



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO DO CAMPO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENSINO DA NATUREZA E
MATEMÁTICA PARA CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO**

RUBENILDO CAMPOS DA SILVA

**O POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVAS:
UMA PROPOSTA PARA O USO DE MODELAGEM MATEMÁTICA**

**SUMÉ - PB
2018**

RUBENILDO CAMPO DA SILVA

**O POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVAS:
UMA PROPOSTA PARA O USO DE MODELAGEM MATEMÁTICA**

Artigo Científico apresentado ao Curso de Especialização em Ensino de Ciências da Natureza e Matemática do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

**Orientadores: Professora Dr^a Aldinete Bezerra Barreto.
Professor Dr. Hugo Moraes de Alcântara.**

**SUMÉ - PB
2018**

S586p Silva, Rubenildo Campos da.

O potencial de captação de água de chuvas: uma proposta para o uso da modelagem matemática. / Rubenildo Campos da Silva. - Sumé - PB: [s.n], 2018.

26 f.

Orientadores: Professora Dr.^a. Aldinete Bezerra Barreto; Professor Dr. Hugo Moraes de Alcântara.

Artigo Científico - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Especialização em Ensino de Ciências da Natureza e Matemática para Convivência com o Semiárido.

1. Captação de água da chuva. 2. Modelagem matemática. 3. Convivência com o Semiárido. I. Título.

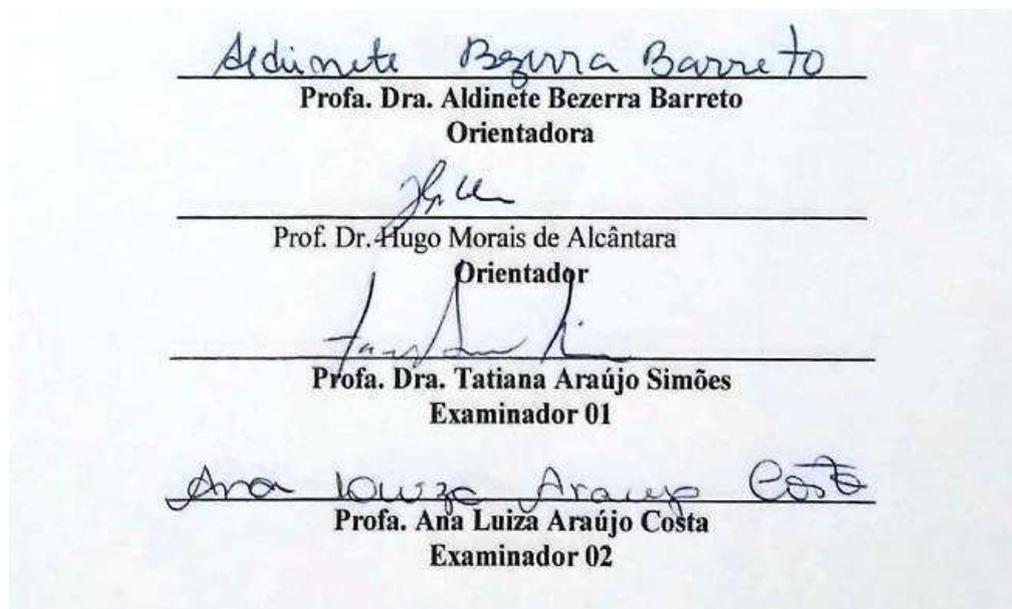
CDU: 51:37(045)

RUBENILDO CAMPOS DA SILVA

**O POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVAS:
UMA PROPOSTA PARA O USO DE MODELAGEM MATEMÁTICA**

Artigo Científico apresentado ao Curso de Especialização em Ensino de Ciências da Natureza e Matemática do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

BANCA EXAMINADORA:



Trabalho aprovado em: 30 de abril de 2018.

Dedico à toda minha família, em especial, a minha esposa Maria José pelo o apoio nesta caminhada, motivo pelo qual me fez chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo o dom da vida, a minha família, aos meus amigos, em especial aos meus pais.

A minha esposa, que sempre se fez presente me ajudando nessa caminhada.

Aos colegas de curso que me proporcionaram que a caminhada até aqui pudesse ser amena e prazerosa.

Aos meus professores que sempre fizeram o possível e o impossível para garantir o melhor aprendizado para mim e meus colegas.

Agradeço o apoio da minha orientadora Aldinete Bezerra Barreto pela a sua dedicação, compreensão e por ter me ajudado a concluir esta importante etapa da minha vida acadêmica.

Obrigada à todos, sem vocês não seria possível à realização dessa conquista.

"A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade, só tem valor quando acaba".

(Guimarães Rosa.)

O POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVAS: UMA PROPOSTA PARA O USO DA MODELAGEM MATEMÁTICA

Rubenildo campos da silva

rubenildocampos@gmail.com

Aldinete Bezerra Barreto

aldibarreto@ufcg.edu.br

RESUMO

Esta pesquisa procurou estimar o potencial de captação de água das chuvas para consumo não potável em edificações do CDSA/UFCG. Dentro dessa temática, propôs um projeto de modelagem matemática como estratégia de ensino-aprendizagem, associada à problematização e investigação da realidade a qual os alunos estão inseridos. Foram utilizados os totais do consumo mensal de água potável e a área de cobertura da Central de Aula I e II e os totais diários da precipitação, no período entre 1994 e 2017, cedidos pela Agência Executiva de Gestão das águas do Estado da Paraíba (AESA). A Técnica dos Quantis caracterizou os meses de julho a dezembro como período crítico, sujeito a poucas chuvas. Na análise estatística, os meses de março a junho se destacam como o período de picos máximos da precipitação média mensal. Porém, nos outros meses a precipitação mensal é irregularmente distribuída, já que o desvio padrão tem valores maiores que as médias e as medianas em quase todos os meses. O Método de Rippl e o Método Azevedo Neto, aplicado para dimensionar a capacidade dos reservatórios de água das chuvas, sugerem que um reservatório com o volume variando entre 71 e 84 m³, teoricamente deve suprir as necessidades do consumo atual de águas não potáveis das duas Centrais de Aula do CDSA. A análise da acumulada do Volume de água captada e a acumulada da Demanda implicam numa capacidade de armazenamento adequado entre o suprimento e a demanda no período de um ano. Após todas as etapas dessa pesquisa, a temática da água potável mostrou como este assunto é rico em informações matemáticas, o que motivou a proposta para o desenvolvimento da modelagem matemática.

Palavras chaves: Chuva, Captação de água e modelagem matemática.

ABSTRACT

This research sought to estimate the potential of rainwater harvesting for non - potable use in buildings of the CDSA/UFCG. Within this theme, it was proposed a mathematical modeling project as a teaching-learning strategy, associated to the problematization and investigation of the reality which the students are inserted. The totals of the monthly consumption of drinking water and the coverage area of the Class Central I and II and the daily precipitation totals, between 1994 and 2017, were used, provided by the Executive Agency for Water Management of the State of Paraíba (AESAs). The Quanti's technique characterized the months from July to December as a critical period, subject to few rains. In the statistical analysis, the months of March to June stand out as the period of maximum peaks of the average monthly precipitation. However, in the other months the monthly precipitation is irregularly distributed, since the standard deviation has values greater than the means and the medians in almost every month. The Rippl and the Azevedo Neto Methods, applied to size the capacity of rainwater reservoirs, suggest that a reservoir with a volume varying between 71 and 84 m³, should theoretically meet the needs of the current non-potable water consumption of the two CDSA Class Central. The analysis of the cumulative volume of collected water and the cumulative demand imply adequate storage capacity between supply and demand over a period of one year. After all the steps of this research, the subject of drinking water showed how this subject is rich in mathematical information, which motivated the proposal for the development of mathematical modeling.

Key words: Rain, Water Collection and Mathematical Modeling

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água potável no planeta tem se tornado cada vez mais escassa e ultimamente desponta como uma das principais preocupações da humanidade. Essa escassez vem sendo associada ao aumento de consumo da água, decorrente de alguns fatores como o crescimento populacional urbano, ao que se atribui um aumento na demanda comercial e industrial; o uso irresponsável da água por parte da população que leva ao desperdício; a ineficiência na gestão dos recursos hídricos por parte do setor público, além das perdas na rede de distribuição de água.

Embora, o Brasil seja um dos países mais ricos em água doce do planeta, a disponibilidade desses recursos não é uniforme. 73 % da água doce disponível no país encontra-se na bacia Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população e apenas 27 % dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para as demais regiões, onde residem 95% da população do país (MMA- Ministério do Meio Ambiente- (http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025910.pdf)).

Com isso, alguns estudiosos vêm discutindo e sugerindo soluções alternativas para minimizar o consumo de água potável (Almeida et al., 2013; Viana & costa, 2015). Uma dessas alternativas é o aproveitamento da água da chuva, em áreas urbanas, para fins não potáveis tais como: lavagem de banheiros, pátios, jardinagem e outras.

No processo de coleta de água da chuva, são utilizadas áreas impermeáveis, normalmente o telhado. Uma forma simples de aproveitar a chuva seria construir calhas no telhado que escoem a água para reservatórios fechados, conhecidos como cisternas. O armazenamento dessa água em cisternas tem mostrado ser uma tecnologia simples e de uso quase universal. Porém, estimar a captação de água da chuva, sem estabelecer o regime pluvial local conduzirá a erros de subestimar ou superestimar o volume potencial local (Almeida & Gomes, 2011).

O estudo de May (2004) investigou a viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações e concluiu que a viabilidade do sistema também depende basicamente da precipitação, além da área da coleta e demanda.

Miranda et al (2013) fizeram uma análise da quantidade e de como é utilizada a água na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus de Toledo, para desenvolver uma proposta de coleta e uso da água da chuva.

Nascimento et al. (2016) avaliaram o potencial do aproveitamento de água de chuva na Universidade Federal do Pará (UFPA) e os resultados mostraram que devido ao alto índice pluviométrico e as grandes áreas de captação, a UFPA possui um potencial real e favorável de aproveitamento de água de chuva como forma alternativa de abastecimento, o que demonstra uma ótima alternativa para a economia de água fornecida pelo sistema de abastecimento da universidade.

Particularmente, no nordeste do Brasil, o semiárido nordestino é a segunda região mais populosa do país, embora disponha do menor potencial de recursos hídricos, o que é um fator preocupante em relação à disponibilidade de água potável. Outro fator que agrava a escassez da água nessa região é o baixo índice pluviométrico e as secas periódicas. Almeida & Farias (2012) estudaram o regime pluvial e os volumes potenciais de captação de água da chuva (VPC) das microrregiões mais secas da Paraíba e concluíram que regime pluvial é a condição primordial para quantificar o VPC local e regional.

A captação de água da chuva é uma importante estratégia que pode ser desenvolvida no semiárido com vista ao alcance da sustentabilidade hídrica de instituições pública e privada que conta com um espaço considerável de área coberta. Dentro dessa perspectiva, neste artigo, um dos objetivos é estimar o potencial de captação de água da chuva do Centro de Desenvolvimento Sustentável do semiárido-CDSA, Campus da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, localizado na cidade de Sumé-PB/ Microrregião Cariri Ocidental da Paraíba, já que o CDSA é uma instituição favorável ao desenvolvimento de ações práticas de sustentabilidade.

Trazendo os estudos da importância da água para as instituições de ensino, essa temática também foi voltada para a Modelagem Matemática como estratégia de ensino-aprendizagem, capaz de proporcionar mudanças na forma como o aluno vivencia a matemática.

Germiniano (2015) usou a aplicação de Modelagem Matemática para estudos de projeção no crescimento de consumo de água, com estudo de caso na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina (UTFPR-LD). Neste projeto foi analisado o crescimento do consumo de água no Campus, para determinar o estudo relacionado ao aumento semestral do número de alunos nos cursos de graduação e assim quantificar o consumo de água na UTFPR-LD.

Oliveira (2013) mostrou a Modelagem Matemática no tratamento e distribuição de água como proposta para o ensino da matemática enquadrado nos três níveis de ensino (fundamental, médio e superior).

Basaglia & Ceolim (2014) trataram a Modelagem Matemática como um ambiente para aprendizagem juntamente com a Educação Ambiental, dissertando sobre a implementação do Projeto Modelagem Matemática na Captação da Água da Chuva em um Colégio Estadual do Estado do Paraná.

A modelagem matemática é uma proposta que pode melhorar consideravelmente o ensino da matemática. Assim, outro objetivo da pesquisa é propor a implementação de um projeto de Modelagem Matemática que sirva como instrumento de ação e conscientização sobre a questão hídrica, ao tempo em que promoverá uma educação contextualizada formadora de agentes multiplicadores de ações e ideias sustentáveis no que tange ao uso consciente e racional da água em nossa região. Para tanto, se faz necessário voltar o nosso olhar para a sustentabilidade hídrica, pensada a partir da captação de água de chuvas através dos telhados também em áreas urbanas.

2 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido a partir de uma pesquisa de um estudo de caso realizado no Centro de desenvolvimento Sustentável do Semiárido-CDSA, com foco no setor das duas Centrais de Aulas, para levantar dados e parâmetros locais sobre captação da água de chuva no referido Centro. Para tanto foi feito a análise de dados das condições climatológicas da cidade de Sumé; da área de cobertura do CDSA; do perfil de consumo de água e da estimativa dos volumes potenciais de captação de água da chuva (VPC).

Das condições climatológicas foram utilizados dados de precipitação diária do período de 1994 a 2017 da cidade de Sumé-PB, cedidos pela Agência Executiva de Gestão das águas do Estado da Paraíba (AESAs). Esses dados foram usados para analisar os totais acumulados de chuva, as médias climatológicas, as medianas, o desvio padrão e a classificação pluviométrica da precipitação anual em períodos secos e chuvosos.

O Desvio Padrão Mensal (σ_i), que permite a observação da variação dos dados em relação à média aritmética da série, foi calculado por

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(x_{ij} - \mu_i)^2}{n - 1}}$$

Onde: x_i é o total mensal de precipitação para cada ano; μ_i é a Média Mensal Climatológica e n é o número de anos.

Para avaliar a ocorrência de períodos secos e chuvosos utilizou-se o critério estatístico dos Quantis, medida esta que pertence a mediana. Por extensão desse conceito, infere-se que outras medidas podem ser utilizadas para dividir o conjunto de dados em subconjuntos. A Técnica dos Quantis é uma metodologia que consiste estritamente na distribuição em ordenamento crescente de uma série amostral contínua, para a qual se atribui uma probabilidade p , univocamente para cada valor amostral (XAVIER, 1999; XAVIER et al., 2002). Assim, a série temporal será organizada na ordem crescente que é então dividida em n partes. Os intervalos de cada percentil representam as probabilidades ou frequências esperadas para cada um dos eventos que podem ocorrer dentro das classes: muito seco (Ms), seco (S), normal (N), chuvoso © e muito chuvoso (Mc) mediante as expressões descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Intervalos de classe para categorização da precipitação

Classes de Precipitação		
Muito Seco	“MS”	quando $x_i \leq P_{0,15}$
Seco	“S”	quando $P_{0,15} < x_i \leq 0,35$
Normal	“N”	quando $P_{0,35} < x_i < P_{0,65}$
Chuvoso	“C”	quando $P_{0,65} \leq x_i < P_{0,85}$
Muito chuvoso	“MC”	quando $x_i \geq P_{0,85}$

Fonte: Rubenildo campos da silva (2018)

Na análise do potencial de aproveitamento de água de chuva foram utilizadas como área de amostragem para dimensionar a demanda e a viabilidade de captação dessa água apenas as Centrais de Aula do CDSA (Central I e Central II) por trata-se de um setor em que a demanda de água é quase que exclusivamente para uso dos vasos sanitários, pias e limpeza de pisos.

O levantamento das áreas dos telhados das Centrais e o do consumo de água canalizada foi realizado a partir das informações fornecidas pela Prefeitura Universitária do CDSA, como mostra o Quadro 2. As duas centrais de aula contam com uma estrutura que demanda água para 08 banheiros, totalizando 24 privadas e 16 torneiras. O consumo de água potável na central I é de $8,6 \text{ m}^3$ e na Central II de $10,2 \text{ m}^3$. Já o valor total de área coberta é o mesmo para as duas Centrais de Aula, $292,7 \text{ m}^2$.

Quadro2 - Dados da área de amostragem da Central de Aula I e II do CDSA.

Características da Área de Estudo	Central de Aula I	Central de Aula II
Área coberta	292,7 m ²	292,7 m ²
Salas de Aula	14	14
Banheiros	04	04
Torneiras	08	08
Privadas	12	12
Consumo médio mensal de água potável	8,6 m ³	10,2 m ³

Fonte: Rubenildo Campos da silva(2018)

O volume de chuva que pode ser coletado pelas áreas de telhados dos prédios das Centrais de Aula foi o método sugerido na NBR 15527/2007 que trata de sistemas e requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. O volume foi determinado considerando os dados de precipitação, a área total do telhado e o coeficiente de Runoff igual a 0,8. Este coeficiente indica que 20% da água da chuva é perdida pelo descarte para a limpeza do telhado e da evaporação. Assim, o volume de chuva que poderia ser coletado é igual a:

$$V = \frac{P \cdot A \cdot C \cdot \eta}{1000}$$

onde:

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

P é a precipitação média anual, mensal ou diária;

A é a área de coleta;

C é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura (fibra –cimento); 0,8

1.000: fator de conversão de litros para m³

η first flush = rendimento do dispositivo de carga de lavagem do sistema

η_{fator de captação} é a eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

Já o potencial mensal de economia de água potável (PEAP) no CDSA foi determinado considerando os dados mensais do consumo de água (DCAP) e do volume mensal de água de

chuva captada (V), de acordo com a metodologia aplicada por LIMA *et al.* (2011), conforme a equação:

$$PEAP = \frac{V}{DCAP}$$

Conhecendo os dados da demanda de água e também do volume de captação da chuva foi possível dimensionar o reservatório de armazenamento dessa água. Para tanto foi considerado os métodos da NBR 15527/2007 que trata de sistemas e requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

A NBR 15.527/2007 sugere alguns métodos para o dimensionamento do reservatório. São eles: Método de Rippl; Método da simulação; Método Azevedo Neto; Método Prático Alemão; Método Prático Inglês e Método Australiano. Esses métodos podem ser utilizados para atender à demanda local de água por alguns dias, meses ou até por todo o ano. Neste trabalho se aplicou o Método Azevedo Neto, também conhecido como Método Brasileiro, e o Método de Rippl, ambos estão relacionados com período de pouca chuva ou seca.

2.1 Método Azevedo Neto (Método Brasileiro)

A aplicação do Método Azevedo Neto utiliza uma série de precipitação de forma anual relacionando com a quantidade de meses com pouca chuva ou seca e sugere o aproveitamento máximo de 50% da precipitação anual, em decorrência do escoamento superficial assim como de perdas inerentes ao sistema.

Este método desconsidera a influencia da demanda de água, considerando apenas o volume captado e o período mensal de estiagem. Dessa forma o volume do reservatório é calculado por

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

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_R é o volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

2.2 Método de Rippl

O método de Rippl refere-se ao estudo hidrológico que permite armazenar o excesso de água no período chuvoso objetivando compensar as deficiências do período seco. O método considera não só os dados de precipitação, mas a demanda ou o consumo de água no

período observado. Nesse caso, o volume de água captada é subtraído da demanda de água de chuva em um mesmo intervalo de tempo. A máxima diferença acumulada positiva é o volume do reservatório para 100% de confiança.

O volume do reservatório de água pluvial por meio deste método foi obtido por meio de séries históricas mensais e é dado por

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

Sendo:

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

$$V_{(t)} = C \times \text{Precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{Área de captação};$$

$$\sum D_{(t)} < \sum V_{(t)}$$

onde:

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

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

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

V_R é o volume do reservatório;

C é o coeficiente de escoamento superficial.

3 RESULTADOS

3.1 Análise Estatística Anual da Precipitação

Através do uso da Técnica do Quantil (Percentis) foi determinada a classe pluviométrica da precipitação anual da cidade de Sumé, que caracterizou os totais anuais em cinco classes como: Muito Seco (MS) com 17% dos anos, Seco (S) com 29%, Normal (N) com 38%, Chuvoso (CH) com 13% e Muito Chuvoso (MC) com 4%, apresentadas no

Quadro3 - Classe da precipitação anual correspondente ao período 1994-2017

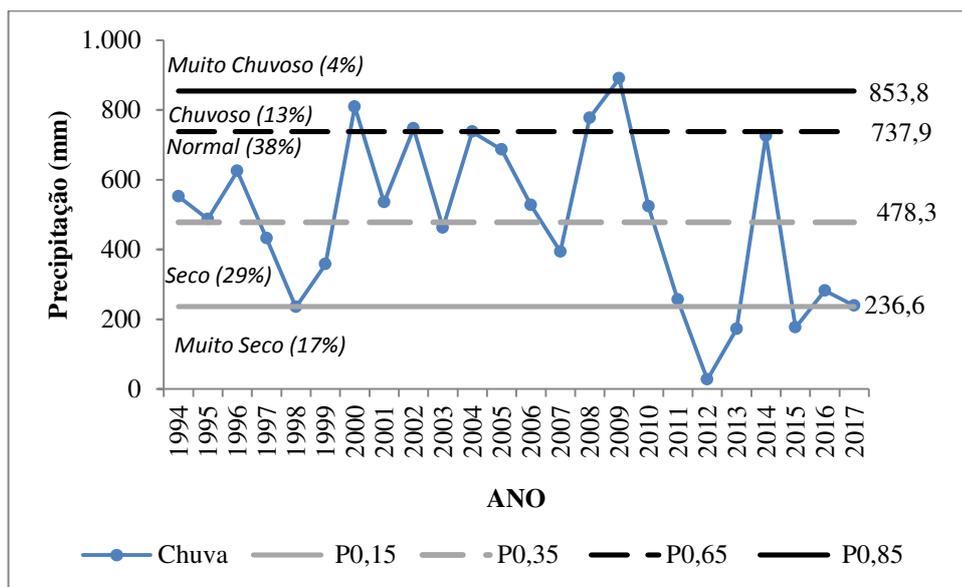
Classes de Precipitação				x_i (chuva mm)	Frequência Anual (%)
1	Muito Seco	“MS”	$x_i \leq P0,15$	27 ———— 236,6	17%
2	Seco	“S”	$P0,15 < x_i \leq 0,35$	236,6 ———— 478,3	29%
3	Normal	“N”	$P0,35 < x_i < P0,65$	478,3 ———— 737,9	38%
4	Chuvoso	“C”	$P0,65 \leq x_i < P0,85$	737,9 ———— 853,8	13%
5	Muito chuvoso	“MC”	$x_i \geq P0,85$	853,8 ———— 890,2	4%

Fonte: AESA(1994-2017)

Na figura 1, foi feita a ilustração tanto dos anos, quanto dos mínimos e máximos pluviométricos anuais de cada classe. Observa-se que os menores índices de precipitação estão nos anos 1998, 2012, 2013 e 2015, os quais foram classificados como Muito Seco (MS), com valores menor ou igual ao $P_{0,15}$ (236,6mm). Ressalta-se o ano de 2012 com 27 mm, menor índice da série.

Em contraste aos períodos muito secos, apenas o ano de 2009 (com 890,2 mm) foi classificado como Muito Chuvoso (MC), pois apresentou valor maior que $P_{0,85}$ (853,9 mm). Já a maior frequência anual está nos períodos Seco (29%) e Normal (38%). A transição da faixa Normal para Chuvoso está entre 478,3 mm e 853,8 mm. A precipitação média anual da cidade de Sumé é 484,5 mm e esse índice pluviométrico está classe Normal.

Gráfico 1 - Distribuição do total anual da precipitação e a sua Classificação obtida pelo método dos Quantis, no período 1994-2017 em Sumé-PB: Precipitação (linha azul), Percentil_{0,15} (linha cinza contínua), Percentil_{0,35} (linha cinza tracejada), Percentil_{0,65} (linha preta tracejada) e Percentil_{0,85} (linha preta contínua).



Fonte: AESA (1994-2017)

3.2 Análise Estatística Mensal da Precipitação

Com o uso da Técnica do Quantil (Percentis) para dados mensais de precipitação observou-se que o número máximo de meses ocorre nas Classes MS (62), S (80) e N (95) o que corresponde a quase 82% dos casos (Quadro 4). Os meses de julho a dezembro são os meses mais secos da série. Os dois meses de dezembro considerado chuvoso (C) são as chuvas atípicas no ano 2000 e 2005, discutidas na Figura 2.

As médias mensais, a mediana e o desvio padrão da precipitação são mostrados na Figura 2. Observa-se que a precipitação mensal é irregularmente distribuída, já que o desvio padrão tem valores maiores que as médias e as medianas em quase todos os meses.

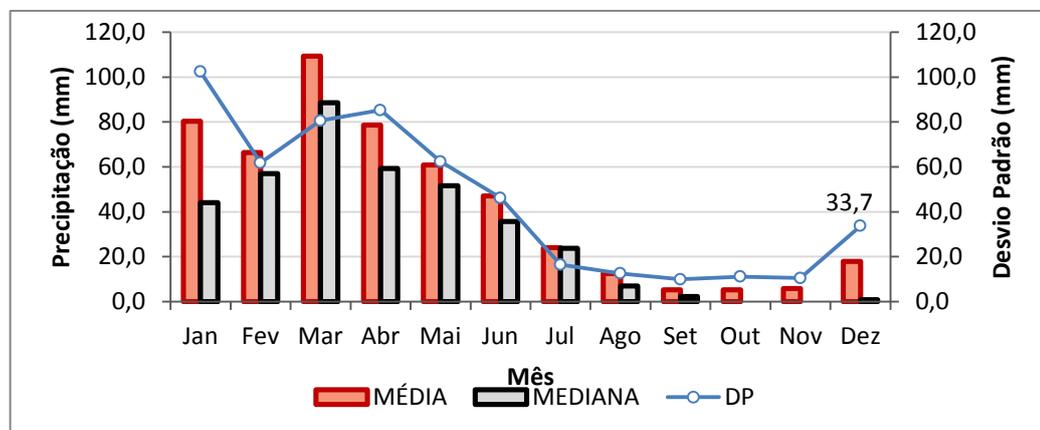
Observa-se ainda que o valor da média mensal é superior ao valor da mediana em todos os meses. Isso determinou um modelo de distribuição, apresentado na Figura 2, do tipo assimétrico e coeficiente de assimetria positivo. Por isso, embora a média aritmética seja a medida de tendência central mais usada, recomenda-se o uso da mediana, em vez da média, por ser esta a mais provável de ocorrer. Resultado semelhante foi encontrado e indicado por Almeida e Farias (2012) para o cariri paraibano.

Quadro 4 Classe da precipitação correspondente a cada mês do período 1994-2017 (AESA)

Classe	MS	S	N	C	MC
Jan	2	6	8	5	3
Fev	4	3	9	8	8
Mar	2	2	7	12	1
Abr	2	3	11	5	3
Mai	2	6	8	7	1
Jun	-	8	12	4	-
Jul	2	4	18	-	-
Ago	3	14	7	-	-
Set	9	14	1	-	-
Out	15	4	5	-	-
Nov	13	8	3	-	-
Dez	8	8	6	2	-
Soma	62	79	95	43	16

Fonte: Rubenildo campos da silva (2018)

Gráfico 2 - Distribuição mensal da precipitação Média, Mediana e Desvio Padrão (DP) do período 1994-2017 da cidade de Sumé-PB.



Fonte: Rubenildo campos da silva (2018)

Ainda na figura 2, observa-se que o período chuvoso é o quadrimestre de fevereiro a maio. Nesse quadrimestre chove o equivalente a 53% (256,5 mm) do total anual de chuva da cidade, com valor máximo no mês de março. Já o período de agosto a dezembro corresponde aos meses com menores índices de precipitação. Particularmente para o mês de dezembro, ressalta-se diferença de valores entre a média (17,9 mm), a mediana (0,8 mm) e o desvio padrão (33,7 mm). Isso indica situações chuvas atípicas nesse mês, a exemplo de dez/2000 com chuva de 107,4 mm e de dez/2005 com 117,0 mm de chuva.

3.3 Métodos para Dimensionamento de Reservatório de Armazenamento de Água

Na seleção do método para dimensionar a capacidade dos reservatórios de água da chuva devem ser considerados alguns fatores como a precipitação local, a área de captação, o consumo, o tempo de estiagem e outros.

Na pesquisa se aplicou o Método de Rippl e o Método Azevedo Neto, ambos estão relacionados com período de pouca chuva ou seca, porém o de Azevedo Neto desconsidera a demanda para esta água.

3.3.1 Método de Rippl

O resultado da aplicação do método de Rippl foi obtido através da relação estabelecida entre os dados pluviométricos locais, a demanda de água não potável, a área coberta das Centrais e o coeficiente de escoamento superficial 0,8. Os resultados da simulação da aplicação do método de Rippl são apresentados na Tabela 1, 2 e 3.

A Tabela 1 apresenta os resultados da aplicação do método de Rippl para a Central de Aula I e II relativo ao consumo médio anual. Na coluna dos dados $S_{(t)}$ observa-se que na central I ocorre sobra de água de $10,2 \text{ m}^3$, enquanto na Central II a somatória das demandas é superior ao volume aproveitável de chuva. Já para a análise conjunta da Central I e II há uma reserva de água de $1,3 \text{ m}^3$. Este resultado sugere o uso de um único reservatório que atenda as duas Centrais conjuntamente.

Tabela 1 - Resultados da aplicação do método de Rippl para a Central de Aula I e II para o Consumo Médio Anual.

Área de estudo	P(mm)	A (m^2)	V (m^3)	$D_{(t)}$ (m^3)	S_t (m^3)	ΣS_t (m^3)
Central I	484,5	292,7	113,4	103,2	-10,2	E
Central II	484,5	292,7	113,4	122,4	9	9
Central I e II	484,5	585,4	226,9	225,6	- 1,3	E

Fonte: Rubenildo campos da silva (2018)

Nota: E-Período onde ocorre sobra de água; $D_{(t)}$ - Consumo mensal; V-Volume aproveitável de chuva e $S_{(t)}$ - Diferença entre as demandas e o volume aproveitável de chuva

Tabela 2 - Resultados da aplicação do método de Rippl para a Central de Aula I para o Consumo Médio Mensal.

Mês	P(mm)	A (m ²)	V (m ³)	D _(t) (m ³)	S _t (m ³)	Σ S _t (m ³)	D _a (m ³)	V _a (m ³)
Jan	80,34	292,7	18,8	5	-13,8	E	5	18,8
Fev	66,38	292,7	15,5	7	-8,5	E	12,0	34,3
Mar	104,75	292,7	24,5	8,6	-15,9	E	20,6	58,9
Abr	78,63	292,7	18,4	8,6	-9,8	E	29,2	77,3
Mai	60,87	292,7	14,3	8,6	-5,7	E	37,8	91,5
Jun	47,09	292,7	11,0	8,6	-2,4	E	46,4	102,6
Jul	23,99	292,7	5,6	8,6	3,0	3,0	55,0	108,2
Ago	12,23	292,7	2,9	8,6	5,7	8,7	63,6	111,0
Set	5,40	292,7	1,3	8,6	7,3	16,1	72,2	112,3
Out	5,42	292,7	1,3	12	10,7	26,8	84,2	113,6
Nov	6,13	292,7	1,4	11	9,6	36,4	95,2	115,0
Dez	24,25	292,7	5,7	8	2,3	38,7	103,2	120,7
Total		-	120,7	103,2				

Fonte: Rubenildo campos da silva (2018)

Nota: E- Período onde ocorre sobra de água, D(t) - Consumo mensal, Da-demanda acumulada, V- Volume aproveitável de chuva e S(t) - Diferença entre as demandas e o volume aproveitável de chuva.

Tabela 3 - Resultados da aplicação do método de Rippl para a Central de Aula II para o Consumo Médio Mensal

Mês	P(mm)	A (m ²)	V (m ³)	D _(t) (m ³)	S _t (m ³)	Σ S _t (m ³)	D _a (m ³)	V _a (m ³)
Jan	80,34	292,7	18,8	8	-10,8	E	8	18,8
Fev	66,38	292,7	15,5	10	-5,5	E	18,0	34,3
Mar	104,75	292,7	24,5	10,2	-14,3	E	28,2	58,9
Abr	78,63	292,7	18,4	10,2	-8,2	E	38,4	77,3
Mai	60,87	292,7	14,3	10,2	-4,1	E	48,6	91,5
Jun	47,09	292,7	11,0	10,2	-0,8	E	58,8	102,6
Jul	23,99	292,7	5,6	10,2	4,6	4,6	69,0	108,2
Ago	12,23	292,7	2,9	10,2	7,3	7,3	79,2	111,0
Set	5,40	292,7	1,3	10,2	8,9	8,9	89,4	112,3
Out	5,42	292,7	1,3	14	12,7	12,7	103,4	113,6
Nov	6,13	292,7	1,4	12	10,6	10,6	115,4	115,0
Dez	24,25	292,7	5,7	7	1,3	1,3	122,4	120,7
Total	515,5	-	120,7	122,4	-	45,5	-	-

Fonte: Rubenildo campos da silva (2018)

Nota: E- Período onde ocorre sobra de água, D(t)- Consumo mensal, Da-demanda acumulada, V- Volume aproveitável de chuva e S(t)-Diferença entre as demandas e o volume aproveitável de chuva.

. Os resultados da aplicação do método de Rippl para o consumo médio mensal considerou o volume de 38,7 m³ definido para o reservatório a partir do consumo observado

na Central da Aula I, visto na Tabela 2. Já para a Central II, o volume do reservatório considerado é de 45,5 m³ (Tabela 3). Ressalta-se que nos dois casos esses valores estão nos meses de julho a dezembro, considerados os meses secos da série. A soma desses dois valores sugere um reservatório com capacidade para 84,2 m³.

3.3.2 Método de Azevedo Neto

Os dados observados na Tabela 4 trata do resultado da aplicação do método de Azevedo Neto, em que foi utilizado o valor do tempo de 6 meses (julho-dezembro), período considerado de Seco a Muito seco em Sumé. O resultado mostra que um reservatório com capacidade de 71,5 m³ seria suficiente para abastecer as centrais de aula I e II do CDSA, num período de um ano. Esse resultado muito se aproxima do volume obtido após aplicação do Método de Rippl (84,2 m³). Assim, um volume variando entre 71 e 84 m³ teoricamente deve suprir as necessidades do consumo atual das duas Centrais de Aula do CDSA.

Tabela 4. Resultado da aplicação do método para T=6

P_{anual} (mm)	A_{total} (m ²)	T (mês)	$V = 0,42 \cdot P \cdot A \cdot T$ (m ³)
484,5	585,4	6	71,5

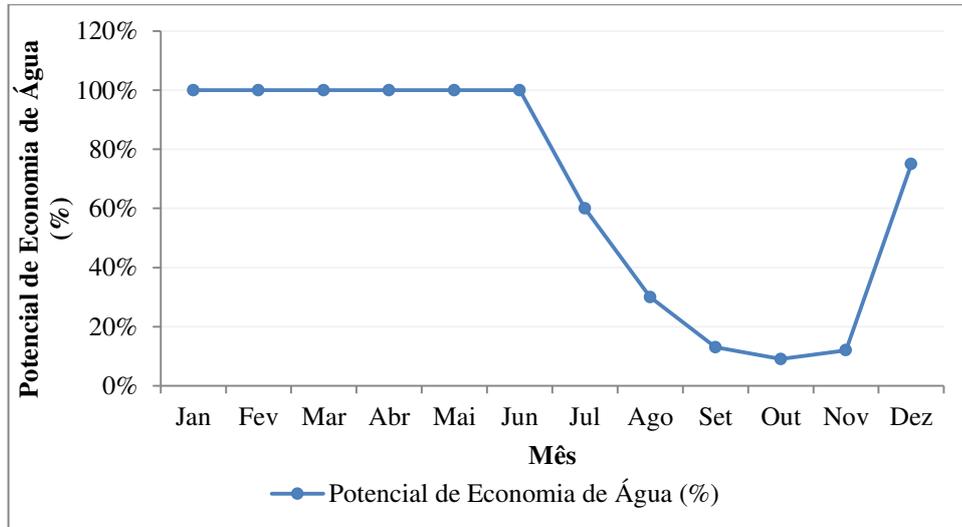
Fonte: Rubenildo campos da silva (2018)

3.3.3 Potencial Mensal de Economia de Água Potável

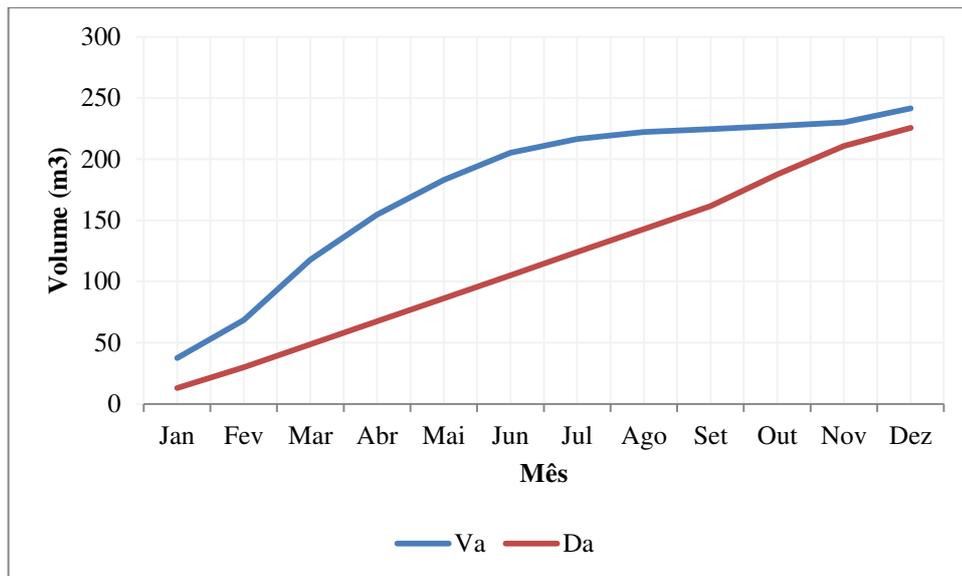
Na Figura 3, apresenta-se o potencial mensal de economia de água potável para as duas centrais de aula do CDSA. Esse cálculo leva em consideração apenas a chuva media mensal e o consumo médio mensal da água potável. Nota-se que o potencial de economia de água varia entre 09% e 100%.

Nos meses de janeiro a junho, o potencial de aproveitamento é de 100%. Já na estação com pouca chuva (julho-novembro) é possível observar o efeito da sazonalidade das chuvas no decréscimo do potencial de economia de água, com valor mínimo no mês de outubro (9%).

Na Figura 4, que trata da relação entre a acumulada do Volume de água captada e a acumulada da Demanda, verifica-se que a curva característica da demanda acumulada (D_a) se aproxima da curva correspondente ao volume captável acumulado, principalmente nos meses de julho a dezembro. Isso implica numa capacidade de armazenamento adequado entre o suprimento e a demanda ao longo do tempo, haja vista que o período crítico apresenta-se bem definido.

Gráfico 3 - Potencial médio de economia de água da central I e II do CDSA

Fonte: Rubenildo campos da silva (2018)

Gráfico 4 - Acumulada do Volume de água captada e a acumulada da Demanda para dados anuais.

Fonte: Rubenildo campos da silva (2018)

3.4 Modelo Matemático

O desperdício de água potável e o mau aproveitamento das águas de chuva ainda são fatores que estão diretamente ligados ao uso sustentável da água. E este é um dos desafios que deverá ser abordado e enfrentado em meios escolares do ensino básico, fundamental e médio.

Pensando nisso, em como evitar o desperdício da água, esta pesquisa propõe um projeto de modelagem matemática que traga uma discussão do tema “água potável”.

A proposta de trabalhar esse tema por meio de um projeto de ensino, além de abordar questões específicas do conteúdo matemático, também está associada à problematização e investigação da realidade a qual os alunos estão inseridos, tais como: sustentabilidade hídrica, o uso racional da água, a redução do desperdício, valor pago pelo consumo mensal de água, questões ambientais e preservação da natureza. Desse modo, entende-se que a interdisciplinaridade é uma característica inerente à Modelagem Matemática, tendo em vista que este processo faz uso dos resultados e os instrumentos de outras áreas como ponto de partida para o seu desenvolvimento (ANTUNES, 2010).

De acordo com Costa 2009, a modelagem matemática, na perspectiva da interdisciplinaridade, também contempla as competências sugeridas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) na medida em que permite:

- Identificar e relacionar os dados, interpretar informações relevantes em uma dada situação-problema, sendo apresentados em diferentes linguagens e representações;
- Reconhecer a natureza e situar o objeto de estudo dentro dos diferentes campos da Matemática e das demais ciências;
- Utilizar, elaborar e interpretar modelos e representações matemáticas para análise de situações-problema;
- Identificar regularidades para estabelecer regras, algoritmos e propriedades;
- Analisar os noticiários e artigos relativos à ciência e tecnologia, identificando o tema em questão e interpretando, com objetividade, seus significados;
- Expressar as ideias com clareza, utilizando a linguagem matemática;

Assim, se configura a importância do desenvolvimento da modelagem matemática, a qual trata-se de uma alternativa pedagógica que leva o discente a ver a relação do ensino da matemática com a realidade. A partir desses conhecimentos o estudante pode desenvolver ações no sentido de contribuir para o desenvolvimento social do seu cotidiano. Além disso, o professor de matemática ao assumir o papel de mediador, para conduzir um trabalho de modelagem matemática com seus alunos, deverá seguir alguns critérios que de acordo com Costa (2009), são os seguintes:

1-Escolha do tema: com base no diagnóstico, o(s) tema(s) pode(m) ser escolhido(s) pelo professor, pelos alunos ou em conjunto.

- 2- Interação com o tema: faz-se um estudo (coleta de informações) sobre o tema escolhido através de visitas técnicas a órgãos e profissionais, pesquisa na internet, livros, revistas, entrevistas, reportagens de jornais ou experimentos.
- 3- Formulação do problema: o professor deve auxiliar os estudantes na formulação do(s) problema(s) matemático(s) relacionado(s) ao tema, das hipóteses utilizando a simbologia adequada e descrevendo as relações em termos matemáticos.
- 4- Elaboração dos modelos matemáticos: o professor deve orientar os estudantes na construção do modelo devido sua natureza conceitual e abstrata.
- 5- Resolução dos problemas matemáticos: nesta etapa, os conceitos matemáticos que foram identificados na elaboração dos modelos matemáticos devem ser sistematizados.
- 6 -Interpretação da solução: cada grupo/estudante deve avaliar e interpretar a solução, verificando a adequação da solução obtida ao modelo utilizado. A interpretação da solução envolve uma retomada dos conceitos matemáticos que estão relacionados ao problema.
- 7-Validação da solução: o resultado obtido pelo modelo matemático é comparado com o sistema “real”.
- 8 - Exposição escrita e oral do trabalho: esta etapa é importante, [...] elaborar relatório, e apresenta-lo, os grupos devem expor os resultados da pesquisa para os demais, pois eles podem colaborar com sugestões para a modificação ou aperfeiçoamento dos modelos obtidos.
- 9 - Avaliação: devem ser avaliados critérios como organização, clareza e criatividade.

Ao seguir tais etapas de construção de uma modelagem matemática o professor estará propiciando a construção do conhecimento a partir do cotidiano do aluno e assim favorecerá o entendimento da matemática no contexto das relações vivenciadas no seu meio social e ambiental.

Para o desenvolvimento desse projeto, no ambiente escolar, o professor apresentará uma descrição da situação problema, no caso a realidade hídrica da escola, por meio de informações necessárias de como realizar um estudo de caso com os alunos. E assim os discentes serão responsabilizados a fazer a coleta de dados, organizar informações, formular e propor ações de resolução da situação problema, fazendo uso de conhecimentos não só matemáticos, mas também de outras áreas.

Da análise desse modelo podem ser extraídos alguns conceitos matemáticos, o que mostra como este assunto é rico em informações matemáticas:

- Área e volumes de formas geométricas;
- Construção e leitura de gráfico,
- Construção e leitura de tabelas,

- Levantamento de dados estatísticos
- Médias aritméticas, medianas, desvio padrão e percentis
- Análise de dados
- Porcentagem
- Operações algébricas
- Conversão de medidas,
- Fórmula de lógica (formula de “se” no Excel)

Com todas as etapas realizadas nesta pesquisa, espera-se que essa proposta de modelagem matemática seja vista como uma real possibilidade de recurso a ser utilizado na sala de aula.

4 CONCLUSÃO

Na análise da variabilidade anual, a Técnica dos Quantis caracterizou os totais anuais em cinco classes: Muito Seco (MS) com 17% dos anos, Seco (S) com 29%, Normal (N) com 38%, Chuvoso (CH) com 13% e Muito Chuvoso (MC) com 4%. A precipitação média anual da cidade de Sumé é 484,5 mm e esse índice pluviométrico está classe Normal.

A mesma técnica usada para dados mensais destacou os meses de julho a dezembro como período crítico de seca, sujeito a poucas chuvas. A análise estatística mensal da precipitação mostrou que a precipitação mensal é irregularmente distribuída, já que o desvio padrão tem valores maiores que as médias e as medianas em quase todos os meses. O período chuvoso é o quadrimestre de fevereiro a maio, com máximo no mês de março.

Para dimensionar a capacidade dos reservatórios de água das chuvas para consumo não potável, nas centrais de aula I e II do CDSA/UFCG, se aplicou o Método de Rippl e o Método Azevedo Neto. A aplicação do Método de Rippl relativo ao consumo médio anual destacou que na análise conjunta da Central I e II há uma reserva de água de 1,3 m³. Este resultado sugere o uso de um único reservatório que atenda as duas Centrais conjuntamente. Na análise do consumo médio mensal, o método de Rippl e o método de Azevedo Neto sugerem que um volume variando entre 71 e 84 m³, que teoricamente deve suprir as necessidades do consumo atual de águas não potáveis das duas Centrais de Aula do CDSA.

O potencial de economia de água potável para as duas centrais de aula do CDSA é de 100% nos meses de janeiro a junho. Já o efeito da sazonalidade das chuvas contribui com o decréscimo desse potencial de economia nos meses de julho a novembro. A acumulada do Volume de água captada e a acumulada da Demanda implicam numa capacidade de armazenamento adequado entre o suprimento e a demanda no período de um ano.

Além de estimar o potencial de captação de água das chuvas para consumo não potável, em edificações do CDSA/UFMG, essa pesquisa propôs um projeto de modelagem matemática, dentro dessa temática, como estratégia de ensino-aprendizagem associada à problematização e investigação da realidade a qual os alunos estão inseridos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. A. de & FARIAS, M. P. **Regime pluvial e potencial de captação de água para as microrregiões mais secas da Paraíba**. VIII Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Campina Grande-PB, 2012.

ALMEIDA, H. A. de & GOMES, M. V. A. **Potencial para a captação de água da chuva: Alternativa de abastecimento de água nas escolas públicas de Cuité, PB**. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Guarapari – ES, 2011.

ALMEIDA, H. A., FREITAS, R. C., SILVA, L. **Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba, através da técnica dos Quantis**. Revista de Geografia (UFPE). 30 (1), p. 217-232, 2013.

ANTUNES, G. Palestra: **Modelagem Matemática: O que é, para que serve e como fazer**. **Projeto Conversando sobre a Matemática**: Seminário de Ensino e Matemática Básica Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

BASAGLIA, C. M., CEOLIM, A. J. **Modelagem matemática na captação da água da chuva em um colégio estadual do estado do Paraná**. Cadernos PDE, 26p, ISBN 978-85-8015-080-3. 2014.

COSTA, H.R.A. (2009). **Modelagem matemática através de conceitos científicos**. Ciências & Cognição. 14 (3), 114-133. Acessado em 20/03/2018 e disponível em (http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-58212009000300010)

GERMINIANO, J. P. P. 2015. **Aplicação de modelagem matemática para estudos de projeção no crescimento de consumo de água**. Estudo de caso UTFPR-Campus Londrina. Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 67p. Trabalho de Conclusão de Curso.

LIMA, J.A. et al. 2011. **Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia.** Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 16(3), 291-298. http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025910.pdf acessado em 29/03/2018.

MAY, S. 2004. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações.** São Paulo: Departamento de Engenharia da Construção Civil, Universidade de São Paulo, 159p. Dissertação Mestrado.

MIRANDA, D. T., SALIBY, C., PEREIRA, S. H., ASSUMPÇÃO, R. A. B. A. **Captação e Utilização da Água da Chuva.** Toledo-PR, 2013. I Semana da Matemática da UTFPR–Toledo. Perspectivas do Ensino e da Pesquisa em Matemática.

NASCIMENTO, T.V.; FERNANDES, L.L.; YOSHINO, G.H. **Potencial de aproveitamento de água de chuva na Universidade Federal do Pará – Belém/PA.** Revista Monografias Ambientais – REMOA, Santa Maria, v.15, n.1, p.105-116, Jan./Abr. 2016.

OLIVEIRA, L. 2013. **Modelagem Matemática no tratamento e na distribuição de água: propostas para o ensino de matemática.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

VIANA, V. B. e Costa, C. T. F. 2015. **Dimensões da Sustentabilidade Envolvidas Com a Questão da Água.** *Revista NAU Social - v.6, n.10, p. 23-33 Maio/Outubro 2015 ISSN - 2237-78406.*

XAVIER, T. M. B. S. **Caracterização de Períodos secos ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da Técnica dos Quantis: 1964-1998.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 14, n.2, p.63-78. 1999.

XAVIER, T. M. B. S. **A técnica dos quantis e suas aplicações em meteorologia, climatologia e hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras.** Brasília, DF: Thesaurus, 2002. 143p.