



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

Leonardo Rosa Andrade

**A INFLUÊNCIA DO REGIME PLUVIOMÉTRICO NO DESEMPENHO
DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA**

Natal

2014

Leonardo Rosa Andrade

**A INFLUÊNCIA DO REGIME PLUVIOMÉTRICO NO DESEMPENHO
DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientadora: Prof. Dr. Adelená Gonçalves Maia

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lucio

Natal

2014

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.
Catalogação da Publicação na Fonte.

Andrade, Leonardo Rosa.

A influência do regime pluviométrico no desempenho de sistemas de aproveitamento de água de chuva / Leonardo Rosa Andrade. – Natal, RN, 2014.

33 f. : il.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Adelená Gonçalves Maia.

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lucio.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Eficiência de cisternas - Dissertação. 2. Variabilidade temporal da precipitação - Dissertação. 3. Modelos preditivos - Dissertação. I. Maia, Adelená Gonçalves. II. Lucio, Paulo Sérgio. III Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 628.11

LEONARDO ROSA ANDRADE

**A INFLUÊNCIA DO REGIME PLUVIOMÉTRICO NO DESEMPENHO
DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Jozivan do Nascimento
Centro Universitário FACEX - UNIFACEX

Prof. Dr. Antônio Marozzi Righetto
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Prof. Dr^a. Adelena Gonçalves Maia – Orientadora
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Prof. Dr. Paulo Sérgio Lucio – Co-orientador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Natal, 09 de Dezembro de 2014

Dedico este trabalho à minha família, a base de tudo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por tudo o que me proporcionou realizar nesta vida. Agradeço à minha família, que sempre esteve ao meu lado, mesmo com a grande distância física. A meu pai José do Carmo Andrade Dias e minha mãe Maria de Fátima Rosa Andrade, que sempre me deram todo apoio que eu precisava. Aos meus irmãos Danilo Rosa Andrade e Letícia Rosa Andrade Lucena, sempre companheiros imediatos. Agradeço a minha noiva Celestina Andrade Santos, o maior presente que já recebi em toda minha vida. Agradeço a minha orientadora, Prof. Dr^a. Adelena Gonçalves Maia, um verdadeiro anjo em forma de professora. Também agradeço ao meu Co-orientador, Prof. Dr. Paulo Sérgio Lucio, pela grande contribuição dada.

Agradeço aos amigos que fiz em Natal, afinal, eles foram a minha família aqui. Aos colegas do AP e de albergue, em especial ao amigo Régis pelo grande companheirismo, e aos demais amigos: Djone, João Paulo, Ciro, Haniery, Marllon, Rita, Socorro. Também não posso esquecer-me de agradecer aos meus colegas de turma, em especial ao Jurandir Jr. pela irmandade. Aos amigos da Street Pass Natal em especial o amigo Igor Felipe, pela diversão proporcionada nas horas vagas.

Agradeço aos amigos de Rondônia que vieram me visitar: Izadora, Juliana, Paulo e Dulcineri, João Paulo e Alyne. Agradeço aos Professores Gunther Brucha e Margarida Marchetto pela carta de recomendação, sem a qual não poderia entrar no Mestrado.

Agradeço ao COPIRN e aos colegas de trabalho pela experiência adquirida: Cristiane, Pedro, Ceres, Loiane, Marcel, Sátiva, Paola, Kaline, Alcoforado, Alex, Stanrleys, seu Chico e Selma.

Agradeço ao IDEMA e ao ICPA, na pessoa do meu coordenador Francisco Jozivan pela grande oportunidade de crescimento pessoal e profissional, e aos colegas do NETAC: Rafael, Hanyel, Sté, Kaline, Daniel, Eduardo, Denise, Lucyanno, Mariana, Raoni, Claudete, Sharonly e Terciano.

Agradeço aos professores da UFRN/PPgES-LARHISA, pois deram grande contribuição para minha formação. Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Norte pela grande oportunidade, e à CAPES pela bolsa de mestrado.

SUMÁRIO

RESUMO	VIII
ABSTRACT	VIII
INTRODUÇÃO	1
1 OBJETIVO	3
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	3
2.1 ÁREA DE ESTUDO	3
2.2 BALANÇO HÍDRICO	4
2.3 ÍNDICES DE VARIABILIDADE TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO	6
2.4 ADIMENSIONAIS.....	8
2.5 PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS	9
2.5.1 <i>Análise de Componentes Principais (ACP)</i>	9
2.5.2 <i>Análise Fatorial</i>	10
2.5.3 <i>Análise de Correlações Canônicas (ACC)</i>	10
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1 RELAÇÃO ENTRE REGIME PLUVIOMÉTRICO E O DESEMPENHO DE SISTEMAS DE	
 APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	14
3.2 DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE EFICIÊNCIA	23
4 CONCLUSÕES	28
5 REFERÊNCIAS	28
APÊNDICE A	31
APÊNDICE B	33

A INFLUÊNCIA DO REGIME PLUVIOMÉTRICO NO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de cisternas, de modo a estabelecer a influência da variabilidade temporal da precipitação no padrão de eficiência das cisternas. O padrão de eficiência foi estabelecido por meio da Análise de Componentes Principais, sendo que a primeira componente foi capaz de captar 93,86% da variância dos dados. A variabilidade temporal da precipitação foi estudada através dos índices *Precipitation Concentration Degree* (PCD), *Antecedent Dry Weather Period* (ADWP) e $\frac{n_D}{n_R}$, de modo a estabelecer o que melhor capta o regime pluviométrico local. Na relação estabelecida entre as variáveis hidrológicas e a eficiência das cisternas, podemos verificar que o índice PCD apresenta maior relevância na caracterização do regime pluviométrico. Com isso, foi investigada a importância relativa das precipitações médias anuais na eficiência do sistema, separando-as em precipitação total, concentrada e distribuída e em termos de duas relações adimensionais, denominadas Fração de Armazenamento e Fração de Demanda, ficando constatado que a eficiência dos reservatórios tem maior grau de associação com a precipitação distribuída. Foram criados modelos preditivos de eficiência considerando os parâmetros adimensionais π_1 e π_2 em termos de precipitação total e distribuída, possibilitando o cálculo indireto da eficiência. A maior associação entre eficiência e precipitação distribuída não se traduziu numa melhora da precisão na predição das eficiências no modelo criado. Logo, podemos concluir que a variabilidade temporal da precipitação pode ser desconsiderada na análise das eficiências por meio de modelos preditivos, no estado do Rio Grande do Norte.

Palavras-chave: Eficiência de Cisternas; Variabilidade Temporal da Precipitação; Modelos Preditivos.

THE RAINFALL INFLUENCE IN THE RAINWATER HARVESTING SYSTEMS PERFORMANCE

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the performance of tanks in order to establish the influence of temporal rainfall variability in the standard of efficiency of tanks. The efficiency standard was established by means of Principal Component Analysis, and the first component was able to capture 93.86% of the variance of the data. The temporal variability of precipitation was studied by the indices *Precipitation Concentration Degree* (PCD), *Antecedent Dry Weather Period* (ADWP) and $\frac{n_D}{n_R}$, in order to establish the one that best captures the local rain regime. On the relationship between hydrological variables and the efficiency of tanks, we can see that the PCD index has greater relevance in the characterization of rainfall. Thus, we investigated the relative importance of the average annual rainfall in system efficiency by separating them in total precipitation, concentrated and distributed, in terms of two dimensionless relations, called Storage Fraction and Demand fraction, getting found that the efficiency of reservoirs has greater degree of association with the distributed rainfall. Predictive models of efficiency were created considering the dimensionless parameters π_1 and π_2 in terms of total precipitation and distributed, enabling the indirect calculation of efficiency. The strongest association between efficiency and distributed rainfall has not translated into improved accuracy in predicting the efficiencies created model. Therefore, we conclude that the temporal variability of precipitation can be disregarded in the analysis of efficiencies through predictive models, in the state of Rio Grande do Norte.

Keywords: Efficiency of Tanks; Temporal Variability of Precipitation; Predictive models.

INTRODUÇÃO

O crescimento econômico e populacional observado nos últimos anos no Brasil fez aumentar a pressão sobre os recursos hídricos, provocando situações de escassez de água ou de conflitos de uso, principalmente nos grandes centros urbanos e nos polos agropecuários mecanizados (ANA, 2002), onde a água se constitui num fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola (ANA, 2005). A tendência de aumento da população nas cidades traz um impacto significativo sobre a disponibilidade quantitativa e qualitativa dos recursos de água doce, o que exige uma nova abordagem para a gestão da água em áreas urbanas (PALLA et al., 2011).

A utilização de fontes alternativas de água é de suma importância para a gestão dos recursos hídricos, sendo o aproveitamento de água de chuva uma das medidas adotadas para conservação deste recurso, não só para o uso doméstico, mas também para o uso industrial (KHASTAGIR e JAYASURIYA, 2010; PALLA et al., 2012). Logo, uma nova abordagem para a gestão da água em áreas urbanas deve necessariamente levar em conta a água de chuva como fonte potencial para o abastecimento. No entanto, a água de chuva raramente é utilizada como a fonte imediata de abastecimento de água urbano, sendo que a utilização da mesma está geralmente atrelada a estabelecimentos rurais nas regiões semiáridas (SHAMMAS e WANG, 2013).

A Região Nordeste brasileira é normalmente associada à escassez de água, fato que ocorre em grande parte de seu território. Com o aumento da ocorrência de secas prolongadas no Nordeste, torna-se necessário cada vez mais a utilização de variadas fontes de água para promover o equilíbrio entre a demanda e a oferta de água para o abastecimento.

A água de chuva tem sido aproveitada em várias partes do mundo onde o sistema convencional não atende satisfatoriamente as necessidades da população (LIAW, 2004). Um sistema individual de aproveitamento de água de chuva é dotado geralmente de tecnologia de coleta da água pelos telhados, sendo então, a água conduzida através de calhas até cisternas, apoiadas ou enterradas. Com isso, a armazenagem transforma a água de chuva (distribuída irregularmente no tempo e no espaço) em um suprimento contínuo. Após a coleta e armazenamento, a água da chuva

pode ser utilizada para diversos fins (HELMREICH e HORN, 2009; SHAMMAS e WANG, 2013).

O rendimento bruto dos sistemas de aproveitamento da água da chuva é proporcional à área de captação e à quantidade de precipitação, sendo o que o tamanho necessário da cisterna depende ainda da demanda de água necessária, podendo também variar com relação à duração dos intervalos entre os períodos de precipitação mais intensa e das estiagens. Logo, a armazenagem a ser fornecida nas cisternas depende da distribuição temporal da precipitação (SHAMMAS e WANG, 2013).

Dentre os componentes do sistema de aproveitamento de águas pluviais, o reservatório de armazenamento é geralmente o mais dispendioso (ANA, 2005), e por conta disso, deve ser dimensionado de forma adequada. A eficiência dos sistemas de aproveitamento de água de chuva está ligada diretamente ao dimensionamento do reservatório de armazenamento, necessitando de um ponto ótimo na combinação do volume de reserva com relação à demanda a ser atendida, de forma que resulte na maior eficiência, com o menor gasto possível (GONÇALVES, 2006), não somente por fatores econômicos, mas também por fatores operacionais, uma vez que o dimensionamento ótimo pode evitar não somente os custos desnecessários, mas também a baixa eficiência do sistema, ou seja, o superdimensionamento e o subdimensionamento (GHISI, 2010).

Num contexto geral, a precipitação é a mais importante variável climática devido a sua manifestação em situações extremas como um recurso deficitário ou como um agente de desastres. O regime pluviométrico é considerado um fator chave no entendimento de desempenho dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, devendo o seu dimensionamento ser específico para cada situação, e não baseado na tradição local. A maioria dos estudos se concentra na análise de situações específicas, considerando o regime de precipitação local, com a variação dos dados de demanda de água e área do telhado (CANNAROZZO et al., 2006; GHISI, 2010; PALLA et al., 2012).

Muitos trabalhos (GHISI, 2010; KHASTAGIR e JAYASURIYA, 2010; RAHMAN et al. 2012) buscaram correlacionar a precipitação média anual com a confiabilidade do sistema de aproveitamento de água de chuva, desconsiderando a informação da distribuição temporal da precipitação. Uma vez que no processo de dimensionamento, o volume do reservatório pode variar consideravelmente conforme varia o padrão de distribuição da chuva nas diferentes localidades, entende-se que é

necessário estabelecer uma relação entre a eficiência do sistema e a variabilidade temporal da precipitação.

1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de cisternas, de modo a estabelecer a influência da variabilidade temporal da precipitação no padrão de eficiência das cisternas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho é o estado do Rio Grande do Norte, para tanto foram utilizados os dados das estações pluviométricas de cinquenta municípios distribuídos na região, conforme Tabela 1 e Figura 1.

Tabela 1 – Localidades estudadas.

ID	Localidade	ID	Localidade	ID	Localidade
1	Afonso Bezerra	18	Jardim de Piranhas	35	Riacho de Santana
2	Apodi	19	João Câmara	36	Santa Maria
3	Assú	20	Macau	37	Santana do Matos
4	Baía Formosa	21	Mossoró	38	São José do Seridó
5	Bodó	22	Natal	39	São Tomé
6	Caiçara do Norte	23	Nísia Floresta	40	Serra do Mel
7	Caicó	24	Paraná	41	Serrinha
8	Caraúbas	25	Parazinho	42	Taipu
9	Coronel Ezequiel	26	Passa e Fica	43	Tangará
10	Currais Novos	27	Pau dos Ferros	44	Tenente Laurentino Cruz
11	Equador	28	Pedra Preta	45	Tibau
12	Fernando Pedroza	29	Pedro Velho	46	Tibau do Sul
13	Galinhas	30	Pendências	47	Touros
14	Grossos	31	Pilões	48	Triunfo Potiguar
15	Ipueira	32	Portalegre	49	Venha-Ver
16	Itajá	33	Porto do Mangue	50	Vera Cruz
17	Janduís	34	Rafael Godeiro		

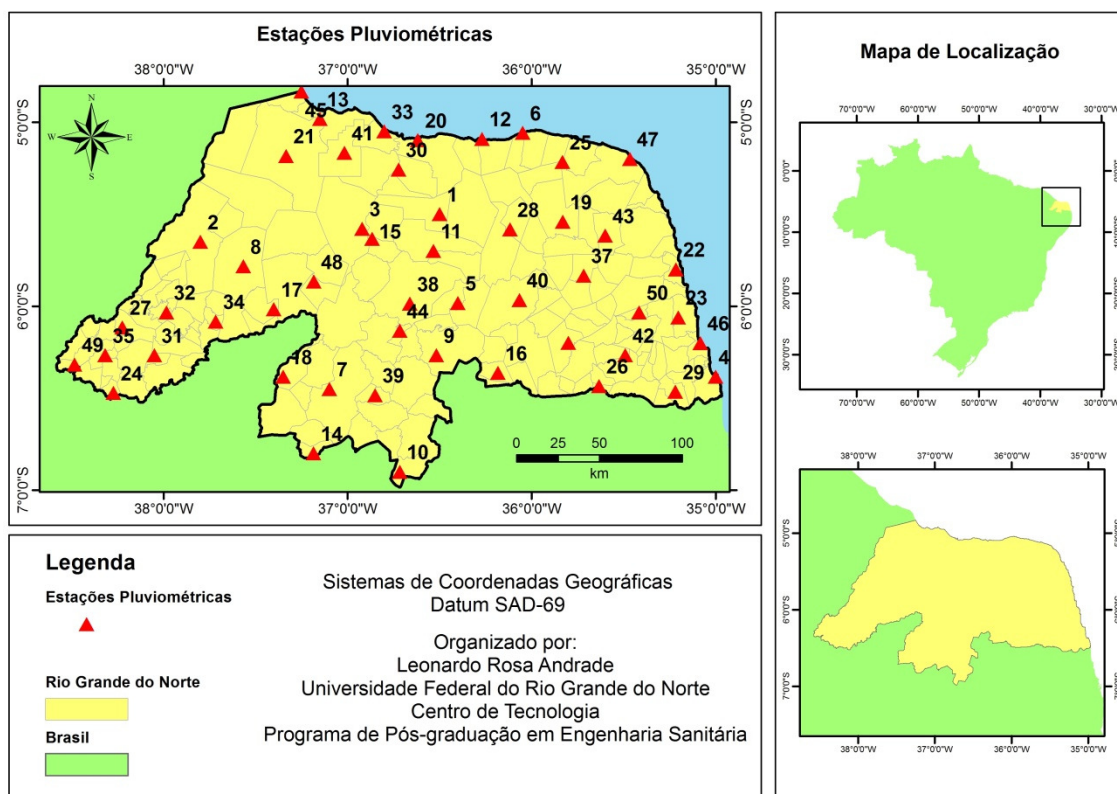


Figura 1 – Distribuição das estações pluviométricas.

Os dados de precipitação diária utilizados neste trabalho foram cedidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) e também disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). As séries históricas abrangem 48 anos, que cobre o período de 1963 a 2010 para cada localidade estudada.

2.2 Balanço hídrico

A análise de comportamento nos permite verificar o quão confiável é o sistema no atendimento das demandas, e isto é feito baseado num modelo de balanço hídrico. Foi adotado neste trabalho o modelo Supply After Spillage (YAS), que considera que a demanda é atendida após a água precipitada ter sido adicionada ao reservatório e o extravasamento tenha sido determinado (LIAW, 2004). De acordo com Mitchell (2007), este modelo é oferecido uma estimativa com mais precisão. Este modelo realiza o balanço de massa do reservatório seguindo as Equações 1 e 2:

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + I_t \end{array} \right. \quad (1)$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + I_t - Y_t \\ C - Y_t \end{array} \right. \quad (2)$$

onde Y_t é o volume que supriu a demanda no final do intervalo de tempo t ; V_{t-1} é o volume armazenado, no final do tempo $t-1$; V_t é o volume armazenado no final do intervalo de tempo t (tempo corrente); I_t é a água escoada a partir do telhado para o reservatório no intervalo de tempo t ; D_t a demanda total de água no intervalo tempo t ; C é a capacidade de armazenamento da cisterna. A evaporação da água no reservatório não foi considerada.

As cisternas avaliadas neste trabalho são hipotéticas, e teve as seguintes variáveis preestabelecidas antes da simulação: área de captação, demanda de água de chuva e volume do reservatório. As simulações foram realizadas considerando áreas de telhado com superfícies de 50, 100, 150 e 200 m². Já as demandas de água de chuva utilizadas foram de 50, 100, 150 e 200 l.dia⁻¹. Os volumes utilizados para as cisternas foram limitados até 20 m³, sendo os mesmos 1, 5, 10, 15 e 20 m³. Considerando todas as combinações de área de telhado, demanda e tamanho de cisterna, foram realizadas 80 simulações para cada uma das cinquenta localidades estudadas. O Apêndice A apresenta a formação das 80 configurações. A distribuição espacial dos municípios estudados garante que a análise do desempenho dos sistemas de aproveitamento de água de chuva sejam avaliados sob várias condições climáticas.

O coeficiente de escoamento superficial (C) adotado neste estudo foi de 0,85, considerando o que já foi utilizado em outros trabalhos (AKAN, 1993 apud LIAW, 2004; TOMAZ, 2003). O *first-flush*, que é a água precipitada que é descartada para a limpeza do telhado, foi considerado igual a 1 mm, ou seja, somente chuvas maiores do que 1 mm foram consideradas nos cálculos.

O comportamento dos reservatórios frente ao atendimento das demandas foi analisado através da eficiência, apresentado conforme Fewkes (1999) na Equação 3.

$$E = \frac{\sum_{t=1}^T Y_t}{\sum_{t=1}^T D_t} \times 100\% \quad (3)$$

onde E é a eficiência do sistema em atender a demanda (em %); Y_t é o volume que supriu a demanda no final do intervalo de tempo t; D_t a demanda total de água no intervalo de tempo t (demanda diária); T é tempo total (em dias) da série estudada.

2.3 Índices de variabilidade temporal da precipitação

Um melhor entendimento da variabilidade da precipitação numa escala regional auxilia na definição de políticas de gestão de recursos hídricos, e contribui também no planejamento de atividades sustentáveis (LIANG et al., 2011). Neste trabalho, para a análise da variabilidade temporal da precipitação de cada localidade, serão utilizados três índices, sendo: *Precipitation Concentration Degree* (PCD), *Antecedent Dry Weather Period* (ADWP) e $\frac{n_D}{n_R}$. Estes índices foram utilizados de modo a estabelecer o que melhor capta o regime pluviométrico local. Para estabelecer a relação entre a variabilidade temporal da precipitação e as eficiências, também foram utilizados os índices Fração de Armazenamento e Fração de demanda.

O PCD foi utilizado por Li et al. (2011), e é definido como o grau em que a precipitação total anual é distribuída ao longo dos doze meses. O intervalo do PCD anual varia de 0 a 1, sendo o valor máximo obtido quando a precipitação total anual concentra-se em um mês específico, e o valor mínimo, quando a precipitação é distribuída uniformemente ao longo dos meses durante o ano. Como o índice PCD representa o grau de concentração da precipitação, então, de forma inversa, 1-PCD representa o grau de distribuição da precipitação. Por meio do PCD e 1-PCD podemos obter as precipitações concentradas e distribuídas, bastando para isso a realização de multiplicação simples entre precipitação média anual $\times$ PCD e precipitação média anual $\times$ 1-PCD respectivamente. O PCD é calculado a partir das Equações (4) abaixo:

$$\begin{aligned}
 R_i &= \sum r_{ij} \\
 Rx_i &= \sum r_{ij} \cdot \sin\theta_j \\
 Ry_i &= \sum r_{ij} \cdot \cos\theta_j \\
 PCD_i &= \frac{\sqrt{Rx_i^2 + Ry_i^2}}{R_i}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Onde: i é o ano;

j representa o mês ($j = 1, 2, \dots, 12$) em um ano;

r_{ij} representa a precipitação total mensal no mês j , e ano i ;

θ_j é o azimute do mês j , conforme abaixo:

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
θ	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°

PCD_i representa o grau em que a precipitação total do ano i está concentrada nos 12 meses.

O ADWP foi utilizado por Palla et al. (2012), para avaliar o impacto das características hidrológicas no desempenho de sistemas de aproveitamento de água de chuva. O ADWP é considerado como um importante parâmetro em qualidade de água de chuva e é definido como o valor médio do tempo (em dias) entre o fim de um evento de chuva e o início de outro, ou seja, representa o número médio de dias secos antes de um dia chuvoso (DAVIS e MCCUEN, 2005).

Já o índice $\frac{n_D}{n_R}$ é definido como o valor médio de dias secos para cada dia chuvoso no ano, onde n_D é o número de dias secos e n_R é o número de dias chuvosos no ano. Este adimensional foi usado por Campisano e Modica (2012) para criar um parâmetro que permitisse relacionar a capacidade de armazenamento de reservatório com a demanda de água durante o período mais seco.

As diferentes combinações de área de telhado, capacidades de armazenamento e de demanda podem ser expressas em termos de duas relações adimensionais, denominadas Fração de Armazenamento $\left(\frac{S}{AR}\right)$ e Fração de Demanda $\left(\frac{D}{AR}\right)$, onde S é o volume da cisterna, D a demanda de água anual, A a área de telhado e R a precipitação média anual. Por conta disso, também utilizamos estes dois índices apresentados no trabalho de Fewkes (1999), para estabelecer a relação entre a variabilidade temporal da precipitação e as eficiências, dado que estes índices guardam informações operacionais e climatológicas, e com eles podemos avaliar a influência relativa exercida por cada grau de concentração de chuva (concentrada, distribuída e total) na determinação das eficiências em termos de Fração de Armazenamento e de Demanda, o que aumenta a relevância da análise, pois considera todas as variáveis envolvidas no dimensionamento das cisternas.

Para isso, o termo R, presente nas duas relações, pode ser substituído pelas precipitações concentrada e distribuída, gerando assim quatro novas variáveis, tendo então seis variáveis para análise, sendo: $\frac{D}{AR}$ e $\frac{S}{AR}$ (Fração de Demanda e de Armazenamento com relação à precipitação total); $\frac{D}{A(RxPCD)}$ e $\frac{S}{A(RxPCD)}$ (Fração de Demanda e de Armazenamento com relação à precipitação concentrada); $\frac{D}{A[Rx(1-PCD)]}$ e $\frac{S}{A[Rx(1-PCD)]}$ (Fração de Demanda e de Armazenamento com relação à precipitação distribuída).

2.4 Adimensionais

Foi utilizado neste trabalho o Teorema dos π 's de Buckingham, cujo objetivo foi o de calcular parâmetros adimensionais para desenvolver uma série de curvas capazes de expressar o comportamento dos reservatórios. Segundo Roma (2006), o uso da Lei da Homogeneidade dimensional facilita o estudo de fenômenos ao estabelecer relação entre as variáveis, e permitir identificar tendências a partir de um volume grande de dados experimentais.

Neste trabalho, os parâmetros adimensionais foram utilizados para determinar relações matemáticas entre as variáveis: volume do reservatório, área de telhado, demanda, precipitação e eficiência. Os adimensionais encontrados são iguais aos utilizados por Khastagir e Jayasuriya (2010), sendo $\pi_1 = \frac{C}{A^2}$ e $\pi_2 = \frac{D}{AR}$, onde C é a capacidade do reservatório, A é a área de telhado, D a demanda anual e R a precipitação média anual.

Contrapondo o que foi apresentado por Khastagir e Jayasuriya (2010), aqui a eficiência foi tratada como a variável dependente e cada curva foi associada a um valor característico de π_1 , o que nos permitiu ter um maior controle sobre o perfil de comportamento da eficiência em relação as variáveis área de telhado, demanda e precipitação (π_2). O índice π_1 é denominado Razão de Aspecto, pois, é uma relação geométrica estabelecida entre a área do telhado e o volume da cisterna. Já π_2 é apresentado em outros trabalhos (FEWKES, 1999; MITCHELL, 2007; PALLA et al., 2011) como Fração de Demanda, como descrito no tópico anterior.

2.5 Procedimentos Estatísticos

Dado a grande quantidade de informações obtidas com as simulações de operação das cisternas (80 combinações de eficiência para 50 localidades estudadas), foi necessário recorrer às técnicas de estatística multivariada, para que fosse viabilizada a interpretação dos dados de eficiência por meio da redução dimensional. Os procedimentos estatísticos realizados tiveram o intuito de reduzir o espaço amostral, além de ajudar na interpretação dos resultados de eficiência com as demais variáveis hidrológicas.

Para avaliar a distribuição espacial das variáveis estudadas neste trabalho, foi utilizada a análise geoestatística, com geração de mapas em um Sistema de Informação Geográfica pelo método de Kriging, método no qual os valores dos atributos dos locais não amostrados são previstos por meio de correlações espaciais entre as observações da vizinhança (GOOVAERTS, 2000).

O software utilizado para o desenvolvimento das análises estatísticas foi o Programa R - The R Project for Statistical Computing (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

2.5.1 *Análise de Componentes Principais (ACP)*

A ACP é uma técnica muito utilizada para reconhecimento de padrões, e possibilita a redução do espaço dimensional de um conjunto de dados com grande número de variáveis, de forma a preservar o máximo possível das informações originais em uma quantidade menor de variáveis latentes, facilitando assim a interpretação dos dados (MINGOTI, 2005; JOHNSON e WICHERN, 2007).

Uma vez determinadas as componentes principais, os scores podem ser calculados para cada elemento amostral, de modo que se proceda a redução dimensional, e os scores das componentes principais mais relevantes serão os novos indivíduos e toda análise passa a ser feita utilizando-se técnicas mais usuais como a análise de variância e de regressão através dos escores (MINGOTI, 2005).

2.5.2 *Análise Fatorial*

Após a ACP, foi utilizada a Análise Fatorial para identificar os fatores comuns que influenciam o padrão médio dos dados de eficiência. De forma análoga à ACP, a Análise Fatorial tem por objetivo descrever a variabilidade original em um número menor de variáveis aleatórias, chamadas de fatores comuns e que estão relacionadas com o vetor original através de um modelo linear, onde parte da variabilidade do vetor é atribuída aos fatores comuns, sendo o restante atribuído às variáveis que não foram incluídas no modelo, ou seja, ao erro aleatório (MINGOTI, 2005).

Para verificar a adequabilidade do modelo fatorial, será utilizado a Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (REQM), que é uma medida capaz de sintetizar a informação contida na matriz residual do modelo fatorial (MINGOTI, 2005). Essa medida apresenta um índice de discrepância entre a matriz de covariância amostral e a matriz de covariância obtida através do modelo fatorial, apresentando uma amplitude compreendida entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de zero melhor o ajuste do modelo (SILVA et al., 2014).

2.5.3 *Análise de Correlações Canônicas (ACC)*

Considerando que o padrão de eficiência de cisternas foi determinado pela ACP, resta então estabelecer a influência da variabilidade temporal da precipitação neste padrão de eficiência. Para tanto, utilizamos a Análise de Correlação Canônica (ACC). A ACC busca identificar e quantificar associações entre dois conjuntos de variáveis por meio de combinações lineares, de modo a maximizar as correlações possíveis entre os grupos de variáveis. O aspecto de maximização da técnica representa uma tentativa de concentrar uma alta relação dimensional entre dois conjuntos de variáveis nos primeiros pares de variáveis canônicas (JOHNSON e WICHERN, 2007).

A ACC Foi realizada com a finalidade de determinar o grau de associação existente entre um grupo representando o padrão de eficiência com um segundo grupo de variáveis hidrológicas (PCD, ADWP e $\frac{n_D}{n_R}$). Por esta análise, também foi possível determinar qual das variáveis hidrológicas estudadas tem maior relevância na caracterização do regime pluviométrico.

A construção do modelo teórico das variáveis canônicas e correlações canônicas se dão a seguir conforme Mingoti (2005): temos que, vetores aleatórios X e Y , de dimensões $px1$ e $qx1$, possuem vetores de médias e matrizes de covariâncias representadas pelas Equações (5) a seguir:

$$\begin{aligned}
 E(X) &= \mu_X & E(Y) &= \mu_Y \\
 \text{Var}(X) &= \Sigma_{XX} & \text{Var}(Y) &= \Sigma_{YY} \\
 \text{Cov}(X, Y) &= \Sigma_{XY} \\
 \text{Cov}(X, Y) &= \Sigma_{YX} = \Sigma'_{XY}
 \end{aligned} \tag{5}$$

onde Σ'_{XY} denota a matriz Σ_{XY} transposta. Podemos visualizar a estrutura básica através da Matriz abaixo.

$$\begin{array}{cccccccc}
 & X_1 & X_2 & \dots & X_p & Y_1 & Y_2 & \dots & Y_q \\
 \begin{array}{c} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \\ Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_q \end{array} & & \left[\begin{array}{cccccc}
 \text{matriz} & & & & \text{matriz} \\
 p \times p & & \vdots & & p \times q \\
 \Sigma_{XX} & & & & \Sigma_{XY} \\
 \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots & \dots & \dots \\
 \text{matriz} & & & & \text{matriz} \\
 q \times p & & \vdots & & q \times q \\
 \Sigma'_{XY} & & & & \Sigma_{YY}
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

As matrizes Σ_{XX} e Σ_{YY} , de dimensões pxp e qxq , medem, respectivamente as associações existentes entre as variáveis aleatórias que estão nos vetores X e Y . As covariâncias entre pares de variáveis de X e Y se encontram na matriz Σ_{XY} , de dimensão pxq . Quando p e q são grandes, há uma maior dificuldade em interpretar todos os elementos da matriz Σ_{XY} conjuntamente. Nesse caso, as relações existentes entre os vetores X e Y devem ser estudadas através da análise de combinações lineares destes vetores, construídas de modo que estejam fortemente correlacionadas entre si. Essas novas variáveis que estão no vetor X e outra relativa às variáveis que estão no vetor Y . Dizemos, então, que em cada estágio do procedimento, é construído um par de variáveis canônicas. A técnica de correlações canônicas assegura que as variáveis canônicas de um par sejam não correlacionadas com as variáveis canônicas de outro par. O número de variáveis canônicas que pode ser obtido é igual ao mínimo valor entre p e q .

Podemos então definir que o k -ésimo par de variáveis canônicas como sendo as combinações lineares U_k e V_k (Equação 6), tais que:

$$U_k = a_k'X \text{ e } V_k = b_k'Y \quad (6)$$

onde a_k e b_k são vetores de constantes de dimensões $p \times 1$ e $q \times 1$ respectivamente, e escolhidos de modo que a correlação entre as variáveis U_k e V_k seja maximizada no conjunto das combinações lineares de X e Y que tem variâncias iguais a 1 e que são não correlacionadas com as demais $k-1$ variáveis canônicas. A correlação entre as variáveis U_k e V_k é chamada de correlação canônica, sendo $k = 1, 2, \dots, \min(p, q)$. O processo é realizado de modo que, os pares de variáveis canônicas sejam ordenados em ordem decrescente, considerando a primeira maior correlação canônica, até a k -ésima maior correlação canônica.

Os vetores das constantes a_k e b_k estabelecidos para a construção dos pares de variáveis canônicas são encontrados através da solução de um sistema de equações, sendo estes os autovetores das matrizes $\Sigma_{XX}^{-1}\Sigma_{XY}\Sigma_{YY}^{-1}\Sigma_{YX}$ e $\Sigma_{YY}^{-1}\Sigma_{YX}\Sigma_{XX}^{-1}\Sigma_{XY}$. A partir dos autovalores destas matrizes podemos encontrar as correlações canônicas, pois esta é definida como a correlação em valor absoluto entre U_k e V_k e é igual a $\sqrt{\lambda_k}$.

Para auxiliar na interpretação e na análise da qualidade das variáveis canônicas podemos proceder às correlações das variáveis canônicas com as variáveis originais. Essa correlação é denominada *canonical loadings* e é definida a seguir (Equações 7):

$$\begin{aligned} R_{U_k X}^* &= R_{XX}a_k \\ R_{V_k Y}^* &= R_{YY}b_k \\ R_{U_k Y}^* &= R_{YX}a_k \\ R_{V_k X}^* &= R_{XY}b_k \end{aligned} \quad (7)$$

O estudo das variáveis originais conjuntamente com as variáveis canônicas pode auxiliar na interpretação e análise da qualidade das análises canônicas. A correlação entre as variáveis originais e as variáveis canônicas do mesmo grupo é chamada de carga canônica, por sua vez, as cargas canônicas cruzadas representam as correlações entre uma variável original de um determinado grupo e a variável estatística canônica do outro grupo.

A carga canônica reflete a variância que uma determinada variável compartilha com o grupo e pode ser interpretada como a carga em uma análise de fatores. Quanto maior a carga canônica, mais importante é a variável para derivar a variável estatística canônica. As cargas canônicas cruzadas correlacionam cada uma das variáveis com o índice do grupo oposto, ou seja, as variáveis dependentes são correlacionadas com o índice independente e vice-versa (VESSONI, 1998).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações foram realizadas de acordo com as 80 combinações possíveis das variáveis estudadas (áreas de telhado 50, 100 150 e 200 m²; demanda de água 50, 100, 150 e 200 litros.dia⁻¹; volume da cisterna 1, 5, 10, 15 e 20 m³) para os 50 municípios pré-determinados. As eficiências encontradas estão sumarizadas no *boxplot* apresentado a seguir (Figura 2). Podemos verificar que em apenas seis municípios as eficiências possuem mediana maior do que 80%, e que a grande maioria dos municípios possuem eficiência mediana entre 50 e 70%. Equador é o único com eficiência mediana abaixo de 50%, reflexo da baixa precipitação média anual, uma vez que Equador possui a menor precipitação média anual dentre as localidades estudadas.

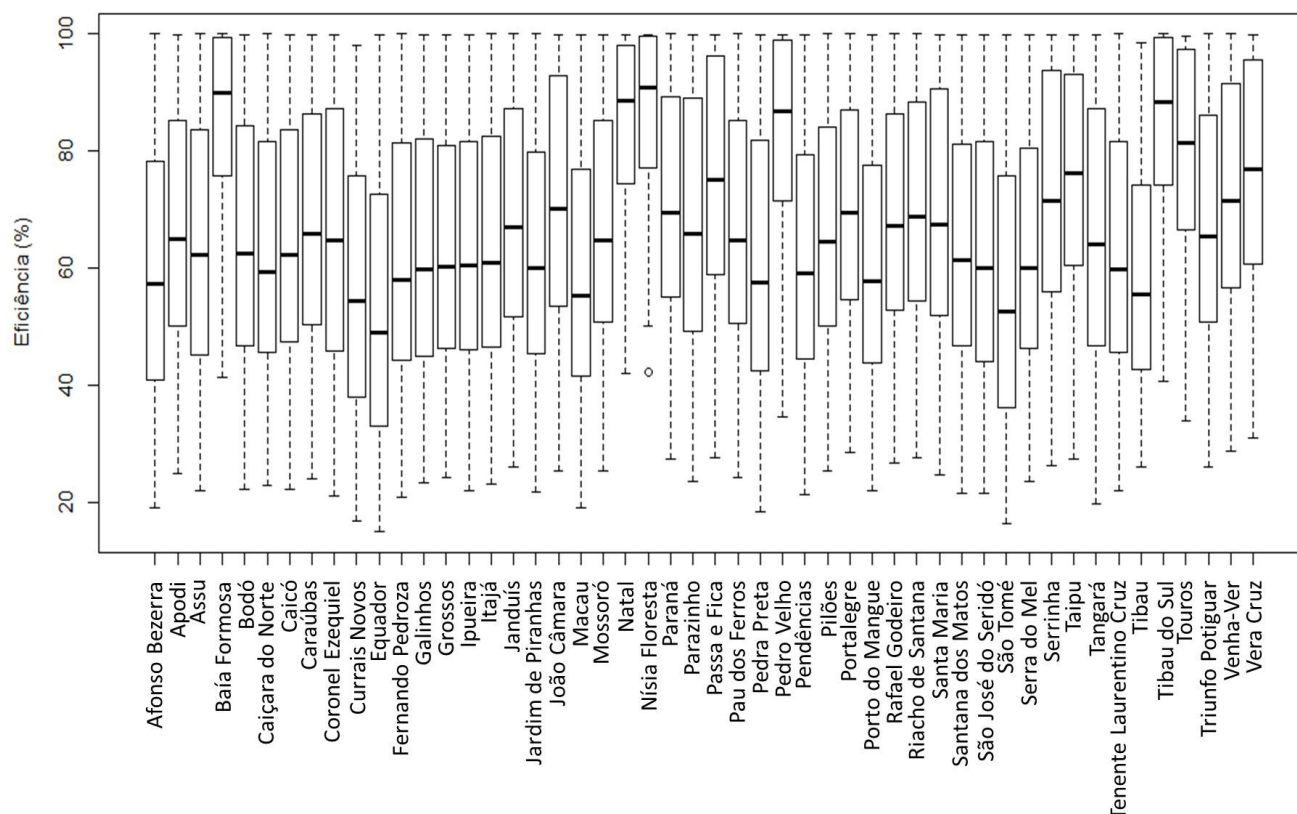


Figura 2 – Faixa de Eficiência para cada município.

Também foram realizadas análises hidrológicas para caracterização da variabilidade temporal da precipitação das localidades estudadas, a fim de estabelecer uma relação entre o regime pluviométrico e o desempenho de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Os índices *Antecedent Dry Weather Period* (ADWP) e $\frac{n_D}{n_R}$ foram calculados a partir da série histórica de precipitação diária. Já o índice *Precipitation Concentration Degree* (PCD) foi obtido a partir do trabalho de Araújo (2014).

3.1 Relação entre regime pluviométrico e o desempenho de sistemas de aproveitamento de águas pluviais

De posse das eficiências pudemos calcular as componentes principais para possibilitar uma melhor interpretação dos resultados, através da redução dimensional. Na ACP, os autovalores gerados representam a variância total dos dados, o que implica dizer que, quanto maior for o primeiro autovalor (após ordenação) em relação aos demais, maior será a importância da primeira componente. O autovalor da primeira componente encontrado foi capaz de captar 93,86% da variância dos dados. Com isso,

podemos então inferir que a primeira componente (CP1) é um índice global de eficiência dos reservatórios, o que em termos práticos, nos permite reduzir o número de variáveis de interesse de 80 para apenas uma.

Considerando o bom desempenho da ACP em reduzir o espaço dimensional, torna-se conveniente investigar os fatores que contribuem para a formação das componentes principais. Ao observarmos a correlação entre as duas primeiras componentes principais (CP1 e CP2) e as variáveis originais, bem como após a utilização da análise fatorial para identificar os fatores que influenciam o padrão médio dos dados de eficiência, verificamos que, em média, existem dois fatores influenciando a variabilidade dos dados. Uma vez que os elementos da matriz residual são próximos de zero, podemos dizer que o modelo fatorial utilizado é adequado. Isto é evidenciado pelo baixo valor encontrado (0.036) da Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (REQM).

Estes fatores estão relacionados com tendências observadas nas variáveis originais. Dentre as 80 combinações formadas a partir das variáveis preestabelecidas, 13 delas proporcionam uma maximização das eficiências (próximas de 100%), de forma que as respostas obtidas para estas variáveis foram muito próximas umas das outras, reduzindo então a variância entre as mesmas. Como a ACP tem por objetivo captar a máxima quantidade da variância das observações, o fator relacionado com as eficiências maximizadas tem pouca influência na primeira componente, tendo então, pelo princípio da ortogonalidade, maior importância na formação da segunda componente. Considerando ainda a baixa variância entre estas variáveis (com valores próximos ao máximo), temos que as variáveis relacionadas com a CP2 apresenta menor susceptibilidade às variações temporais da precipitação.

Logo, de um modo geral, podemos inferir que a formação da CP1 está relacionada com as variáveis mais sensíveis às variações temporais da precipitação, bem como, das variações em termos de volume precipitado, sendo então a CP1 a variável latente de eficiência de maior interesse para estabelecer uma relação entre a eficiência do sistema e a variabilidade temporal da precipitação.

Por meio da Figura 3 podemos visualizar a contraposição entre as eficiências de duas combinações relacionadas com as componentes CP1 e CP2.

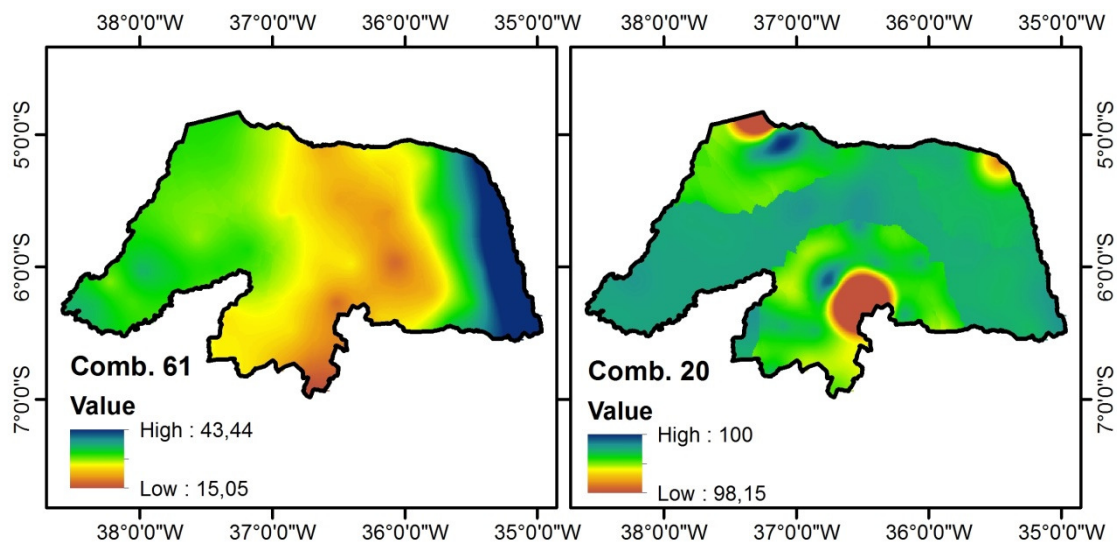


Figura 3 – Distribuição espacial das eficiências das Combinações 61 e 20.

A figura acima apresenta as combinações 61 e 20. Estas combinações contrapõem condições opostas, sendo a Combinação 20 (Área de telhado: 200m²; Demanda de água: 50 litros.dia⁻¹; Volume da Cisterna: 20 m³) a que tem maior potencial de maximizar as eficiências, tendo maior relação com a CP2. Já a Combinação 61 (Área de telhado: 50m²; Demanda de água: 200 litros.dia⁻¹; Volume da Cisterna: 1 m³) é a de maior potencial em obter baixas eficiências, tendo maior relação com a CP1.

Para facilitar o entendimento das relações entre as variáveis de interesse, a Figura 4 apresenta o padrão médio do comportamento espacial das variáveis: precipitação, ADWP, PCD, $\frac{n_D}{n_R}$, CP1 e CP2, de modo a permitir a comparação visual entre as variáveis.

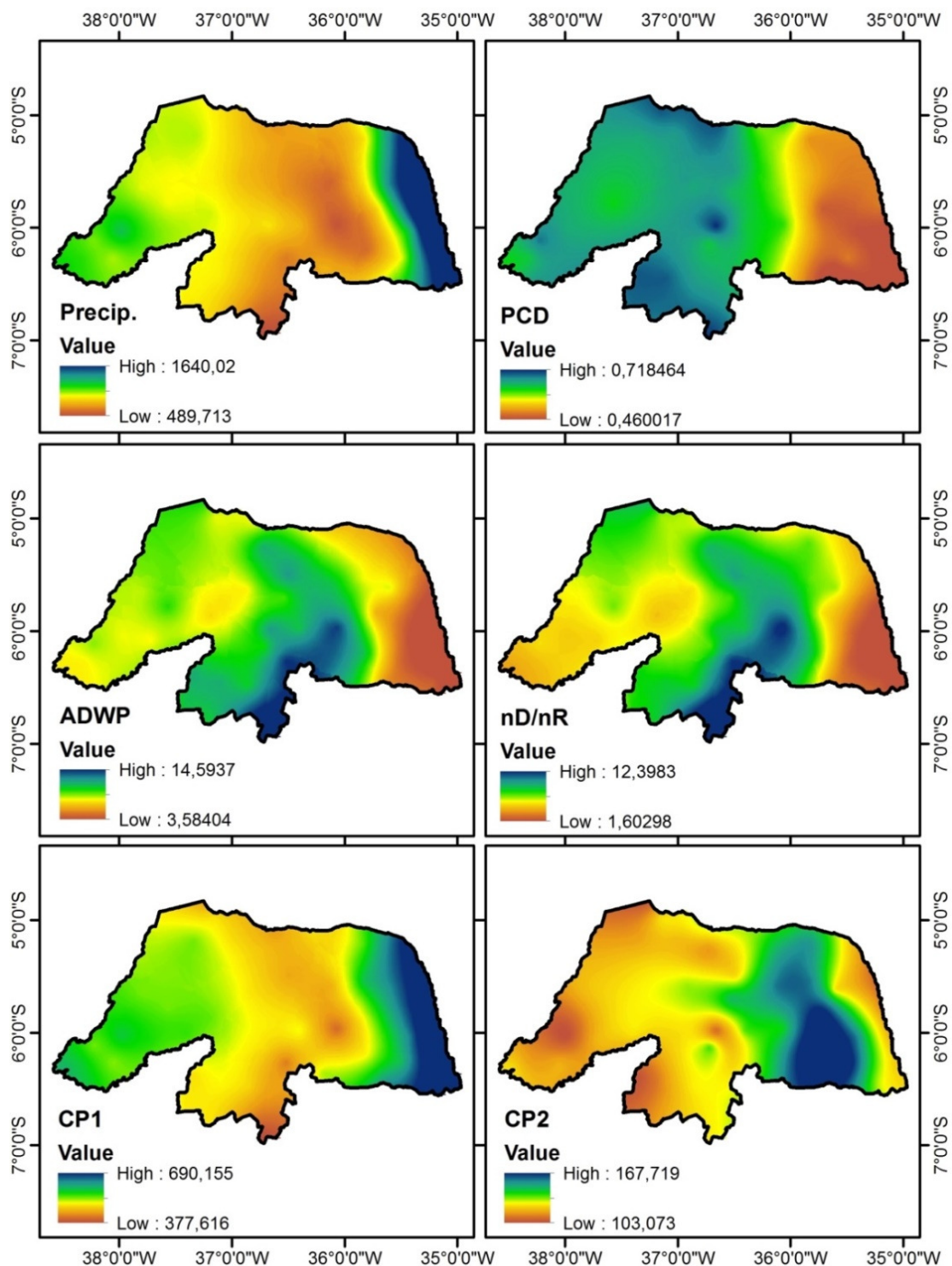


Figura 4 – Distribuição espacial das variáveis: precipitação, PCD, ADWP, $\frac{n_D}{n_R}$, CP1 e CP2.

Podemos observar na figura acima, que o padrão de distribuição espacial da CP1 é similar ao padrão de distribuição da precipitação anual, o que pode indicar que a precipitação média anual total é o mais importante fator na determinação de eficiência

de reservatórios. No entanto, quando observamos o índice PCD, verificamos que não necessariamente os locais com os menores índices de precipitação coincidem com os locais de maiores índices de concentração de chuva, bem como, os locais com maiores índices de precipitação não necessariamente coincidem com os locais com menores índices de concentração de chuva, o que significa dizer que, o grau de concentração da precipitação pode influenciar significativamente na determinação da eficiência.

Podemos verificar também que o padrão de distribuição dos índices ADWP e $\frac{n_D}{n_R}$ são similares, e que os mesmos possuem maior relação com as localidades com menor índice de precipitação e de eficiência, localizados na porção sul do Estado. Já a CP2 não apresenta relação aparente com as demais variáveis (embora que, a componente CP2 esteja relacionada com as variáveis de eficiências maximizadas), dado que essa componente captou pouco menos de 4% da variância total dos dados, e que por princípio, a CP1 e CP2 são eixos ortogonais não correlacionados.

Para estabelecer o grau de associação existente entre um grupo representando o padrão de eficiência com um segundo grupo de variáveis hidrológicas, foi utilizado a Análise de Correlações Canônicas (ACC). Assim, foi possível determinar três pares de variáveis canônicas, sendo a correlação canônica do primeiro par 0,98, seguido de 0,62 e 0,25 nos segundo e terceiro pares respectivamente. Por meio da Tabela 2 podemos observar as cargas canônicas (*canonical loadings*) e as cargas canônicas cruzadas (*canonical cross-loadings*) das variáveis canônicas obtidas. O Vetor X representa as variáveis relacionadas com eficiência das cisternas, sendo a CP1, CP2 e CP3. Já o Vetor Y representa as variáveis hidrológicas, sendo ADWP, $\frac{n_D}{n_R}$ e PCD respectivamente.

Tabela 2 – Cargas canônicas e cargas canônicas cruzadas da Correlação Canônica entre eficiência e variáveis hidrológicas.

Vetor X						
Variável	Canonical loadings			Canonical cross-loadings		
	U ₁	U ₂	U ₃	V ₁	V ₂	V ₃
CP1	0.85027	-0.20888	0.48313	0.82933	-0.12922	0.11845
CP2	0.52319	0.43589	-0.73231	0.51030	0.26967	-0.17954
CP3	0.05763	-0.87542	-0.47991	0.05621	-0.54159	-0.11766
Vetor Y						
Variável	Canonical loadings			Canonical cross-loadings		
	V ₁	V ₂	V ₃	U ₁	U ₂	U ₃
ADWP	0.77403	-0.44614	0.44926	0.75498	-0.27601	0.11015
$\frac{n_D}{n_R}$	0.65328	-0.30733	0.69193	0.63720	-0.19013	0.16964
PCD	0.96686	0.06776	-0.24614	0.94306	0.04192	-0.06035

Pode-se observar que nas correlações obtidas, tomando como base o primeiro par de variáveis canônicas, os dois grupos de variáveis são não independentes, ou seja, é possível encontrar uma associação causada pela relação de dependência multivariada entre os mesmos. Na relação estabelecida entre as variáveis hidrológicas e o desempenho de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, podemos verificar que o índice PCD apresenta maior relevância na caracterização do regime pluviométrico em relação ao desempenho das cisternas, uma vez que a carga canônica cruzada (0.94306) deste índice é consideravelmente maior do que das demais variáveis hidrológicas. Logo, o índice PCD será utilizado nas investigações seguintes.

Uma vez que encontramos estatisticamente uma relação de dependência entre as variáveis hidrológicas frente ao padrão de eficiência, tendo o índice PCD como a variável mais relevante, torna-se necessário investigar a importância relativa das precipitações médias anuais na eficiência do sistema, separando-as em precipitação total, concentrada e distribuída. Para encontrar as precipitações concentrada e distribuída, basta a realização de multiplicação simples entre precipitação média anual $\times$ PCD e precipitação média anual $\times$ 1-PCD respectivamente. A Figura 5 apresenta as curvas de Regressão entre o Índice de Eficiência (CP1) e as precipitações totais, concentradas e distribuídas.

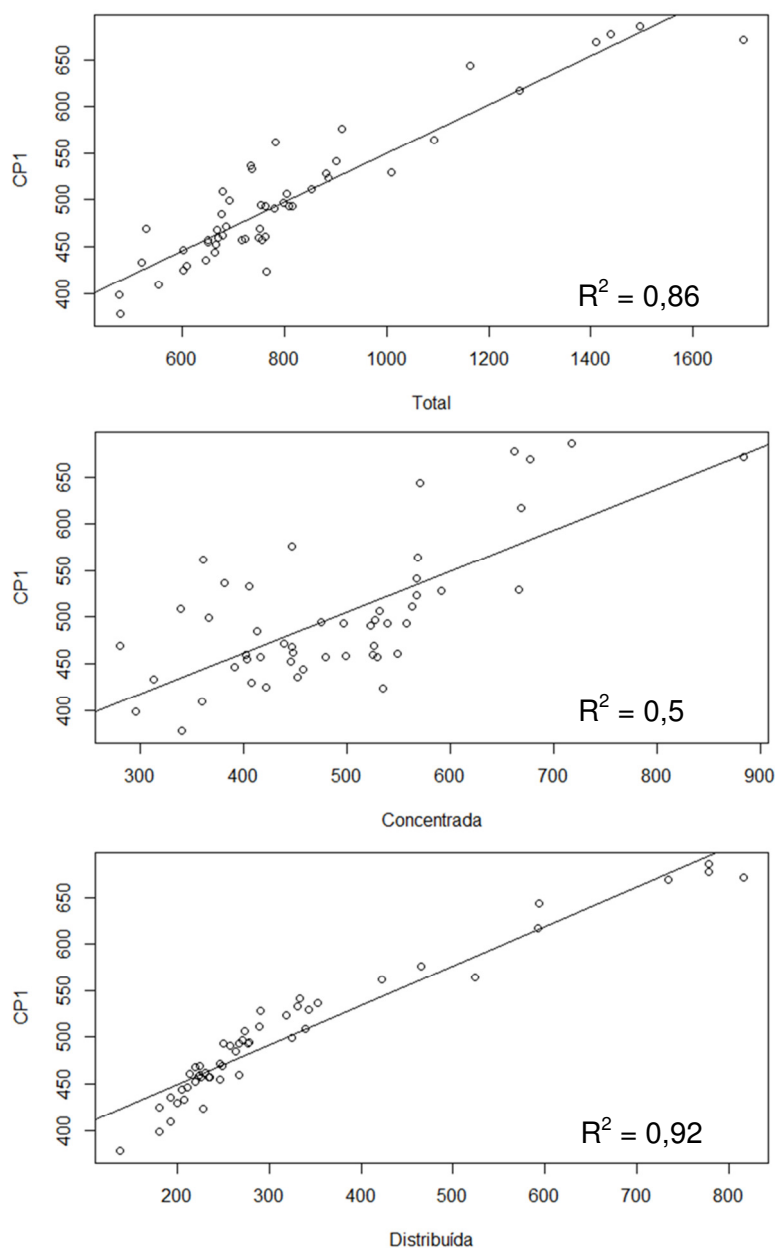


Figura 5 – Curvas de Regressão entre o Índice de Eficiência e as precipitações totais, concentradas e distribuídas.

As curvas de Regressão representam a influência relativa exercida por cada grau de concentração de chuva (concentrada, distribuída e total) na determinação das eficiências, de modo que, podemos perceber que a eficiência dos reservatórios tem maior relação com as precipitações total e distribuída, tendo baixa associação com a precipitação concentrada. Isso ocorre, pois, em locais onde a maior parte da precipitação total anual é concentrada, o ganho de eficiência propiciado pelo atendimento da demanda ocorre num curto período de tempo, sendo que grande parte da água que precipita não é aproveitada pelo sistema devido ao extravasamento. Posteriormente esse

ganho de eficiência é anulado pelo aumento do número de falhas no atendimento, decorrentes do esvaziamento do reservatório nos períodos de chuvas mais escassas, baixando assim a eficiência global do sistema, o que altera a tendência inicial do comportamento da eficiência, produzindo uma maior dispersão amostral. Isto evidencia a importância do regime hidrológico na eficiência dos sistemas de aproveitamento de água de chuva.

Partindo para uma abordagem que considere não somente a relação da influência relativa exercida por cada grau de concentração de chuva na determinação das eficiências, mas também as demais informações operacionais, utilizamos os índices de Fração de Armazenamento e Fração de Demanda relativos em termos de concentração de chuva (concentrada, distribuída e total), uma vez que estes índices guardam informações operacionais e climatológicas, e com eles podemos aumentar a relevância da análise, pois considera todas as variáveis envolvidas no dimensionamento das cisternas. A construção do espaço amostral e tratamento dos dados destes índices de fração se deram de forma análoga à construção das combinações para determinação das eficiências, bem como, foi empregada a ACP para redução dimensional, de modo que as três primeiras componentes principais de cada uma das novas variáveis foram correlacionadas com as três primeiras componentes principais do padrão de eficiência através da ACC. As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados da ACC.

Tabela 3 – Correlações canônicas entre eficiência e variáveis Fração de Armazenamento e Fração de Demanda (Total, Concentrada e Distribuída).

Variável Canônica		D/AR			D/A(RxPCD)			D/A[Rx(1-PCD)]		
		V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃
Eficiência	U ₁	0.96664	-	-	0.94846	-	-	0.96201	-	-
	U ₂	-	0.34982	-	-	0.28410	-	-	0.30109	-
	U ₃	-	-	0.19988	-	-	0.15622	-	-	0.00213
Variável Canônica		S/AR			S/A(RxPCD)			S/A[Rx(1-PCD)]		
		V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃
Eficiência	U ₁	0.96706	-	-	0.95112	-	-	0.91875	-	-
	U ₂	-	0.14436	-	-	0.34968	-	-	0.17212	-
	U ₃	-	-	0.07104	-	-	0.26328	-	-	0.01727

Tabela 4 – Cargas canônicas e cargas canônicas cruzadas da Correlação Canônica entre eficiência e variáveis Fração de Armazenamento e Fração de Demanda (Total, Concentrada e Distribuída).

Eficiência e D/AR							Eficiência e D/A(RxPCD)						Eficiência e D/A[Rx(1-PCD)]					
Vetor X																		
Variável	Canonical loadings			Canonical cross-loadings			Canonical loadings			Canonical cross-loadings			Canonical loadings			Canonical cross-loadings		
	U ₁	U ₂	U ₃	V ₁	V ₂	V ₃	U ₁	U ₂	U ₃	V ₁	V ₂	V ₃	U ₁	U ₂	U ₃	V ₁	V ₂	V ₃
CP1	0.9239	0.2797	-0.2611	0.8931	0.0978	-0.0522	0.6323	0.2249	0.7414	0.5997	0.0639	0.1158	-0.9907	-0.0116	-0.1356	-0.9531	-0.0035	-0.0003
CP2	-0.3776	0.7769	-0.5039	-0.3650	0.2718	-0.1007	-0.7736	0.2348	0.5885	-0.7337	0.0667	0.0919	-0.0865	-0.7154	0.6933	-0.0832	-0.2154	0.0015
CP3	-0.0619	-0.5641	-0.8233	-0.0599	-0.1973	-0.1646	-0.0417	-0.9456	0.3225	-0.0396	-0.2687	0.0504	0.1050	-0.6986	-0.7078	0.1010	-0.2103	-0.0015
Vetor Y																		
Variável	Canonical loadings			Canonical cross-loadings			Canonical loadings			Canonical cross-loadings			Canonical loadings			Canonical cross-loadings		
	V ₁	V ₂	V ₃	U ₁	U ₂	U ₃	V ₁	V ₂	V ₃	U ₁	U ₂	U ₃	V ₁	V ₂	V ₃	U ₁	U ₂	U ₃
Y ₁	0.9997	0.0208	0.0004	0.9664	0.0073	8.39e-05	0.9889	-0.0558	0.1377	0.9379	-0.0158	0.0215	-0.9576	-0.1929	0.2141	-0.9212	-0.0581	0.0004
Y ₂	0.0006	-0.0096	-0.9999	0.0006	-0.0033	-2.0e-01	0.1485	0.3439	-0.9272	0.1408	0.0977	-0.1448	-0.2880	0.6701	-0.6841	-0.2771	0.2018	-0.0015
Y ₃	0.0208	-0.9997	0.0096	0.0201	-0.3497	1.9e-03	0.0044	0.9373	0.3483	0.0041	0.2663	0.0544	0.0115	0.7167	0.6972	0.0111	0.2158	0.0015
Eficiência e S/AR							Eficiência e S/A(RxPCD)						Eficiência e S/A[Rx(1-PCD)]					
Vetor X																		
Variável	Canonical loadings			Canonical cross-loadings			Canonical loadings			Canonical cross-loadings			Canonical loadings			Canonical cross-loadings		
	U ₁	U ₂	U ₃	V ₁	V ₂	V ₃	U ₁	U ₂	U ₃	V ₁	V ₂	V ₃	U ₁	U ₂	U ₃	V ₁	V ₂	V ₃
CP1	0.9255	-0.0706	-0.3720	0.8950	-0.0102	-0.0264	0.6193	-0.7271	0.2962	0.5890	-0.2543	0.0780	0.9960	0.0310	-0.0841	0.9150	0.0053	-0.0014
CP2	-0.3720	-0.3523	-0.8588	-0.3598	-0.0508	-0.0610	-0.7848	-0.5620	0.2611	-0.74645	-0.1965	0.0687	0.0768	-0.7787	0.6227	0.0706	-0.1340	0.0107
CP3	-0.0704	0.9332	-0.3523	-0.0680	0.1347	-0.0250	-0.0233	-0.3942	-0.9187	-0.0222	-0.1378	-0.2419	-0.0462	-0.6267	-0.7779	-0.0424	-0.1079	-0.0134
Vetor Y																		
Variável	Canonical loadings			Canonical cross-loadings			Canonical loadings			Canonical cross-loadings			Canonical loadings			Canonical cross-loadings		
	V ₁	V ₂	V ₃	U ₁	U ₂	U ₃	V ₁	V ₂	V ₃	U ₁	U ₂	U ₃	V ₁	V ₂	V ₃	U ₁	U ₂	U ₃
Y ₁	0.9994	0.0248	-0.0254	0.9664	0.0036	-0.0018	0.9967	-0.0311	0.0744	0.9480	-0.0109	0.0196	0.9990	0.0054	-0.0443	0.9178	0.0009	-0.0008
Y ₂	0.0028	-0.7682	-0.6401	0.0027	-0.1109	-0.0455	0.0554	-0.4072	-0.9116	0.0527	-0.1424	-0.2400	-0.0153	-0.8907	-0.4543	-0.0141	-0.1533	-0.0078
Y ₃	0.0348	-0.5431	0.8389	0.0336	-0.0784	0.0596	0.0712	0.7731	-0.6302	0.0677	0.2703	-0.1659	-0.0415	0.4800	-0.8763	-0.0381	0.0826	-0.0151

Por meio da Tabela 3 podemos observar que, as combinações lineares criadas na ACC possuem alta correlação canônica nos primeiros pares, ou seja, as combinações lineares das variáveis de Fração de Armazenamento e de Demanda (concentrada, distribuída e total), guardam alta correlação com as combinações lineares das variáveis de eficiência. Já a Tabela 4 nos permite visualizar que, na relação existente entre as variáveis originais e as variáveis canônicas apresentadas, tomando como base o primeiro par das variáveis canônicas e a primeira componente principal de cada variável para cada ACC realizada, os dois grupos de variáveis são não independentes. O Vetor X representa as variáveis relacionadas com eficiência das cisternas, sendo a CP1, CP2 e CP3. Já o Vetor Y representa as variáveis hidrológicas Fração de Demanda e de Armazenamento e suas variantes.

Considerando os valores ressaltados em amarelo, o grau de associação existente entre as variáveis de eficiência e as variáveis D/A(RxPCD) e S/A(RxPCD) (Fração de Demanda e de Armazenamento com relação à precipitação concentrada) é consideravelmente menor em relação à associação existente entre as variáveis de eficiência e as variáveis D/AR e S/AR (Fração de Demanda e de Armazenamento com relação à precipitação total), bem como entre a associação existente entre as variáveis de eficiência e as variáveis D/A[Rx(1-PCD)] e S/A[Rx(1-PCD)] (Fração de Demanda e de Armazenamento com relação à precipitação distribuída).

É possível notar que, o maior grau de associação encontrado está na relação estabelecida entre as variáveis de eficiência e as variáveis Fração de Demanda e de Armazenamento com relação à precipitação distribuída (D/A[Rx(1-PCD)] e S/A[Rx(1-PCD)]). Estes resultados reafirmam de forma mais robusta, o que já havia sido encontrado anteriormente, que a eficiência dos reservatórios é pouco influenciada pela precipitação concentrada, ao contrário do que acontece com a precipitação total e distribuída.

3.2 Desenvolvimento de Modelos de Eficiência

De posse dos parâmetros adimensionais $\pi_1 \left(\frac{C}{A^2} \right)$ e $\pi_2 \left(\frac{D}{AR} \right)$, construídos pelo Teorema dos π 's de Buckingham, foi possível construir as curvas de eficiências apresentadas na Figura 6.

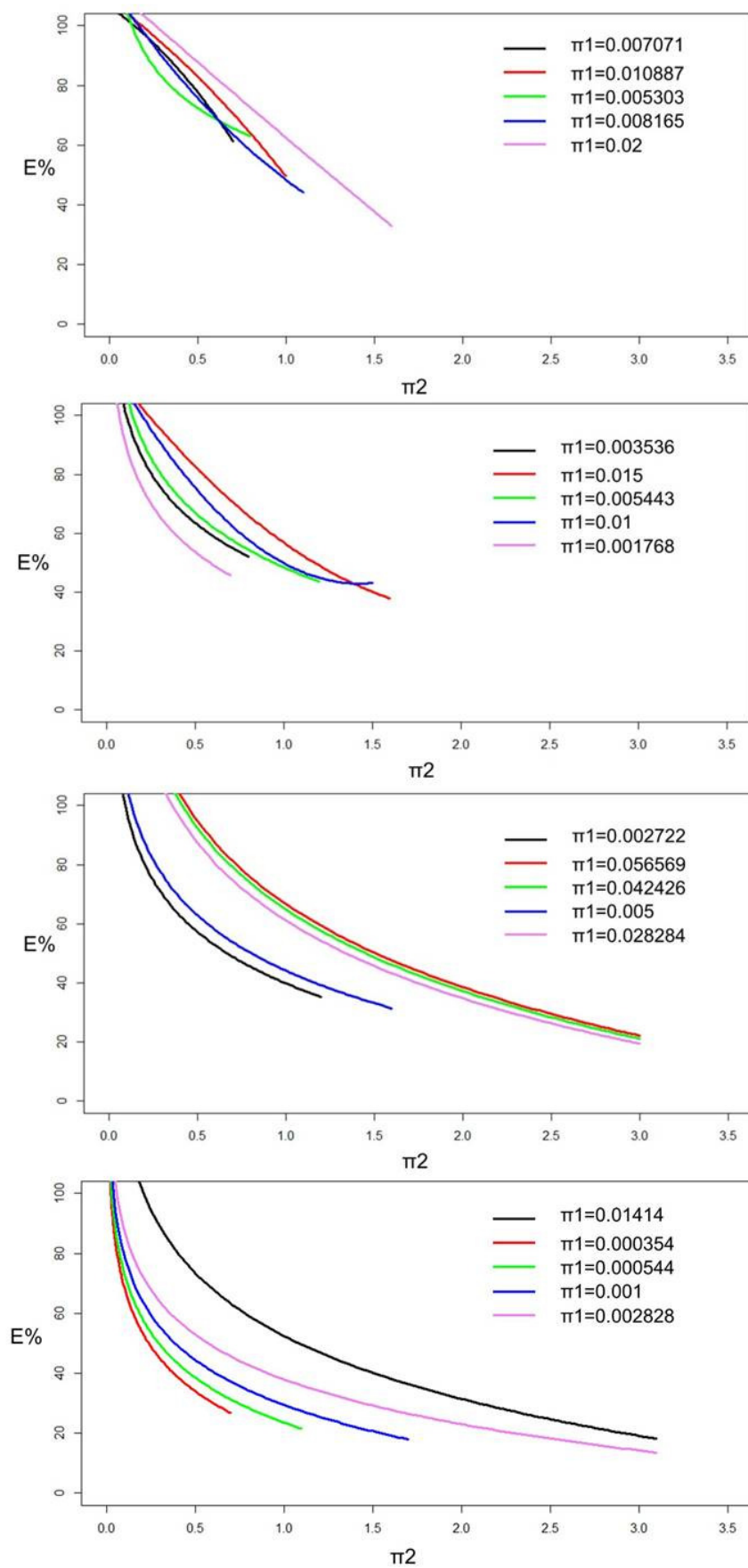


Figura 6 – Curvas de Eficiência para o Estado do Rio Grande do Norte.

As curvas demonstram a relação entre a eficiência e os parâmetros adimensionais π_1 e π_2 , sendo que a eficiência foi tratada como a variável dependente e cada curva foi associada a um valor característico de π_1 , o que nos permite identificar a tendência de comportamento da eficiência frente as variações de configuração do sistema.

Em média, pudemos verificar que a eficiência é maior onde π_1 representa uma configuração mais favorável (maiores volumes e áreas de telhado). Também podemos observar que todas as curvas apresentam um comportamento decrescente, o que é natural, uma vez que π_2 expressa a Fração de Demanda. Quando π_2 é igual a 1, significa dizer que a demanda anual de água de chuva é igual ao volume total de água captável. Logo, quanto maior for π_2 maiores serão as chances de falha do sistema e por conseguinte menor será a eficiência. Cada curva representa um modelo preditivo, os quais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 5 – Modelos para cálculo de Eficiência de cisternas para o Estado do Rio Grande do Norte.

π_1	R^2	Modelo	π_1	R^2	Modelo
$\pi_1=0,000354$	$R^2=0,8558$	$E=-21,59\ln(\pi_2)+19,078$	$\pi_1=0,007071$	$R^2=0,8438$	$E=-35,308(\pi_2)^2-39,497(\pi_2)+106,34$
$\pi_1=0,000544$	$R^2=0,8716$	$E=-21,63\ln(\pi_2)+23,593$	$\pi_1=0,008165$	$R^2=0,9087$	$E=20,647(\pi_2)^2-85,835(\pi_2)+113,63$
$\pi_1=0,001$	$R^2=0,8941$	$E=-21,69\ln(\pi_2)+29,445$	$\pi_1=0,01$	$R^2=0,9489$	$E=37,76(\pi_2)^2-107,92(\pi_2)+120,02$
$\pi_1=0,001768$	$R^2=0,8846$	$E=-23,81\ln(\pi_2)+37,211$	$\pi_1=0,010887$	$R^2=0,8865$	$E=-16(\pi_2)^2-42,884(\pi_2)+108,47$
$\pi_1=0,002722$	$R^2=0,9034$	$E=-25,13\ln(\pi_2)+39,902$	$\pi_1=0,01414$	$R^2=0,9687$	$E=-30,31\ln(\pi_2)+52,445$
$\pi_1=0,002828$	$R^2=0,9308$	$E=-21,54\ln(\pi_2)+37,951$	$\pi_1=0,015$	$R^2=0,9501$	$E=18,275(\pi_2)^2-79,142(\pi_2)+117,72$
$\pi_1=0,003536$	$R^2=0,8738$	$E=-24,37\ln(\pi_2)+46,662$	$\pi_1=0,02$	$R^2=0,9411$	$E=0,8775(\pi_2)^2-51,871(\pi_2)+113,54$
$\pi_1=0,005$	$R^2=0,9295$	$E=-27,07\ln(\pi_2)+44,156$	$\pi_1=0,028284$	$R^2=0,9667$	$E=-37,98\ln(\pi_2)+61,153$
$\pi_1=0,005303$	$R^2=0,7963$	$E=-20,18\ln(\pi_2)+58,485$	$\pi_1=0,042426$	$R^2=0,9581$	$E=-39,84\ln(\pi_2)+64,899$
$\pi_1=0,005443$	$R^2=0,8944$	$E=-26,81\ln(\pi_2)+48,463$	$\pi_1=0,056569$	$R^2=0,9485$	$E=-40,58\ln(\pi_2)+66,72$

Dado a distribuição espacial dos pontos de observação de dados de chuva, o grande volume de dados estudados e os coeficientes de determinação linear (R^2), podemos dizer que de modo geral as curvas estão calibradas como um modelo de predição para uma primeira aproximação, ou até mesmo para o cálculo de eficiência de cisterna para os municípios do Rio Grande do Norte. Com isso, podemos estimar eficiências de cisterna para os municípios que não foram estudados neste trabalho. Obviamente, por se tratar de um modelo, eventualmente o mesmo poderá não responder

adequadamente para alguma localidade não estudada, por conta de anomalias climáticas decorrentes dos efeitos da altitude nas condições climáticas locais, o que não foi estudado neste trabalho.

A utilização de vários modelos é justificada se considerarmos as questões financeiras, uma vez que segundo Khastagir e Jayasuriya (2010), a variação no tamanho do reservatório se traduz ao usuário em uma diferente quantia de investimento para a implementação do sistema de armazenamento, logo, quanto maior a precisão, melhor será o aproveitamento dos recursos.

Considerando que, encontramos uma maior associação entre a relação estabelecida pelas variáveis de eficiência e as variáveis de Fração de Demanda e de Armazenamento com relação à precipitação distribuída, devemos investigar se o modelo preditivo construído anteriormente teria sua precisão melhorada, caso fosse considerada a precipitação distribuída no parâmetro $\pi_2 \left(\frac{D}{AR} \right)$. A Tabela 6 apresenta o modelo preditivo construído considerando a precipitação distribuída.

Tabela 6 – Modelos para cálculo de Eficiência de cisternas considerando a precipitação distribuída para o Estado do Rio Grande do Norte.

π_1	R^2	Modelo	π_1	R^2	Modelo
$\pi_1=0,000354$	$R^2=0,9524$	$E=-20,27\ln(\pi_2)+40,763$	$\pi_1=0,007071$	$R^2=0,8818$	$E=-21,399(\pi_2)+108,19$
$\pi_1=0,000544$	$R^2=0,9596$	$E=-20,21\ln(\pi_2)+44,951$	$\pi_1=0,008165$	$R^2=0,927$	$E=2,8058(\pi_2)^2-29,485(\pi_2)+111,55$
$\pi_1=0,001$	$R^2=0,9668$	$E=-20,08\ln(\pi_2)+50,22$	$\pi_1=0,01$	$R^2=0,9344$	$E=3,9989(\pi_2)^2-34,045(\pi_2)+114,39$
$\pi_1=0,001768$	$R^2=0,9612$	$E=-22,1\ln(\pi_2)+61,231$	$\pi_1=0,010887$	$R^2=0,8938$	$E=-0,5191(\pi_2)^2-17,551(\pi_2)+108,3$
$\pi_1=0,002722$	$R^2=0,966$	$E=-23,14\ln(\pi_2)+64,747$	$\pi_1=0,014142$	$R^2=0,9541$	$E=-26,79\ln(\pi_2)+78,618$
$\pi_1=0,002828$	$R^2=0,9668$	$E=-19,54\ln(\pi_2)+57,072$	$\pi_1=0,015$	$R^2=0,9244$	$E=2,3582(\pi_2)^2-26,728(\pi_2)+114,29$
$\pi_1=0,003536$	$R^2=0,8859$	$E=-21,85\ln(\pi_2)+71,523$	$\pi_1=0,02$	$R^2=0,897$	$E=0,8737(\pi_2)^2-19,61(\pi_2)+112,13$
$\pi_1=0,005$	$R^2=0,9688$	$E=-24,61\ln(\pi_2)+69,943$	$\pi_1=0,028284$	$R^2=0,8882$	$E=-32,41\ln(\pi_2)+92,77$
$\pi_1=0,005303$	$R^2=0,9208$	$E=-26,133(\pi_2)+107,74$	$\pi_1=0,042426$	$R^2=0,8681$	$E=-33,77\ln(\pi_2)+97,825$
$\pi_1=0,005443$	$R^2=0,7993$	$E=6,9524(\pi_2)^2-42,879(\pi_2)+113,33$	$\pi_1=0,056569$	$R^2=0,8553$	$E=-34,31\ln(\pi_2)+100,17$

Para verificar qual dos modelos oferece a melhor precisão, realizamos um teste, onde calculamos valores de eficiências pelo modelo e os comparamos com valores simulados para efeito de controle (o Apêndice B apresenta de forma exemplificada a utilização dos modelos). O teste foi realizado apenas com municípios não estudados na formulação do modelo, sendo eles: Acarí, Angicos, Campo Grande, Ceará-Mirim, e São

Bento do Norte, os quais foram selecionados de forma aleatória. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 7.

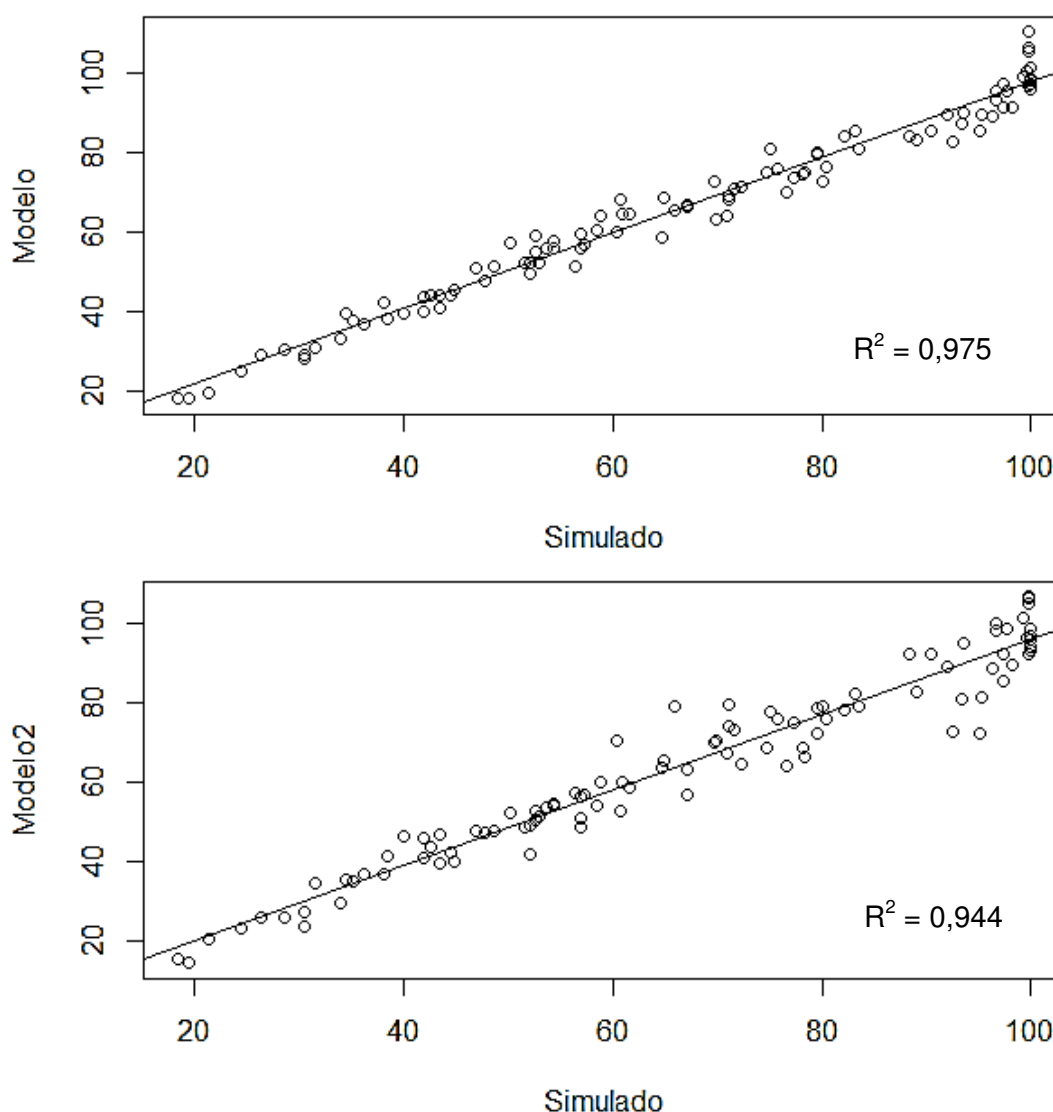


Figura 7 – Curvas de Regressão Linear do teste dos modelos.

Baseado nos coeficientes de determinação ($R^2=0.975$ e 0.944), podemos afirmar que as curvas possuem um bom ajuste, e que as equações são adequadas como modelos de predição, e que apesar de ser desvantajoso trabalhar com vários modelos, a boa precisão destes supera tal desvantagem, pois permite um resultado mais fiel à realidade do que se houvesse apenas um modelo geral. No entanto, o segundo modelo teve uma maior dispersão em relação ao primeiro, o que nos permite concluir que, o primeiro modelo possui maior precisão na estimativa das eficiências.

4 CONCLUSÕES

A variabilidade temporal da precipitação é um fator relevante a ser considerado na análise do comportamento e desempenho de uma cisterna frente ao atendimento das suas demandas, sendo que o índice PCD consegue expressar de forma efetiva a associação existente entre a variabilidade temporal da precipitação e o padrão de eficiência das cisternas.

A relação estabelecida entre as variáveis de eficiência e as variáveis relacionadas à precipitação distribuída apresentam o maior grau de associação, sendo então, mais indicada, que a concentrada, para a consideração da variabilidade temporal da precipitação nos modelos. Entretanto, esta maior associação não se traduz numa melhora da precisão na predição das eficiências no modelo criado. Logo, podemos concluir que a variabilidade temporal da precipitação pode ser desconsiderada na análise das eficiências por meio de modelos preditivos, no estado do Rio Grande do Norte.

5 REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil / The Evolution of Water Resources Management in Brazil**. Brasília; ANA, 2002.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conservação e reuso da água em edificações**. São Paulo: ANA, 2005.

ARAÚJO, J. M. S. **Identificação de áreas com precipitação pluvial homogênea no Estado do Rio Grande Do Norte**. Natal: UFRN, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, 2013.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Optimal sizing of storage tanks for domestic Rainwater harvesting in Sicily. **Resources, Conservation and Recycling**, v.63, p.9-16, 2012.

CANNAROZZO, M.; NOTO, L. V.; VIOLA, F. Spatial distribution of rainfall trends in Sicily (1921–2000). **Physics and Chemistry of the Earth**, v.31, p. 1201-1211, 2006.

- DAVIS, A. P.; MCCUEN, R. H. **Stormwater Management for Smart Growth**. Springer US, 2005.
- FEWKES, A. Modelling the performance of Rainwater collection systems: towards a generalised approach. **Urban Water**, v.1, p.323-333, 1999.
- GHISI, E. Parameters influencing the sizing of Rainwater tanks for use in houses. **Water Resources Management**, v.24, n.10, p.2381-2403, 2010.
- GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
- GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrology**, v.228, p.113-129, 2000.
- HELMREICH, B.; HORN, H. Opportunities in rainwater harvesting. **Desalination**, v.248, p. 118-124, 2009.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice-Hall International, 2007.
- KHASTAGIR, A.; JAYASURIYA, N. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. **Journal of Hydrology**, v.381, p.181-188, 2010.
- LI, X.; JIANG, F.; LI, L.; WANG, G. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. **International Journal of Climatology**, v.31, p.1679-1693, 2010.
- LIANG, L.; LI, L. LIU, Q. Precipitation variability in Northeast China from 1961 to 2008. **Journal of Hydrology**, v.404, p. 67-76, 2011.
- LIAW, C. H.; TSAI, Y. L. Optimum Storage Volume of Rooftop Rain Water Harvesting Systems for Domestic Use. **Journal of the American Water Resources Association**, v.40(4), p. 901-912, 2004.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de Estatística Multivariada: Uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.
- MITCHELL, V. G. How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behaviour modelling? **Hydrological Processes**, v.21, p.2850-2861, 2007.
- PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. **Journal of Hydrology**, v.401, p.65-76, 2011.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G.; BARBERA, P. L. Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones.

Resources, Conservation and Recycling, v.62, p.71-80, 2012.

PANIGRAHI, B.; PANDA, S. N.; MAL, B. C. Rainwater conservation and recycling by optimal size on-farm reservoir. **Resources, Conservation and Recycling**, v.50, p.459-474, 2007.

R Development Core Team (2014). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.Rproject.org/>.

RAHMAN, A.; KEANE, J.; IMTEAZ, M. A. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. **Resources, Conservation and Recycling**, v.61, p.16-21, 2012.

ROMA, W. N. L. **Fenômenos de Transporte para Engenharia**. 2. ed. São Carlos: Rima Editora, 2006.

SHAMMAS, N. K.; WANG, L. K. **Abastecimento de água e remoção de resíduos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2013.

SILVA, N. C. N.; FERREIRA, W. L.; CIRILLO, M. A.; SCALON, J. D. O uso da análise fatorial na descrição e identificação dos perfis característicos de municípios de Minas Gerais. **Rev. Bras. Biom.**, São Paulo, v.32, n.2, p.201-215, 2014.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2003.

VESSONI, F. **Correlação Canônica**. 1998. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/documentos/cursosI_INMET_IRI/Climate_Information_Course/Complementary_material/Correlacao_Canonica.pdf>. Acesso em: 29 out. 2013

APÊNDICE A

Formação das combinações.

Combinação 1			Combinação 2			Combinação 3			Combinação 4		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	50	1	100	50	1	150	50	1	200	50	1
Combinação 5			Combinação 6			Combinação 7			Combinação 8		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	50	5	100	50	5	150	50	5	200	50	5
Combinação 9			Combinação 10			Combinação 11			Combinação 12		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	50	10	100	50	10	150	50	10	200	50	10
Combinação 13			Combinação 14			Combinação 15			Combinação 16		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	50	15	100	50	15	150	50	15	200	50	15
Combinação 17			Combinação 18			Combinação 19			Combinação 20		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	50	20	100	50	20	150	50	20	200	50	20
Combinação 21			Combinação 22			Combinação 23			Combinação 24		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	100	1	100	100	1	150	100	1	200	100	1
Combinação 25			Combinação 26			Combinação 27			Combinação 28		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	100	5	100	100	5	150	100	5	200	100	5
Combinação 29			Combinação 30			Combinação 31			Combinação 32		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	100	10	100	100	10	150	100	10	200	100	10
Combinação 33			Combinação 34			Combinação 35			Combinação 36		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	100	15	100	100	15	150	100	15	200	100	15
Combinação 37			Combinação 38			Combinação 39			Combinação 40		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	100	20	100	100	20	150	100	20	200	100	20
Combinação 41			Combinação 42			Combinação 43			Combinação 44		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	150	1	100	150	1	150	150	1	200	150	1
Combinação 45			Combinação 46			Combinação 47			Combinação 48		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	150	5	100	150	5	150	150	5	200	150	5
Combinação 49			Combinação 50			Combinação 51			Combinação 52		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	150	10	100	150	10	150	150	10	200	150	10

Continuação...

Combinação 53			Combinação 54			Combinação 55			Combinação 56		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	150	15	100	150	15	150	150	15	200	150	15
Combinação 57			Combinação 58			Combinação 59			Combinação 60		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	150	20	100	150	20	150	150	20	200	150	20
Combinação 61			Combinação 62			Combinação 63			Combinação 64		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	200	1	100	200	1	150	200	1	200	200	1
Combinação 65			Combinação 66			Combinação 67			Combinação 68		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	200	5	100	200	5	150	200	5	200	200	5
Combinação 69			Combinação 70			Combinação 71			Combinação 72		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	200	10	100	200	10	150	200	10	200	200	10
Combinação 73			Combinação 74			Combinação 75			Combinação 76		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	200	15	100	200	15	150	200	15	200	200	15
Combinação 77			Combinação 78			Combinação 79			Combinação 80		
Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume	Área	Demanda	Volume
50	200	20	100	200	20	150	200	20	200	200	20

APÊNDICE B

Para exemplificarmos a utilização dos modelos, criamos a situação problema a seguir:

Suponhamos que uma pessoa residente em Acarí pretenda armazenar água de chuva para consumo. A precipitação média anual é de 576 mm.ano^{-1} , o valor de médio de PCD é 0,7, a área do telhado da residência é de 100 metros quadrados, sua demanda diária de água é de 100 litros por dia e o volume do reservatório a ser instalado é de 1 metro cúbico. Dada estas condições, temos que, pela simulação diária através do método YAS, o valor encontrado da eficiência é de 34,55%.

Partindo para a aplicação dos modelos, temos que, o valor de π_1 é igual a 0,001, logo, utilizamos a equação $E = -21,69 \ln(\pi_2) + 29,445$ para a primeira modelagem apresentada, e a equação $E = -20,08 \ln(\pi_2) + 50,22$ para a segunda modelagem. O valor de π_2 para o primeiro modelo é 0,634 e 2,11 para o segundo, logo, substituindo nas duas equações, temos que, a eficiência encontrada para o primeiro modelo é de 39,34% e de 35,20% para o segundo modelo.