inferior do reservatório.

2.9 Dimensionamento do sistema coletor e de armazenamento

O sistema de coleta de água de chuva é formado pelos telhados e calhas, além dos condutores horizontais e verticais, e o sistema de armazenamento é realizado em tanques de retenção ao qual as águas pluviais são direcionadas.

Segundo Pereira e Andrade (2013), os métodos de dimensionamento de reservatórios de armazenamento de água de chuva referidos pela NBR 15527:2007 são:

- (a) Método de Rippl (também chamado Método do Diagrama de Massas);
- (b) Método Azevedo Neto (também chamado Método Brasileiro);
- (c) Método Prático Alemão;
- (d) Método Prático Inglês;
- (e) Método Prático Australiano e;
- (f) Simulação.

Segundo Giacchini *et al.* (2011), pelo método de Azevedo Neto, o volume do reservatório pode ser obtido por meio da Equação 2:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \text{ (Eq. 2)}$$

Onde:

V = volume do reservatório (litros);

Pa = precipitação pluviométrica média anual (mm/ano = litros/m² por ano);

A = área de captação (m²);

T = número de meses de pouca chuva ou seca (adimensional).

O Método de Azevedo Neto, também é chamado de Método prático Brasileiro e sugere o aproveitamento máximo de 50% da precipitação anual, em função do escoamento superficial assim como de perdas inerentes ao sistema (GIACCHINI *et al.*, 2011).

Para aplicação do Método Azevedo Neto a identificação dos dias secos constitui a principal incógnita a ser identificada. O período crítico em geral é superior a trinta dias podendo ultrapassar os sessenta dias em regiões de baixa e irregular precipitação (GIACCHINI *et al.*, 2011; AZEVEDO NETTO, 1991).

A eficiência dos sistemas de aproveitamento de água pluvial é afetada sobretudo pelo dimensionamento do reservatório de armazenamento. O dimensionamento adequado é essencial para evitar a operação do reservatório de forma ociosa quando superdimensionado ou insuficiente, quando subdimensionado. Por isso, a utilização de programas de computador para essa finalidade é uma importante ferramenta (ALVES *et al*, 2008). Procurando por programas de computador que viabilizem esta atividade, pode-se utilizar o Netuno 4 que é um software utilizado para geração de cenários simulados de sistemas de captação de águas pluviais. Ele utiliza dados que possibilitam uma concepção adequada do sistema de aproveitamento pluvial em que são gerados os resultados como a relação entre o potencial de economia de água potável pela substituição parcial por água pluvial e a capacidade volumétrica do reservatório, o volume extravasado de água pluvial do reservatório, entre outros. Sendo que os dados de precipitação que alimentarão o software devem estar em uma base diária, os cenários são calculados nessa base e os resultados da simulação são apresentados de forma diária e mensal, a fim de facilitar a análise e interpretação de sazonalidades do sistema de captação de águas pluviais (GHISI & CORDOVA, 2014).

A metodologia utilizada no software baseia-se em modelos comportamentais e experimentais em que a simulação é feita com um conjunto de variáveis conhecidas, fixas e variáveis (GHISI & CORDOVA, 2014).

2.10 Coeficiente de escoamento superficial

O coeficiente de escoamento superficial, coeficiente *runoff* ou coeficiente de deflúvio, é determinado como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Este coeficiente pode ser relativo a uma chuva isolada ou relativo a um intervalo de tempo onde várias chuvas ocorreram. O coeficiente é obtido dividindo-se o volume total escoado pelo volume total precipitado (CARVALHO & SILVA, 2006).

O Quadro 2 a seguir apresenta alguns valores de coeficientes de escoamento superficiais para diferentes materiais constituintes de cobertura.

Quadro 2 – Valores de coeficientes de escoamento superficial de alguns materiais

Material da cobertura	Coeficiente de escoamento	Fonte da citação
Cerâmico	0,8 – 0,9	Hofkes e Frasier (1996) apud Hagemann (2009)
	0,56	Khan (2001) apud Hagemann (2009)
Cimento	0,62 – 0,69	UNEP (2004) apud Hagemann (2009)
Metálico	0,8 – 0,85	UNEP (2004) apud Hagemann (2009)
	0,52	Khan (2001) apud Hagemann (2009)
Corrugado de metal	0,7 – 0,9	Hofkes e Frasier (1996) apud Hagemann (2009)
	0,85	Khan (2001) apud Hagemann (2009)
Aço galvanizado	> 0,9	Thomas e Martinson (2007) apud Hagemann (2009)
Vidro	0,6 – 0,9	Thomas e Martinson (2007) apud Hagemann (2009)
Plástico	0,94	Khan (2001) apud Hagemann (2009)
Asbesto	0,8 – 0,9	Thomas e Martinson (2007) apud Hagemann (2009)
Telhados verdes	0,27	Khan (2001) apud Hagemann (2009)
	0,20	Thomas e Martinson (2007) apud Hagemann (2009)

2.11 Certificações ambientais e selos de qualidade

Segundo Júnior (2012), as certificações ambientais de edificações são cada vez mais procuradas no Brasil por empreendedores e órgãos públicos. Isto acontece porque os benefícios desse processo atingem o meio ambiente, o empreendedor e também toda a comunidade que deverá usufruir da estrutura construída. Os modelos LEED e AQUA são efetivamente as certificações ambientais para a construção civil mais conhecidos e utilizados no Brasil.

Para se obter selos de qualidade e certificações ambientais é necessário se enquadrar em diversos critérios a serem definidos pela empresa certificadora, dentre eles pode-se destacar: gestão na construção, de energia, de água, de resíduos sólidos, conforto acústico, visual, higrotérmico, processos de baixo impacto ambiental, qualidade sanitária dos ambientes, entre outros (SUSTENTARQUI, 2014).

A importância de se obter estes títulos está no mercado, uma vez que cada dia mais os consumidores, compradores, usuários bens, serviços e espaços, valorizam empresas com compromisso ambiental.

2.12 Software Netuno 4

Foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina com o objetivo de determinar o volume do reservatório, assim como o potencial de economia de água potável por intermédio do aproveitamento de água pluvial. Embora não seja um método de dimensionamento propriamente dito, teve seu desenvolvimento iniciado no ano de 2004 (LAGE, 2010).

O algoritmo do programa Netuno realiza os cálculos em base diária, considerando a demanda e a disponibilidade de água pluvial. Diariamente, a água pluvial que escoar pela superfície de captação, descontadas as perdas, é conduzida ao reservatório de armazenamento. Se a capacidade do reservatório é excedida, a demanda de água pluvial é atendida e o excesso de água é extravasado. Caso contrário, a demanda diária de água potável é atendida parcial, ou totalmente, pela concessionária (GHISI; CORDOVA; ROCHA, 2010).

2.12.1 Dados de entrada

São os principais dados para alimentação do software em que pequenas alterações nos dados podem gerar incrementos ou déficits de vazão grandes, em muitos casos inviabilizando o sistema de captação.

A Figura 4 demonstra a tela inicial do software com os parâmetros de entrada, sendo que as informações hidrográficas são inseridas como planilha numérica contendo as precipitações diárias em milímetros em uma coluna ordenada. O software identifica os dias do mês através do primeiro valor informado de “Data Inicial” das informações hidrológicas.

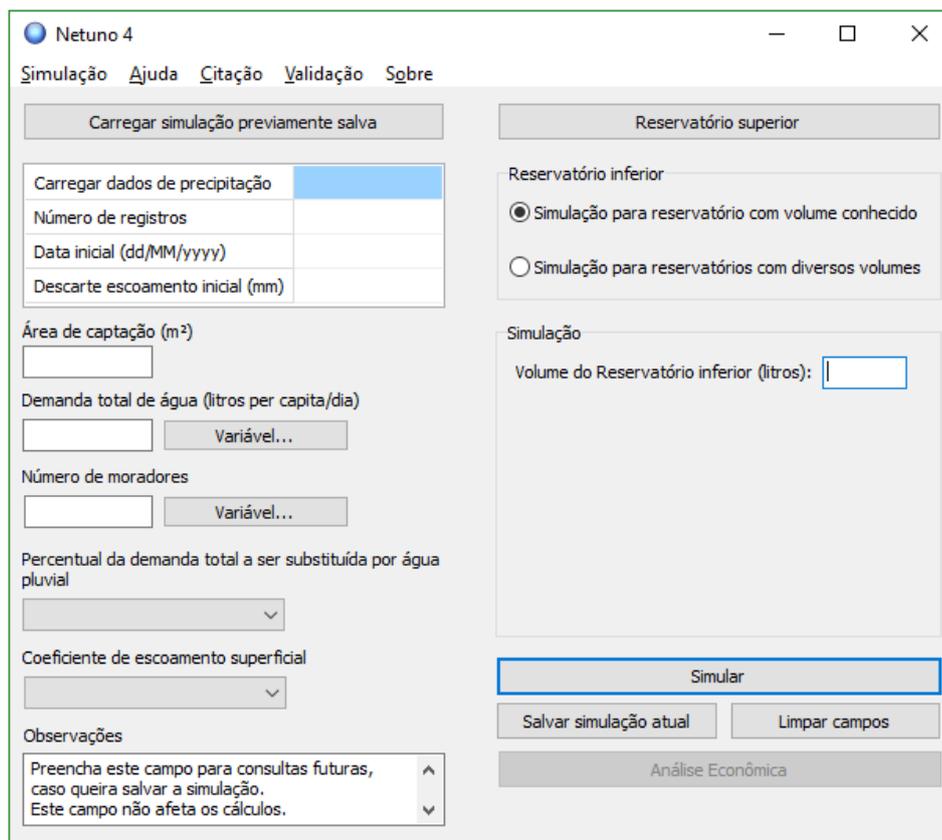


Figura 4 – Vista da tela inicial do programa Netuno 4

2.12.2 Dados de precipitação

Conforme dito anteriormente, o software identifica os dados de precipitação através de um arquivo em planilha externa formatada em CSV (Valores Separados por Vírgulas). Este tipo de planilha pode ser manipulada em softwares de edição de texto simples, assim como em editores de planilhas.

Os dados tabulados precisam estar organizados em formato vetor-coluna, ou seja, um dado por linha.

Para que os resultados da simulação tenham uma maior confiabilidade, os dados tabulados na planilha não devem conter descontinuidades ou vazios, ou seja, dias em que não há dados de precipitação ou mesmo dias suprimidos. Contudo, caso existam células vazias, o Netuno entenderá que não houve precipitação nos dias em questão (GHISI; CORDOVA; ROCHA, 2010).

Além dessa planilha com os dados de precipitação em vetor, o software requer a data inicial desses dados, com o intuito de gerar resultados mensais a cada ano.

A indicação do descarte da precipitação inicial (em mm), *first flush*, também é exigida. Caso haja uma precipitação em um dado dia que esteja abaixo desse valor, o software entenderá que não houve precipitação nesse dia. Essa rotina é importante para simular o descarte do primeiro fluxo de água da chuva para que se evite o carregamento de sujeira acumulada nas coberturas para o reservatório, por exemplo (GHISI; CORDOVA; ROCHA, 2010).

2.12.3 Área de captação

Segundo a NBR 10844/89 (ABNT, 1989), a área de captação de água pluvial é dada pela soma das áreas superficiais que interceptam a chuva e as conduzem para um determinado local da instalação representada pela projeção horizontal da cobertura da edificação. O software utiliza a unidade métrica para as áreas de captação (GHISI; CORDOVA; ROCHA, 2010).

2.12.4 Demanda total de água

Ainda segundo GHISI; CORDOVA & ROCHA (2010) a demanda total de água equivale a quantidade de água requerida para atender as necessidades da população na edificação. Esse dado pode ser:

- Fixo, em que é preciso definir a demanda diária de água potável per capita;
- Variável, em que a demanda poderá ser diária em litros per capita por dia ou mensal em litros por mês.

2.12.5 Número de moradores

Esta informação serve para calcular a demanda de água diária total, sendo que também pode ser variável, abrindo-se uma nova janela para inclusão dos moradores mensalmente ou por inclusão de arquivo CSV.

Se a demanda total de água for variável e com periodicidade mensal, este valor é automaticamente definido pelo software como 1, pois as demandas totais serão consideradas diretamente o quantitativo populacional da edificação.

2.12.6 Percentual da demanda total a ser suprida por água pluvial

Esta informação é inserida no software após estudos sobre os usos finais da água na edificação e equivale a porcentagem da demanda de água que pode ser substituída por água pluvial. É possível calcular a demanda diária da edificação por água pluvial com esse percentual.

2.12.7 Coeficiente de escoamento superficial

O coeficiente de deflúvio ou escoamento superficial é utilizado para indicar o percentual do volume total de precipitação que é coletado pelo sistema de captação de águas pluviais. Desconsidera-se o volume de água pluvial subtraído por absorção e evaporação ao atingir a superfície de captação (GHISI; CORDOVA; ROCHA, 2010).

Este coeficiente de escoamento superficial varia principalmente com a mudança da superfície ou do anteparo de captação de água pluvial, por exemplo, telha cerâmica, telha metálica, etc.

2.12.8 Reservatórios

Os reservatórios são os locais em que serão armazenadas as águas pluviais e devem ser dimensionadas para receber o volume máximo calculado para evitar perdas.

Podem ser inferiores e superiores em que se diferem basicamente pela necessidade ou não de recalque para utilização da água armazenada na edificação.

3. METODOLOGIA

Este trabalho teve um delineamento experimental baseado na literatura visto que se possui amplos dados e referências relativos ao tema abordado, nas plantas arquitetônicas e informações quantitativas disponibilizadas pelo Ceulp-ULBRA.

3.1 Área de estudo

Todo este trabalho teve como área de estudo o campus do Centro Universitário Luterano de Palmas – ULBRA, localizado a Av. Teotônio Segurado, 1501 Sul, no município de Palmas, Tocantins, mais precisamente sob as coordenadas geográficas $10^{\circ}16'42.53''S$ e $48^{\circ}20'4.02''O$ a 257 metros de altitude. A área de estudo encontra-se no trecho superior do médio rio Tocantins, considerando a divisão proposta por PAIVA (1982), e o clima pode ser classificado como Continental Tropical (sub-úmido), conforme a classificação de Köppen tipo “Aw”. As Figuras 5 e 6 demonstram a área de estudo.



Figura 5 – Vista superior da área de estudo, Ceulp-Ulbra, Palmas-TO. Fonte: Google Earth.



Figura 6 – Vista parcial do Bloco 2 e estacionamento do Ceulp-ULBRA em dia chuvoso

3.2 Abordagem metodológica

Este estudo foi realizado por meio do processo metodológico exploratório, analíticos e bibliográficos. Esses métodos são adequados porque o objetivo é demonstrar a possibilidade ou não de uso da água de chuva para fins não potáveis visando a economia de água potável.

3.3 Etapas do desenvolvimento metodológico

- 1ª Etapa – *Escolha do local a ser estudado*: O campus universitário da ULBRA de Palmas-TO foi selecionado como área de estudo de caso.
- 2ª Etapa – *Abordagem metodológica*: O método a ser escolhido foi o exploratório, analítico e bibliográfico para apresentação do tema e desenvolvimento dos resultados.
- 3ª Etapa – *Levantamento e tratamento de dados pluviométricos*: Para essa investigação científica os dados de precipitação pluviométrica no município de Palmas-TO são de grande importância e devido a isso foram cuidadosamente analisados e tabulados.

- 4ª Etapa – *Coleta de dados populacionais*: As informações de quantitativo populacional são importantes para avaliação de consumo de água e estimativas de economia com a implantação do sistema, além de contribuir para dimensionamento do sistema de armazenamento.
- 5ª Etapa – *Dimensionamento das estruturas reservadoras*: Com a demanda hídrica do campus e a disponibilidade pluviométrica foi possível dimensionar o volume de água pluvial a ser armazenado no reservatório.
- 6ª Etapa – *Simulação de cenários por meio de software*: Com a utilização de um software chamado Netuno 4 foi gerado os volumes de água potável e não potável consumidas ou não, além do percentual de economia de água potável com a utilização de água pluvial para os fins menos exigentes.
- 7ª Etapa – *Avaliação dos resultados obtidos*: Os resultados obtidos com a simulação no software Netuno 4 foram avaliados e discutidos para um melhor entendimento.

3.4 Levantamentos de dados pluviométricos

Inicialmente foram coletados os dados históricos de precipitação através de banco de dados como INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, Hidro-ANA entre outros para estimar o potencial pluviométrico da região de estudo.

Os dados foram tabulados e organizados de forma a demonstrar o potencial mensal, anual e diário de precipitação pluviométrica na cidade de Palmas-TO.

Não foram utilizados dados brutos, sendo que apenas dados consistidos de estações meteorológicas foram utilizados e com um espaço amostral de no mínimo 10 anos.

3.5 Dados populacionais do CEULP-ULBRA para cálculo da demanda

Os dados quantitativos sobre quantidade de alunos matriculados, funcionários e de consumo de água foram fornecidos pela administração do Ceulp-ULBRA para que fossem calculadas as demandas por água potável no campus.

O ano considerado para este estudo é o de 2016, portanto os dados utilizados foram desse ano, constando a população no primeiro e segundo semestre letivo, bem

como a população de funcionários. Foi considerada como população fixa os funcionários, professores e técnicos do Ceulp-ULBRA, sendo que os alunos serão a população variável.

3.6 Dimensionamento das estruturas reservadoras

Foi realizado o dimensionamento das estruturas de armazenamento de acordo com a estimativa de vazão média mensal calculada sem levar em consideração a demanda média mensal do Ceulp-ULBRA. Os cálculos levaram em consideração apenas o coeficiente de escoamento superficial da água, não considerando perdas diversas e menos expressivas como evaporação, vazamentos, etc.

Os reservatórios de água proveniente da chuva serão dimensionados segundo orientações da ABNT NBR 12217:1994 e NBR 15527:2007.

O volume do reservatório será obtido conforme o método de Azevedo Neto (ABNT, 2007).

Para prosseguir com o estudo será necessário trabalhar com dois tipos de dados a saber: dados fixos e variáveis, conforme a seguir.

3.6.1 Dados fixos

São os dados que não sofrerão variação seja por serem considerados valores fixos ou por serem estimados, são eles:

- Área de cobertura (m²);
- Precipitação média anual (mm);
- Coeficiente de aproveitamento da água interceptada;
- Área para implantação do sistema (m²);
- Volume do reservatório (m³);

3.6.2 Dados variáveis

Os dados que sofrem variação de acordo com seu uso e que devem ser considerados no projeto de dimensionamento das estruturas reservadoras de água, são:

- Demanda (m³/dia);
- Disponibilidade mensal de água pluvial (m³).

3.7 Economia de água potável simulado pelo software Netuno 4

Neste estudo, considerou-se a utilização de água para fins não potáveis sendo descargas de vaso sanitário, mictórios, irrigação de jardins, lavagem de carros, torneiras de tanques usadas para limpeza do prédio, que também inclui lavagem de pisos e limpeza de vidros. Através da média *per capita* de geração de esgoto dada pela NBR 7229:1993 será calculado o quantitativo de água potável que será utilizada para diversos fins que geram o efluente e assim será verificado o percentual de água potável que poderia ser substituído por água pluvial.

O programa Netuno 4 foi utilizado para avaliar qual a porcentagem de água potável pode ser economizada sazonalmente no campus do Ceulp/ULBRA e para isso os dados de entrada serão:

- Série histórica de dados de precipitação diária de Palmas-TO;
- Área de captação;
- Demanda total de água per capita por dia;
- Quantitativo populacional;
- Percentual da demanda a ser substituída por água pluvial;
- Coeficiente de escoamento superficial ou *runnof* e;
- Volume do reservatório.

A economia real de água poderá ser obtida com a estimativa do quanto de água de chuva se poderá aproveitar mensalmente com base na média estimada dos consumos mensais de água para serviços de limpeza, sanitários, entre outros de uso não prioritário retirando-se a estimativa realizada do potencial de vazão pluviométrica mensal reservada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Levantamento dos Dados Hidrológicos

Os dados de precipitação pluviométricas da cidade de Palmas-TO utilizados neste trabalho foram obtidos do banco de dados do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, mais especificamente da Estação Pluviométrica 83033, localizada na quadra 112 sul, rua SR 7, SN, Palmas-TO, coordenadas UTM 795638 E / 8872251 S, Fuso 22, visualizada através da Figura 7, entretanto, inicialmente foram confrontados com os dados da Estação Pluviométrica do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, PMA 19, localizada nas dependências da Universidade Federal do Tocantins, campus de Palmas-TO, para verificar os melhores dados.



Figura 7 - Vista parcial do local de operação da Estação Meteorológica 83033 da Inmet em Palmas-TO. Fonte: Google Earth, 2017.

Devido a carência de estações meteorológicas no município de Palmas-TO com dados consistentes e com boa série histórica, adotou-se para este trabalho a estação do INMET que apesar de afastada do local de estudo que é o Ceulp-ULBRA possui dados consistidos e com mais de 20 anos.

No sítio eletrônico do INMET estão disponíveis os dados de precipitação, bem como outras informações climáticas (INMET, 2016).

4.2 Balanço hídrico de Palmas-TO

A estação chuvosa vai de outubro a abril, a estação seca vai de maio a setembro, nesses meses a precipitação média fica abaixo dos 30 mm mensais e os meses com maior precipitação no município palmense são dezembro, janeiro e fevereiro, sendo que janeiro é em média o mês mais chuvoso do ano gerando excedentes que não ultrapassam os 150 mm mensais e precipitações médias registradas de 245 mm (INMET, 2016; INPE, 2016), conforme demonstrado na Figura 8 com o balanço hídrico climatológico de Palmas-TO no período compreendido entre os anos 1961 e 1990 e na Figura 9 com as médias pluviométricas mensais compreendidas no período de janeiro de 1995 a fevereiro de 2016.

Esses dados são importantes para obter um contexto histórico que proporcione uma aproximação dos volumes de precipitação mensal média, contudo para fins de dimensionamento de sistemas de captação de águas pluviais foi necessário um estudo mais aprofundado do comportamento hidrológico da região de Palmas-TO, avaliando as precipitações totais mensais medidas desde 1995 a 2016.

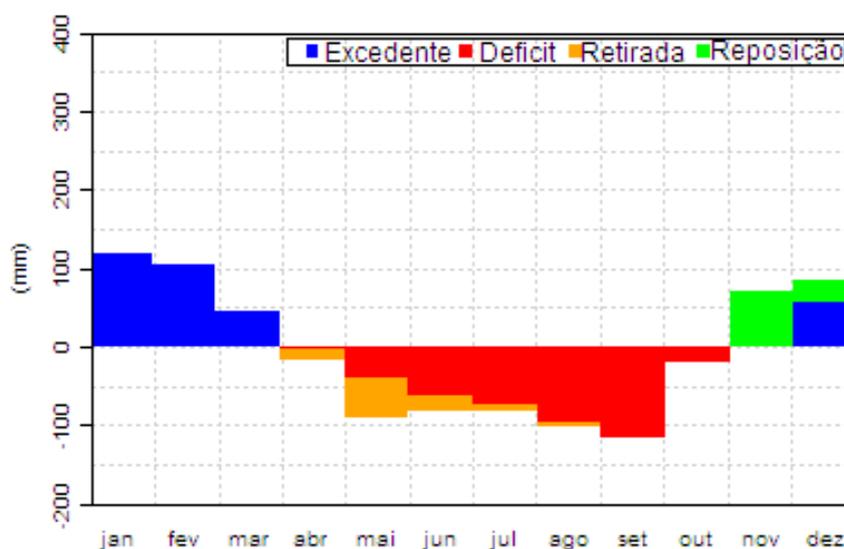


Figura 8 – Balanço hídrico climatológico da região de Palmas-TO obtido da estação pluviométrica 83033 da INMET. Período de 1961-1990. Fonte: Adaptado de INMET, 2016.

4.3 Tratamento dos dados hidrológicos de Palmas-TO

Os dados obtidos da estação meteorológica 83033 (INMET) foram tabulados e sintetizados em gráfico para uma melhor observação, confrontados com os dados da estação PMA 19 (INPE) que possui mais de 10 anos de série histórica, conforme a Figura 9 apresentada a seguir. Também foram calculadas as precipitações médias anuais de acordo com os dados da estação meteorológica 83033 apresentados na Figura 10.

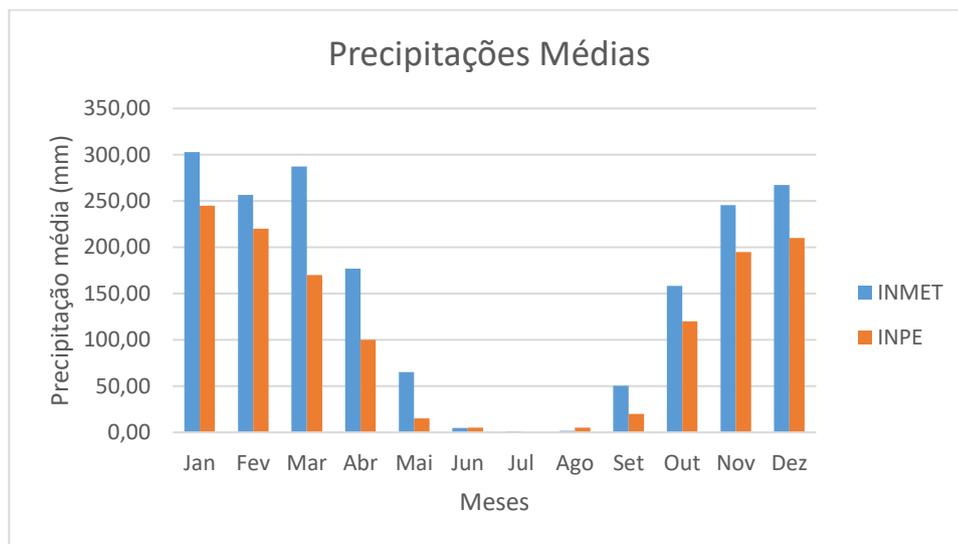


Figura 9 – Precipitações médias calculadas no período de medição de Jan/95 a Fev/2016. Fonte: Adaptado de INMET (2016) e INPE (2016).

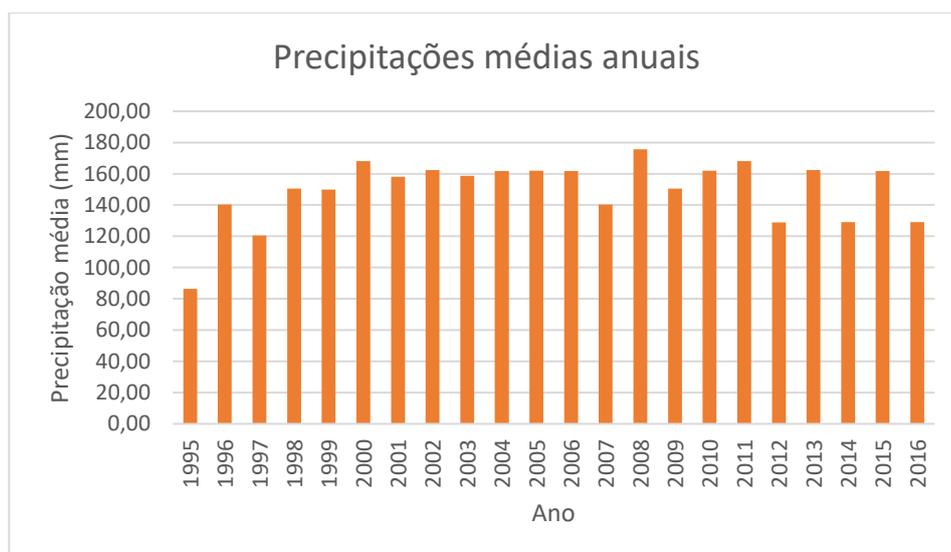


Figura 10 – Precipitações médias anuais calculadas no período de 1995 a 2016. Fonte: Adaptado de INMET (2016).

Para fins de dimensionamento das estruturas reservadoras de água pluvial deve-se considerar as situações de maior proporção sendo que foram considerados

os dados de precipitações mensais superiores, obtendo-se os dados apresentados no Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 – Precipitações médias mensais calculadas e máximas registradas com base no banco de dados das estações meteorológicas do INMET e do INPE.

Mês	Precipitação Média Mensal (mm)	Máxima registrada (mm)
Janeiro	302,81	490,70
Fevereiro	256,55	583,20
Março	287,42	462,50
Abril	176,75	403,80
Maio	65,22	285,10
Junho	5,00	40,10
Julho	1,11	21,10
Agosto	5,00	18,60
Setembro	50,21	198,30
Outubro	158,40	373,40
Novembro	245,54	441,70
Dezembro	267,35	594,70

Para o dimensionamento da estrutura de armazenamento foi necessário calcular a precipitação média anual conforme a Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 - Precipitações médias anuais (PMA) no período de 1995 a 2016 calculadas com base no banco de dados da estação meteorológica 83033 do INMET.

Ano	PMA (mm)
1995	86,45
1996	140,37
1997	120,44
1998	150,41
1999	149,90
2000	168,06
2001	158,04

(continua)

Quadro 4 (continuação) - Precipitações médias anuais (PMA) no período de 1995 a 2016 calculadas com base no banco de dados da estação meteorológica 83033 do INMET.

2002	162,43
2003	158,71
2004	161,77
2005	161,90
2006	161,69
2007	140,37
2008	175,60
2009	150,41
2010	161,97
2011	168,06
2012	128,91
2013	162,43
2014	128,99
2015	161,77
2016	128,99
Média	149,44

A precipitação média de 150 mm/ano foi adotada para fins de cálculo da estrutura de armazenamento.

4.4 Consumo de água potável para fins sanitários

Em 2016 o Ceulp-ULBRA contou com uma população variável e fixa, sendo composta de alunos, professores, técnicos e funcionários, formando a população total consumidora.

Segundo dados da ULBRA (2017) no ano de 2016 houve um total de alunos conforme o Quadro 5 a seguir.

Quadro 5 – Quantitativo de alunos matriculados no ano de 2016 no CEULP-ULBRA

Ano/Semestre Letivo	Número de alunos matriculados
2016/1º	6.212
2016/2º	5.659

Em média pelos dados do ano de 2016 são cerca de 5.936 alunos na instituição, sendo que conforme a NBR 7229:1993, tabela 1, estima-se uma contribuição diária *per capita* de esgoto de 50,0 litros/dia/pessoa para unidades de ensino tipo externato.

Portanto, o consumo de água potável para fins sanitários poderia chegar a $C=5.936 \times 50 = 296.800$ litros ou $296,8 \text{ m}^3$ por dia, incluindo-se nesse valor outros usos como jardinagem, lavagem de pátios, limpeza em geral, veículos, etc.

Considerando que esse valor de efluente gerado é muito grande, deve-se levantar em conta o tempo de permanência da população e uma análise mais aprofundada de usos dos aparelhos sanitários, bem como regime de limpeza de pátios e consumo de água para cada atividade de uso considerado sanitário e de limpeza no campus.

4.5 Áreas de contribuição

O Ceulp-ULBRA possui uma grande área coberta composta de telhados de telhas fibrocimento em todos os blocos de salas de aula, área administrativa, LABIN, laboratórios e o restaurante que foram calculadas conforme o Quadro 6.

Quadro 6 – Área coberta de cada edificação do Ceulp-ULBRA

Edificação	Área Coberta Total (m²)
Bloco 1	1.712,16
Bloco 2	1.084,02
Bloco 3	1.084,02
Bloco 4	1.084,02
Bloco 5	1.306,74
Bloco 6	1.666,92
Bloco 7	1.461,62
Restaurante	1.433,25
TOTAL	10.832,75

Fonte: ULBRA (2017)

As áreas de contribuição foram obtidas através dos projetos arquitetônicos da universidade, disponibilizados em formato CAD, levando em consideração a inclinação dos telhados $i=17\%$ e os planos de escoamento conforme Figura 10.

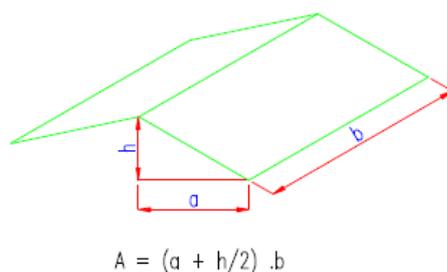


Figura 11 – Cálculo de área em superfície plana inclinada. Fonte: UNIÁGUA (2015)

Foram considerados apenas as áreas de cobertura das edificações descritas no Quadro 7, tendo em vista que dessas áreas será obtido águas para reuso mais limpas, livres de excesso de poeira, galhos, folhas, insetos, além de outros resíduos, o que mesmo para uso não potável exigiria um pré-tratamento para retirada desse material mais grosseiro. Nos Anexos são apresentadas as plantas de cobertura e locação das edificações do Ceulp-ULBRA.

4.6 Sistema de captação de águas pluviais

Por se tratar de estrutura já existente, as edificações do Ceulp-ULBRA contam com sistema de captação e direcionamento de águas pluviais por calhas tipo platibanda conforme Figura 12 e por canos PVC que direcionam o fluxo de água para o solo. Contudo essa água não é aproveitada para nenhum fim.

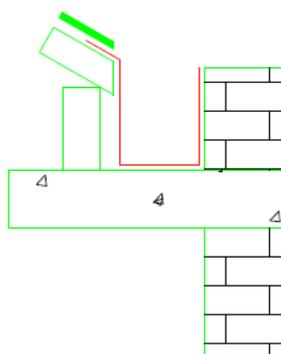


Figura 12 – Calha de platibanda. Fonte: UNIÁGUA (2015)

A água é direcionada pelas calhas através de canalizações subterrâneas para o exterior das dependências do campus universitário. A Figura 13 mostra uma caixa de inspeção de água pluvial direcionada pelas calhas por um cano PVC proveniente dos blocos. Esta caixa fica na área de jardim do Ceulp-ULBRA.



Figura 13 – Caixa de inspeção da recepção da água das calhas por cano PVC

O coeficiente de deflúvio superficial é utilizado para estimar o quanto de água escoa em uma superfície e o obtido para os telhados da universidade, segundo UNEP (2004) apud Hagemann (2009), para telhados em fibrocimento e de cerâmica seriam de respectivamente 0,69 e 0,8-0,9 segundo Hofkser & Frasier (1996).

Contudo o método de Azevedo Neto invariavelmente adota 0,5 independente do material de cobertura devido a perdas variadas no sistema de captação como limpeza, descarte dos primeiros volumes de água, evaporação, entre outros.

É importante salientar que nem todos os blocos do campus possuem calhas, como pode ser observado na Figura 14, necessitando assim a sua instalação.



Figura 14 – Vista parcial do Bloco 7, em dia chuvoso, destacando a cobertura

4.7 Volume do sistema de armazenamento

Conforme ABNT NBR 15527:2007 e utilizando o método de Azevedo Neto, o volume do reservatório pôde ser calculado com base nos dados obtidos das estações meteorológicas e utilizando-se a Equação 2:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T = 0,042 \times 150 \times 10832,75 \times 5 = 341.231,625l$$

Portanto, o volume do reservatório deverá ser de aproximadamente 342 m³ para que possa armazenar a quantidade pluviométrica máxima incidente.

4.8 Dimensionamento do sistema de armazenamento

De acordo com a NBR 5626:1998 para dimensionar um reservatório ou caixa d'água é necessário levar em consideração qual é o tipo de construção ao qual o reservatório irá atender e qual o consumo médio litros/dia deste tipo de construção.

O sistema de armazenamento poderá ser totalmente em solo, contudo para melhores aproveitamentos é indicado que se dividam os volumes em reservatórios inferiores e superiores.

O consumo de água potável para fins sanitários poderia chegar a 296,8 m³ para a população do campus em 2016 conforme cálculos ora efetuados, sendo que o aproveitamento de água pluvial poderia ter chegado a 342 m³ de água da chuva segundo cálculos pelo método de Azevedo Neto.

Existem reservatórios tipo “taça” e tipo “torre” com capacidade acima de 350 m³ no mercado, contudo o de 350 m³ de capacidade seria suficiente para armazenar a quantidade precipitada de água da chuva conforme os dados hidrológicos calculados.

Portanto, tem-se uma oferta superior a demanda teórica nesse ano, podendo atender total ou parcialmente à demanda por água pluvial para fins não potáveis.

4.9 Economia de água potável

Com a substituição parcial das fontes que poderiam consumir água de menor qualidade poderia haver uma economia de água potável significativa. Para isso foi utilizado o software Netuno 4 para calcular e simular um cenário de oferta mensal de água pluvial nas situações calculadas, os dados de entrada são os resultados obtidos

com os cálculos e levantamentos anteriores e podem ser visualizados na Figura 15, sendo que o resultado da simulação pelo software pode ser observado na Figura 16 a seguir.

The screenshot shows the Netuno 4 software interface. The window title is "Netuno 4" and the menu bar includes "Simulação", "Ajuda", "Citação", "Validação", and "Sobre".

Carregar simulação previamente salva

Carregar dados de precipitação	Palmas_1995-2016
Número de registros	7727
Data inicial (dd/MM/yyyy)	03/01/1995
Descarte escoamento inicial (mm)	0

Área de captação (m²): 10832,75

Demanda total de água (litros per capita/dia): 50 (Variável...)

Número de moradores: 5936 (Variável...)

Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial: 100%

Coefficiente de escoamento superficial: 0,5 (50% de aproveitamento)

Observações:

Reservatório superior

Reservatório inferior

Simulação para reservatório com volume conhecido

Simulação para reservatórios com diversos volumes

Simulação

Volume do Reservatório inferior (litros): 350000

Potencial de utilização de água pluvial: 8,80%

Percentual de dias no período de análise em que a demanda de água pluvial é atendida:

- Completamente: 1,14%
- Parcialmente: 35,78%
- Não atende: 63,08%

Valores mensais

Simular

Salvar simulação atual Limpar campos

Análise Econômica

Figura 15 – Simulação dos dados obtidos por cálculo no software Netuno 4

Os dados de entrada consideram os dados de precipitação diária em Palmas de 03/01/1995 a 31/12/2016 registradas pela estação pluviométrica do INMET 83033, sem descarte do first flush, área de captação superficial das coberturas igual a 1083,75 m², com uma demanda de 50 litros de água potável per capita destinada a uso sanitário (segundo NBR 7229:1993), com uma população diária de 5.936 alunos (sem considerar população fixa), sendo 100% da água pluvial destinada a atender o uso sanitário requerido, considerando um coeficiente de escoamento superficial de 0,5 ou 50% que é o que preconiza o método de Azevedo Neto por considerar perdas gerais nos sistemas de captação e adução das águas pluviais e o último dado sobre capacidade máxima do reservatório que como calculado deve ser de 350.000 litros ou 350 m³ aproximadamente.

Após entrada dos dados é simulado pelo programa o cenário de contribuição da água de chuva na economia de água potável nos meses do ano. A seguir a Figura 16 demonstra os dados detalhados de aproveitamento de água pluvial em substituição parcial à água potável gerados pelo Netuno 4 após inclusão dos dados iniciais especificados acima.

Resultado mensal da simulação								
Mês	Potencial de utilização de água pluvial (%)	Volume consumido de água pluvial (litros)	Volume consumido de água potável (litros)	Volume extravasado (litros)	Atendimento completo (%)	Atendimento parcial (%)	Sem atendimento (%)	Média diária de recalques
Janeiro	17,44	51763,20	245036,80	2076,85	2,35	66,62	31,03	0,00
Fevereiro	16,13	47859,37	248940,63	2286,29	2,09	60,55	37,36	0,00
Março	15,88	47131,55	249668,45	3814,27	2,30	64,52	33,18	0,00
Abril	10,69	31737,01	265062,99	423,08	1,11	50,00	48,89	0,00
Mai	3,84	11401,84	285398,16	0,00	0,00	22,43	77,57	0,00
Junho	0,29	870,06	295929,94	0,00	0,00	1,90	98,10	0,00
Julho	0,07	193,86	296606,14	0,00	0,00	0,31	99,69	0,00
Agosto	0,09	271,23	296528,77	0,00	0,00	2,15	97,85	0,00
Setembro	3,09	9165,71	287634,29	0,00	0,16	13,33	86,51	0,00
Outubro	9,19	27282,68	269517,32	873,72	0,77	37,02	62,21	0,00
Novembro	14,07	41773,88	255026,12	3386,94	2,38	52,86	44,76	0,00
Dezembro	15,32	45465,87	251334,13	2446,42	2,46	56,68	40,86	0,00
Média	8,80	26124,05	270675,95	1270,86	1,14	35,78	63,08	0,00
Total ano		9,53528E6	9,87967E7	463866				

Figura 16 – Simulação com dados sazonais calculados pelo software Netuno 4

Os dados simulados revelam que nos meses com maior incidência chuvosa, sendo o intervalo de Janeiro a Abril e Outubro a Dezembro, totalizando 7 meses, possuem um potencial de utilização de água pluvial superior a 10%, com exceção do mês de Outubro que fica com 9,19% e em destaque o mês de Janeiro com 17,44% de potencial de utilização. A média anual do potencial de utilização de água pluvial fica em 8,80%.

O volume de água da chuva consumido chega a uma média de mais de 26 m³ por mês, contra uma média de mais de 270 m³ de consumo de água potável por mês. O volume total consumido de água pluvial seria de mais de 953 m³ por ano.

Não houve atendimento completo pelo volume de água pluvial captado, contudo o atendimento parcial alcança uma média mensal de 35,78%, contra 63,08% não atendido.

Não houve recalques, pois não foi considerado uso de reservatórios superiores para acumulação da água pluvial.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de sistemas de aproveitamento de água da chuva e tecnologias que substituam total ou parcialmente a utilização de água potável por fontes menos nobres são alternativas que devem ser consideradas em novos projetos de edificações. Contudo esses sistemas ainda apresentam elevados custos de implantação e geralmente são ignorados principalmente porque a água é um recurso que ainda possui baixo custo no Brasil.

Em edificações públicas e comerciais a utilização desses sistemas é mais justificável que em residências, pois representa um maior gasto do recurso natural e sua implantação pode ser economicamente vantajosa. As maiores distribuições de consumo nestas edificações se dão principalmente em usos que não requerem utilização de água potável, como em descargas de bacias sanitárias, limpeza e rega de jardins, o que em edificações residenciais tende a ser o contrário, tendo utilizações principais em chuveiros, pias de cozinha, pias de banheiro, entre outros que necessitam de água potável.

O Estado do Tocantins possui estações climáticas bem definidas e quase não há precipitação nos meses de estiagem, por isso as estruturas de armazenamento de água devem ser cuidadosamente dimensionadas para atender os meses de maior carência.

Pelos resultados obtidos com o software Netuno 4 é possível identificar os meses críticos que são de Maio a Setembro, sendo que nesse período o aproveitamento é menor que 4%. Contudo nos meses chuvosos, em especial no mês de Janeiro, o potencial de utilização da água pluvial chega a 17,44% com um atendimento parcial de 66,61% da demanda hídrica total por água potável no campus.

Esses resultados demonstram que o potencial de utilização de água pluvial no CEULP-ULBRA é significativo e que é possível economizar utilizando-se água pluvial que é relativamente abundante, se coletada por grandes áreas, e não possui custos adicionais de captação, como impostos e os custos praticados pelas concessionárias.

Além das águas pluviais captadas via coberturas alguns estabelecimentos públicos já estudam aproveitar as águas coletadas pelos pisos, estacionamentos e demais áreas impermeabilizadas, direcionadas através de canaletas e bueiros para os reservatórios inferiores, isso aumentaria a contribuição de área de captação aumentando o volume disponível para utilização não potável, contudo exigiria algumas

etapas diferenciadas no sistema de tratamento da água bruta, como filtragem para separação de sólidos grosseiros e desinfecção.

O CEULP-ULBRA também conta com um ginásio de esportes com área de cobertura ampla que também poderia compor o sistema de captação de águas pluviais.

É importante salientar que o maior benefício é o ambiental, uma vez que a pressão por recursos naturais está cada dia maior e que a água potável está se tornando mais escassa e de difícil obtenção, sendo necessário a cada dia investimentos em tratamentos dessas águas para que fiquem aptas ao consumo humano.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Aplicar questionários à população do campus para estimar qual o volume de utilização total da água potável e quais os percentuais de destinação, por exemplo, para sanitários, bebedouros, serviços gerais, etc, uma vez que não se possuem esses volumes;
- Avaliar *in loco* a qualidade da água pluvial coletada pelo sistema de captação, realizando coletas para análise laboratorial;
- Orçar o valor de implantação de um sistema de captação de águas pluviais que satisfaça a demanda por água não potável;
- Verificar os melhores sistemas de captação para melhorar e automatizar o processo de armazenamento, rejeitando a vazão no primeiro momento de precipitação, por se tratar de água com maior grau de poeira e outras impurezas;
- Avaliar qual seria o tempo de retorno financeiro do investimento, valor presente líquido e taxa interna de retorno do sistema de captação de águas pluviais e;
- Avaliar o incremento para o sistema de captação de água pluvial que seria obtido com a parcela de água proveniente do funcionamento dos aparelhos de ar condicionado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527/2007**. Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12217/1994**. Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

ALVES, W.; ZANELLA, L.; SANTOS, M. F. **Sistema de aproveitamento de águas pluviais para uso não potáveis**. Revista Técnica, p.99-104, abr. 2008.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Aproveitamento de águas de chuvas para abastecimento**. Rio de Janeiro: 1991. Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente – Revista Bio. Rio de Janeiro, ano III, número 2, abr/jun.

BRASIL. Ministério da Saúde – MS. **Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

CARVALHO, D. F. de, SILVA, L. D. B. **Notas de aula: Hidrologia**. Capítulo 7: Escoamento superficial. Rio de Janeiro, 2006.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Reúso de Água**. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/informacoes-basicas/8-2/reuso-de-agua/>>. Acesso em: 20 fevereiro 2017.

CHOW, V.T. **Handbook of Applied Hydrology: a compendium of water-resources technology**. New York: Mc Graw – Hill Book Company, 1964.

FENDRICH, R. **Aplicabilidade do Armazenamento, Utilização e Infiltração das Águas Pluviais e Drenagem Urbana**. Tese de doutorado do programa de pós-graduação em geologia-UFPR. Boletim Paranaense de Geociências, editorial UFPR: 2002.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4**. Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labeeee.ufsc.br/>. 2014.

GIACCHINI, M. **Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

GIACCHINI, M.; FILHO, A. G. de A.; SANTOS, D. C. dos. **Estudo do método de Azevedo Neto para dimensionamento de reservatório de água de chuva.** In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, 2011.

GONÇALVES, R. F. **Uso racional da água em edificações.** 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2006.

GOOGLE EARTH. **Google Maps.** Programa computacional. Disponível em: <<http://mapas.google.com.br>>. Acesso em: 15 fev 2017.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade de água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil – UFSM). Santa Maria, 2009.

HELMREICH, B.; HORN, H. **Opportunities in rainwater harvesting, Desalination,** vol. 248, Issues 1–3, 2009.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Vários links. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 30 fev 2016.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Estação de Palmas - Climatologia Local.** Disponível em: < http://sonda.ccst.inpe.br/estacoes/palmas_clima.html>. Acesso em: 30 fev 2016.

JABUR, A. S., BENETTI, H. P., SILIPRANDI, E. M. **Aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis.** VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. ISSN: 1984-9354. Rio de Janeiro, 2011.

JUNIOR, N. B. C. **A certificação verde no setor da construção civil: os benefícios da implementação da gestão e uso eficiente da água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

LAGE, E. de S. **Aproveitamento de água pluvial em concessionárias de veículos na cidade de Belo Horizonte:** Potencial de economia de água potável e estudo de viabilidade econômica. Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Mestrado em Engenharia Civil. Florianópolis, 2010.

MACHADO, F. H. **Análise dos pontos positivos e negativos de sistemas de captação de água de chuva.** Ver. Hipótese, Itapetininga, v.1, p. 86-108. São Paulo, 2015.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações.** Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004. 189 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Ciclo Hidrológico.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>>. Acesso em: 29 out 2015.

OLIVEIRA, S. M de. **Aproveitamento da água da chuva e reuso de água em residências unifamiliares: estudo de caso em palhoça.** Trabalho de conclusão do curso de graduação em engenharia civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis , 2005.

OLIVEIRA, T. D., CHRISTMANN, S. S., PIEREZAN, J. B. Aproveitamento, captação e (re) uso das águas pluviais na arquitetura. *In: Revista Gestão e Desenvolvimento em Contexto. Melhores Trabalhos.* 2(2), 01-15, 2015.

PAIVA, M. P. **Grandes represas do Brasil.** Editerra, Brasília. 292p. 1982.

PEREIRA, Q. L.; ANDRADE, P. R. G. S. de. **Aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.** In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013.

RESAG. **Rede de Saneamento e Abastecimento de Água.** Rev. Água e Saúde. Disponível em: <http://www.resag.org.br/extranet/uploads/PublicacaoArquivo/resag_aguasaude_1403716030790.pdf>. Acesso em: out 2015.

SEPLAN. **Atlas do Tocantins, subsídios ao planejamento à gestão territorial.** 5ª edição, Secretária de Planejamento do Estado do Tocantins. Palmas. 2008. 62p.

SILVA, V. N. da, DOMINGOS, P. **Captação e manejo de água de chuva.** Saúde e Ambiente em Revista. P. 68-76. Duque de Caxias: 2007.

SILVA JR., J. L. C. da. **Relato Técnico-Científico.** Avaliação parcial das condições pluviométricas no Estado do Tocantins, durante o período chuvoso 2015/2016. UNITINS: Palmas, 2016.

SUSTENTARQUI. **Selos para construção sustentável.** 2014. Disponível em: <<http://sustentarqui.com.br/dicas/selos-para-contrucao-sustentavel/>>. Acesso em: 16 out 2015.

TWDB, Texas Water Development Board. **The Texas manual on rainwater harvesting.** Third edition. Texas: 2005. Disponível em: <http://www.twdb.texas.gov/publications/brochures/conservation/doc/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf>. Acesso em: 21 mai 2017.

ULBRA. Universidade Luterana do Brasil – Campus de Palmas. **Informações administrativas.** Via email/ofício. 2017.

UNIÁGUA. Universidade da água. **Água no Planeta.** Disponível em: <<http://www.uniagua.org.br>>. Acesso em: 15 out 2015.

8. ANEXOS

8.1 ANEXO A – PLANTA DE SITUAÇÃO DO CEULP-ULBRA

Encontra-se na planta em formato A3 da página seguinte.

8.2 ANEXO B – PLANTA DE COBERTURA DO CEULP-ULBRA

Encontra-se na planta em formato A3 da página seguinte.

8.3 ANEXO C – MÉTODOS DE CÁLCULO PARA RESERVATÓRIOS

Segundo a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007), os métodos de cálculo para dimensionamento de reservatórios são:

• Rippl:

Neste método podem-se usar as séries históricas mensais ou diárias.

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)}$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação}$$

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores } S_{(t)} > 0$$

Sendo que: $\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$

onde:

$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$Q_{(t)}$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t ;

$D_{(t)}$ é a demanda ou consumo no tempo t ;

V é o volume do reservatório;

C é o coeficiente de escoamento superficial.

• Azevedo Neto:

O volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T$$

onde:

P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

T é o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca;

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);

V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

• Prático alemão:

Trata-se de um método empírico onde se toma o menor valor do volume do reservatório; 6 % do volume anual de consumo ou 6 % do volume anual de precipitação aproveitável.

$$V_{\text{adotado}} = \text{mínimo de (volume anual precipitado aproveitável e volume anual de consumo)} \times 0,06 \text{ (6 \%)}$$

$$V_{\text{adotado}} = \text{mín} (V; D) \times 0,06$$

onde:

V é o valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros (L);

D é o valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros (L);

V_{adotado} é o valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

• Prático inglês:

O volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,05 \times P \times A$$

onde:

P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);

V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros (L).

• Prático australiano:

O volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$Q = A \times C \times (P - I)$$

onde:

C é o coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

P é a precipitação média mensal;

I é a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm;

A é a área de coleta;

Q é o volume mensal produzido pela chuva.

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório.

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t$$

onde:

Q_t é o volume mensal produzido pela chuva no mês t;

V_t é o volume de água que está no tanque no fim do mês t;

V_{t-1} é o volume de água que está no tanque no início do mês t;

D_t é a demanda mensal;

NOTA Para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio.

Quando (V_{t-1} + Q_t - D) < 0, então o V_t = 0

O volume do tanque escolhido será T.

Confiança:

$$P_r = N_r / N$$

onde:

P_r é a falha;

N_r é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando V_t = 0;

N é o número de meses considerado, geralmente 12 meses;