



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

**THALIS PAULINO GINÂNI**

**MODELAGEM DA CONFIABILIDADE DOS SISTEMAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO ATENDIMENTO DA DEMANDA HUMANA  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SERIDÓ**

**Natal-RN**  
**2017**

**THALIS PAULINO GINANI**

**MODELAGEM DA CONFIABILIDADE DOS SISTEMAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO ATENDIMENTO DA DEMANDA HUMANA  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SERIDÓ**

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: Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lucio

**Natal-RN  
2017**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN  
Sistema de Bibliotecas – SISBI  
Catalogação da Publicação na Fonte - Biblioteca Central Zila Mamede

Ginâni, Thalís Paulino.

Modelagem da confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água no atendimento da demanda humana na bacia hidrográfica do rio Seridó / Thalís Paulino Ginâni. - 2017.

45 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, RN, 2017.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adelená Gonçalves Maia.

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lucio.

1. Modelos hidrológicos – Dissertação. 2. Disponibilidade hídrica - Dissertação. 3. Bacias hidrográficas - Dissertação. 4. Rio Seridó (RN) - Dissertação. I. Maia, Adelená Gonçalves. II. Lucio, Paulo Sérgio. III. Título.

RN/UFRN/BCZM

CDU 556.18

# **THALIS PAULINO GINANI**

## **MODELAGEM DA CONFIABILIDADE DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO ATENDIMENTO DA DEMANDA HUMANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SERIDÓ**

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**

---

Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia – Orientadora  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

---

Prof. Dr. Paulo Sérgio Lucio – Coorientador  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

---

Profa. Dra. Joana Darc Freire de Medeiros – Examinadora interna  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

---

Profa. Dra. Zédna Mara de Castro Lucena Vieira – Examinadora Externa  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

**Natal-RN**  
**2017**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela força que eu recebo a cada dia, que tenho certeza que vem dele;

Agradeço a todos que fazem o Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – PPGES, à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa ofertada ao programa, da qual pude usufruir.

Aos meus pais por terem acreditado, incentivado e aconselhado. Aos meus familiares, que sempre me apoiaram e estiveram na torcida por minha vitória e a minha namorada.

À minha orientadora, Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia, pela oportunidade de aprendizado durante esses dois anos de mestrado, pela amizade, confiança, dedicação e conselhos.

Ao meu Coorientador, Prof. Dr. Paulo Sérgio Lúcio, também pela oportunidade de aprendizado que sempre foi muito atencioso e me auxiliou em várias etapas do trabalho com muita gentileza.

A todos os amigos que, de forma direta ou indireta, influenciaram na minha vida acadêmica.

## LISTAS DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Municípios da Bacia do Rio Seridó.....	13
<b>Figura 2</b> – Boxplot da relação dem/disp.....	20
<b>Figura 3</b> - Mapa com resultados da relação DEM/DISP.....	21
<b>Figura 4</b> – Boxplot da variável Q90/p.....	22
<b>Figura 5</b> – Boxplot da variável irrigação.....	23
<b>Figura 6</b> – Boxplot da variável disponibilidade subterrânea.....	23
<b>Figura 7</b> – Boxplot da variável pecuária.....	24
<b>Figura 8</b> - Boxplot da variável demanda urbana.....	25
<b>Figura 9</b> - Boxplot da variável uso doméstico diário.....	25
<b>Figura 10</b> – Boxplot da variável precipitação média.....	26
<b>Figura 11</b> – Boxplot da variável densidade demográfica.....	26
<b>Figura 12</b> – Boxplot da variável acesso.....	27
<b>Figura 13</b> - Valores de C/R dos municípios.....	28
<b>Figura 14</b> – Resultados utilizando o modelo “A”.....	31
<b>Figura 15</b> – Resultados utilizando o modelo “B”.....	34

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> – Critérios para estabelecimento de notas.....	15
<b>Tabela 2</b> – Matriz de Correlação de Pearson.....	30
<b>Tabela 3</b> - Modelo “A”.....	31
<b>Tabela 4</b> - Modelo de regressão linear múltipla – PCA.....	33
<b>Tabela 5</b> - Correlação das componentes principais com as variáveis independentes.....	33
<b>Tabela 6</b> - Modelo “B”.....	34

## **APÊNDICES**

<b>APÊNDICE A</b> – Açudes que abasteceram os municípios da área de estudo durante o ano de 2015.....	42
<b>APÊNDICE B</b> - Ranking das cidades em função do modelo.....	43
<b>APÊNDICE C</b> - Variáveis dependente e independentes dos modelos.....	44
<b>APÊNDICE D</b> - Valores de DEM/DISP.....	45

**Resumo:** O Brasil detém uma das maiores reservas de água doce do mundo, todavia há regiões com escassez hídrica como é o caso da região semiárida do Nordeste brasileiro. Nesse sentido, com o intuito de contribuir para uma gestão adequada dos recursos hídricos é imprescindível à realização de um diagnóstico da região para análise da adequação entre disponibilidade e demanda hídricas. O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo da confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água no atendimento das demandas humanas na Bacia do rio Seridó e classificar os municípios de acordo com o balanço hídrico entre disponibilidade e demanda. Para o desenvolvimento do modelo utilizou-se duas metodologias, a regressão linear múltipla via *Stepwise* e a regressão por componentes principais para a escolha das variáveis do segundo modelo. Conclui-se que o modelo desenvolvido pela primeira metodologia foi o mais representativo para a Bacia do Rio Seridó. Com o balanço hídrico entre demanda e disponibilidade verificou-se que mais de 50% dos municípios apresentam esta variável acima do valor unitário. Desta forma fica então evidente a necessidade do levantamento de informações para o planejamento de ações que mudem esta realidade, tendo como base o ranqueamento das cidades em função de variável (is) que as caracterize(m) os municípios em função da qualidade dos sistemas de abastecimento de água no atendimento das suas demandas urbanas.

**Palavras-chave:** Modelos Hidrológicos; Disponibilidade Hídrica; Bacias Hidrográficas; Rio Seridó (RN)

**Abstract:** Brazil has one of the largest reserves of fresh water in the world, but there are regions with water scarcity, as is the case in the semi-arid region of the Brazilian Northeast. In this sense, in order to contribute to an adequate management of water resources, it is essential to carry out a diagnosis of the region to analyze the adequacy between water availability and demand. The objective of this work is to develop a model of the reliability of water supply systems to meet human demands in the Seridó River Basin and to classify municipalities according to the water balance between water availability and demand. For the development of the model two methodologies were used, the multiple linear regression via Stepwise and the regression by principal components for the choice of the variables of the second model. We conclude that the model developed by the first methodology was the most representative for the Seridó River Basin. With the water balance between demand and availability, it was verified that more than 50% of the municipalities present this variable above the unit value. In this way, it becomes evident the need to collect information to plan actions that change this reality, based on the ranking of cities as a function of variables (s) that characterize municipalities in function of the quality of the systems of Water supply to meet their urban demands.

**Keywords:** Hydrological Models, Water availability, Watersheds, Seridó River (RN).

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	12
2.1 Área de estudo .....	12
2.2 Modelo da Confiabilidade dos Sistemas de Abastecimento de Água.....	14
2.2.1 Definição das variáveis .....	14
2.2.1.1 Variável dependente.....	14
2.2.1.2 Variáveis Independentes .....	15
2.2.2 Procedimento estatístico.....	17
2.2.2.1 Regressão linear múltipla via <i>Stepwise</i> .....	17
2.2.2.2 Regressão linear múltipla por componentes principais.....	18
2.3 Classificação dos municípios pelo balanço hídrico de demanda e disponibilidade .....	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
3.1 Classificação dos municípios de acordo com a DEM/DISP .....	19
3.2 Variável C/R.....	28
3.3 Análise de regressão linear múltipla via <i>Stepwise</i> .....	30
3.4 Análise de componentes principais.....	32
3.4.1 Construção do modelo.....	33
4. CONCLUSÕES .....	36
5. REFERÊNCIAS .....	37

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil detém uma das maiores reservas de água doce do mundo, no entanto a escassez hídrica é uma realidade no país. Um exemplo bem claro é a região semiárida do Nordeste brasileiro que apresenta baixa disponibilidade hídrica em virtude, principalmente, de fatores naturais: chuvas concentradas em poucos meses, solo com pouca capacidade de armazenamento e alta taxa de evaporação.

Nesse cenário, a escassez hídrica provoca uma grande dificuldade ao desenvolvimento econômico, podendo afetar a subsistência da população. Esse quadro de escassez poderia ser minimizado em determinadas regiões, por meio de uma gestão planejada e participativa dos recursos hídricos (CARVALHO e CURI, 2013).

Com o intuito de contribuir para uma gestão adequada dos recursos hídricos é imprescindível a realização de um diagnóstico da região para análise da adequação entre disponibilidade e demandas hídricas, em termos quantitativos e qualitativos. Nesse sentido, surgem os indicadores como ferramentas que objetivam contribuir com políticas e estratégias de adequação da disponibilidade à demanda de uma região. São modelos simplificados da realidade com a capacidade de facilitar a compreensão dos fenômenos, de aumentar a capacidade de comunicação de dados brutos e de adaptar as informações à linguagem e aos interesses locais dos decisores (MAGALHÃES JUNIOR, 2014).

A utilização dessas ferramentas, que possibilitam simular cenários e definição de estratégias no contexto dos recursos naturais, começou a ser utilizado na década de 1990, logo depois de várias conferências mundiais mostrando sua importância e a relação com o desenvolvimento econômico (LUNA, 2007). Nos últimos anos, vários índices e indicadores têm contribuído no desempenho das políticas e estratégias que têm como foco a escassez de água, podemos destacar alguns trabalhos de levantamento destas informações: Manandhar et al. (2011), Senna (2015), Vieira (1996), Magalhães Junior (2014), Campos, Ribeiro e Vieira (2014).

A bacia hidrográfica do Seridó está localizada no semiárido brasileiro e nos últimos anos está sendo submetida a uma estiagem prolongada, fator esse que tem comprometido o fornecimento regular de água nos municípios da região. Desde 2013, os municípios vêm sofrendo com essa problemática. Nesse mesmo ano, o açude Monte Alegre entrou em colapso total afetando o abastecimento de Carnaúba dos Dantas. Por

consequente, em 2014, o açude Dourado entrou em colapso total comprometendo o abastecimento de Currais Novos. E em 2015, foi o ano em que vários municípios entraram em colapso ou rodízio nos respectivos abastecimentos, totalizando oito municípios em colapso e outros treze em sistema de rodízio. Em vista disso é importante a classificação dos municípios, para que ações sejam planejadas e priorizadas para a melhoria do atendimento das demandas humanas por água .

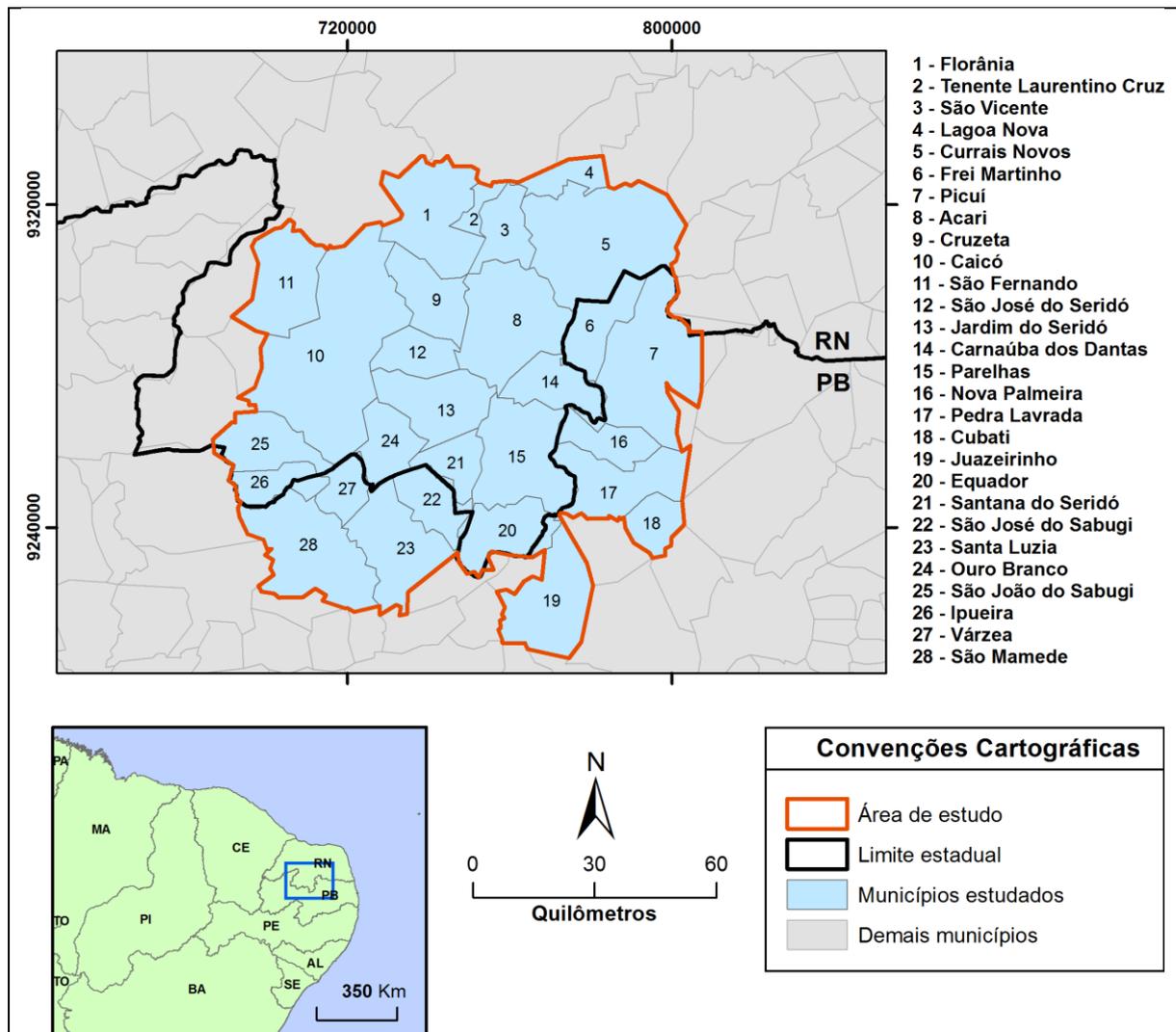
Sendo assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo da confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água no atendimento das demandas humanas na Bacia do rio Seridó e classificar os municípios de acordo com o balanço hídrico entre disponibilidade e demanda, o que irá auxiliar os tomadores de decisão na indicação e priorização de ações que visem a melhoria do atendimento destas demandas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi utilizada a bacia do rio Seridó que contempla áreas dos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, abrangendo respectivamente áreas de 6.645 km<sup>2</sup> e 3.447 km<sup>2</sup>. Na referida bacia o Rio Grande do Norte engloba 18 sedes municipais, e a Paraíba 10 sedes municipais (Figura 1). A bacia do rio Seridó está inserida na bacia do Rio Piranhas-Açu, cuja nascente do rio principal é na Paraíba, mais precisamente na serra do Alagamar, e sua foz no Rio Grande do Norte, em Macau. A região onde está inserida a bacia apresenta clima semiárido, com uma temperatura média entre 26° e 28°C e umidade relativa do ar em torno de 64%. De acordo com a classificação de Köppen, há predominância do clima BSw'h', clima muito quente e semiárido (ABRANTES, 2011).

Figura 1 – Municípios da Bacia do Rio Seridó



Fonte: autoria própria

Na região há predominância de rochas ígneas e metamórficas, também denominadas de cristalinas, datadas do pré-cambriano. Os solos são rasos e com baixa capacidade de infiltração. Em virtude dessas características, os rios são predominantemente intermitentes. Logo, uma solução adotada na região foi o uso de reservatórios de acumulação para enfrentar os longos períodos de estiagem.

A escassez de dados foi fator determinante para exclusão de alguns municípios no presente estudo. Dos 28 municípios pertencentes à Bacia do Rio Seridó, 6 foram excluídos, são eles: São José do Seridó, Ouro Branco, São José do Sabugi, Santa Luzia, Várzea e São Mamede. Sendo assim, os municípios que fazem parte do estudo são: Acari, Caicó, Carnaúba dos Dantas, Cruzeta, Currais Novos, Equador, Florânia, Jardim do Seridó, Lagoa Nova, Parelhas, Santana do Seridó, São Fernando, São João do

Sabugi, São Vicente, Tenente Laurentino Cruz, Ipueira, Cubati, Frei Martinho, Pedra Lavrada, Picuí, Juazeirinho e Nova Palmeira.

## 2.2 Modelo da Confiabilidade dos Sistemas de Abastecimento de Água

### 2.2.1 Definição das variáveis

Para a construção do modelo faz necessário procurar uma variável dependente que seja apropriada para caracterizar a confiabilidade do atendimento das demandas para abastecimento humano nas cidades e variáveis independentes capazes de caracterizar a confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água no atendimento destas demandas.

#### 2.2.1.1 Variável dependente

Em virtude da seca prolongada dos últimos anos, foi apresentado um cenário que mostrou a situação real das cidades quanto ao atendimento das suas demandas. O reflexo dessa situação pôde ser observado durante o ano de 2015, onde 8 cidades chegaram ao colapso no abastecimento, outras 13 passaram por rodízio no abastecimento e apenas 1 funcionou normalmente. Logo, uma variável quantitativa da informação da situação de rodízio ou colapso das cidades foi considerada adequada para caracterizar cada localidade quanto à confiabilidade do atendimento das demandas.

A variável quantitativa Colapso/Rodízio (C/R) foi gerada a partir das informações das cidades que entraram em rodízio ou colapso, no ano de 2015, em função da seca que a região está vivendo nos últimos anos. As informações das cidades que entraram em rodízio/colapso são dados qualitativos, sendo necessário transformá-los em dados quantitativos. O critério de atribuição de uma nota para cada cidade levou em consideração o tempo em que cada cidade ficou com o seu abastecimento de água em sistema de rodízio ou colapso no ano de 2015 (tabela 1), estas informações foram obtidas junto à Companhia de Água e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) e à Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). Na atribuição da nota foi considerada a mesma variação de nota para cada mês a mais em rodízio ou em colapso do sistema de abastecimento de água da cidade

Tabela 1 – Critérios para estabelecimento de notas

<b>Situação Rodízio/Colapso</b>	<b>Nota atribuída (C/R)</b>
12 meses de colapso	0
11 meses de colapso	0,416
10 meses de colapso	0,832
9 meses de colapso	1,248
8 meses de colapso	1,664
7 meses de colapso	2,08
6 meses de colapso	2,496
5 meses de colapso	2,912
4 meses de colapso	3,328
3 meses de colapso	3,744
2 meses de colapso	4,16
1 mês de colapso	4,576
12 meses de rodízio	5
11 meses de rodízio	5,416
10 meses de rodízio	5,832
9 meses de rodízio	6,248
8 meses de rodízio	6,664
7 meses de rodízio	7,08
6 meses de rodízio	7,496
5 meses de rodízio	7,912
4 meses de rodízio	8,328
3 meses de rodízio	8,744
2 meses de rodízio	9,16
1 mês de rodízio	9,576
Cidade isenta de rodízio ou colapso no abastecimento	10

#### 2.2.1.2 Variáveis Independentes

Manandhar et al. (2011) descreve uma aplicação do Índice de Pobreza Hídrica (WPI) para avaliar o estado dos recursos hídricos no contexto das bacias hidrográficas nepalesas. Neste estudo, ele sugere e descreve um conjunto de doze variáveis adequadas no contexto nepalês, dentre essas, pode-se destacar: uso doméstico diário de água per capita e acesso da população à água tratada. Vieira (1996) aborda em seu trabalho o diagnóstico dos recursos hídricos do Nordeste, bem como faz a análise da

sustentabilidade hídrica. Um dos indicadores que o mesmo utiliza para avaliar a sustentabilidade hídrica é o Índice de Utilização da Disponibilidade, definido como a razão entre demanda e a disponibilidade. Dentre as várias variáveis que o mesmo utiliza, destacam-se a demanda urbana e a disponibilidade subterrânea. Magalhães Junior (2014) em sua pesquisa sobre a importância dos indicadores ambientais para a gestão da água no Brasil chegou à conclusão que o indicador densidade populacional e o índice de cobertura vegetal foram os dois mais valorizados do estudo. Senna (2015) realizou uma pesquisa para determinação de um Índice de Pobreza Hídrica gerado através da Análise de Componentes Principais (ACP), para a indicação dos pesos dos sub-índices aplicáveis na bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN e PB). Para composição dos sub-índices foi utilizada as seguintes variáveis: precipitação anual, vazão regularizada per capita, acesso da população à água tratada, consumo de água para irrigação, consumo de água para pecuária, IDH-M, taxa de alfabetização, população economicamente ativa, área com vegetação natural, fósforo total e uso doméstico de água per capita.

A partir da revisão bibliográfica foram escolhidas as variáveis independentes que serão utilizadas neste trabalho, sendo elas: densidade populacional<sup>1</sup> (hab./km<sup>2</sup>); precipitação anual<sup>2</sup> (mm/ano); vazão regularizada per capita<sup>3</sup> (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.hab<sup>-1</sup>); acesso da população à água tratada<sup>1</sup> (%); consumo de água para irrigação<sup>3</sup> (l/s); consumo de água para pecuária<sup>3</sup> (l/s); uso doméstico diário de água per capita<sup>4</sup> (m<sup>3</sup>/per capita/dia); demanda urbana<sup>5</sup> (l/s) e disponibilidade subterrânea<sup>6</sup> (hm<sup>3</sup>/ano).

A vazão regularizada per capita com 90% de garantia (Q90/P) é um indicador que informa a quantidade de água disponível pelo reservatório para o abastecimento dos municípios (SENNA, 2015). Na nossa área de estudo tiveram alguns municípios que são abastecidos por mais de um reservatório, sendo assim para a determinação de Q90 dos mesmos foi realizada uma média ponderada dos valores de Q90 com base nas vazões aduzidas por cada reservatório para atender o município. Os dados das variáveis independentes referentes aos municípios encontra-se no apêndice C.

---

<sup>1</sup> Fonte: IBGE(2010);

<sup>2</sup> Fonte: SEMARH, (2016); DNOCS( 2016);AES(2016)

<sup>3</sup> Fonte: ANA(2016a);

<sup>4</sup> Fonte: IBGE(2008);

<sup>5</sup> Fonte: ANA(2016b)

<sup>6</sup> Fonte: HDROSERVICE( 1998)

### 2.2.2 Procedimento estatístico

Para a definição do modelo matemático para a determinação da confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água da região foram empregadas técnicas de regressão linear múltipla. Com a finalidade de especificar as variáveis mais importantes para a criação desse modelo, foram empregados os métodos de seleção de variáveis. Normalmente, nem todas as variáveis são significativas para o modelo, logo é indispensável conseguir um subconjunto de variáveis que contribuam no sentido de melhorar o modelo. Os métodos de seleção de variáveis utilizados foram: regressão linear via Stepwise e análise de componentes principais. A análise dos dados foi realizada utilizando o software estatístico R (R Development Core Team, 2012).

#### 2.2.2.1 Regressão linear múltipla via *Stepwise*

De acordo com Santos (2015), a regressão linear múltipla consiste em uma técnica estatística que visa estabelecer uma relação linear entre uma variável dependente e mais de uma variável independente. Um modelo de regressão múltipla pode ser descrito da seguinte forma:

$$Y_i = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_mX_m + c ,$$

Onde  $Y_i$  é a variável dependente,  $X_1, X_2, \dots, X_m$  as variáveis independentes, “a” é o intercepto,  $b_1, b_2$  e  $b_m$  são os coeficientes de regressão múltipla que são estimados pelo método dos mínimos quadrados Wilks (1995), e “c” é o termo de erro.

Um dos tipos de regressão múltipla mais utilizado é a regressão *Stepwise*. Consiste em uma técnica simples para selecionar as variáveis mais importantes. O algoritmo *stepwise* funciona adicionando ou removendo repetidamente variáveis do modelo, tentando "melhorar" o modelo em cada etapa. Quando o algoritmo não pode mais melhorar o modelo adicionando ou subtraindo variáveis, para e retorna o novo modelo. (Adler, 2009). Para selecionar o melhor modelo, utilizou-se o Critério de Informação de Akaike (AIC). Essa medida permite comparar e classificar vários modelos concorrentes e estimar qual deles se aproxima melhor do modelo “verdadeiro” (Symonds e Moussalli,2010). De acordo com Kamel et al. (2015), quanto menor o

valor de AIC, mais preciso é o modelo. Vários trabalhos tem utilizado esse critério para seleção de modelos, sendo eles: Prado,2010; Silva et al. 2011; Pereira et al., 2015.

### 2.2.2.2 Regressão linear múltipla por componentes principais

Embora a regressão linear múltipla tenha uma vasta aplicação e eficácia, é notável que alguns modelos apresentem multicolinearidade, que é um problema comum em regressões, em que as variáveis independentes possuem alta correlação (Abdulwahab et al. 2005). Nesse sentido, é possível que os erros de estimação de parâmetros possam ser interpretados incorretamente (Leahy, 2000). Com o intuito de conter o problema da multicolinearidade utilizou-se um método de seleção de variáveis baseados na análise de regressão por componentes principais (Rajab et al. 2013; Jia et al., 2016; Silva et al.,2014; Abdul-wahab et al. 2005;). Trabalhos nas áreas de Hidrologia, Ciências Climáticas, Química alimentar tem utilizado o método de componentes principais para a escolha das variáveis dos seus modelos, sendo eles: Zomlot et al., 2015; Santos, 2015; Liu et al., 2008, respectivamente.

O método de componentes principais consiste na determinação de novas variáveis, chamadas de componentes principais, a partir da combinação linear das variáveis originais, de forma que as novas variáveis geradas não são correlacionadas, removendo assim a multicolinearidade.

As componentes principais podem ser determinadas através da equação característica da matriz de correlação ou de covariância, isto é:

$$\det[\mathbf{R} - \lambda\mathbf{I}] = 0 \text{ ou } \mathbf{R} - \lambda\mathbf{I} = 0$$

onde,

$$R = \begin{vmatrix} 1 & r(X_1X_2) & r(X_1X_3) & \dots & r(X_1X_p) \\ r(X_2X_1) & 1 & r(X_2X_3) & \dots & r(X_2X_p) \\ r(X_3X_1) & r(X_3X_2) & 1 & \dots & r(X_3X_p) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r(X_pX_1) & r(X_pX_2) & r(X_pX_3) & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

As raízes da equação característica são denominadas de autovalores ( $\lambda$ ), os quais, seguem a seguinte ordem:

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 \dots > \lambda_p$$

Para cada autovalor  $\lambda_i$ , existe um autovetor ( $a_i$ ). Esses últimos são ortogonais entre si e a soma dos quadrados dos coeficientes igual a 1 (Varela, 2008).

Considerando  $(a_i)$  como o autovetor correspondente ao autovalor  $\lambda_i$ , logo  $i$ -ésimo componente principal é dado por:

$$Y_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p$$

A análise de componentes principais será aplicada para a transformação das nove variáveis independentes em nove componentes principais. A escolha das componentes principais, dentre as nove geradas, foi feita a partir da análise das componentes principais incluídas na equação de regressão que apresentaram maior coeficiente de determinação com a variável dependente. Este critério de seleção também foi utilizado em Rajab, Matjafri e Lim, (2013), Liu et al. (2008), Abdul-wahab, Bakheit e Al-alawi (2005). Após a escolha das componentes principais, a escolha das variáveis independentes para compor o modelo, foi feita a partir da análise, em cada uma das componentes principais selecionadas, da variável que apresentava maior peso na composição da componente principal. Com as variáveis selecionadas foi aplicado um modelo de regressão múltipla para a definição do modelo.

### 2.3 Classificação dos municípios pelo balanço hídrico de demanda e disponibilidade

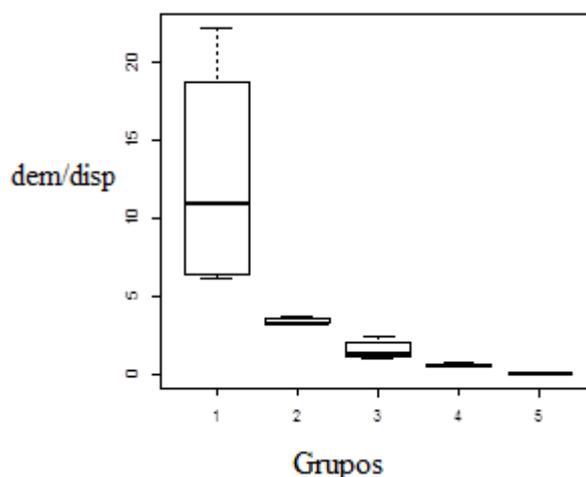
Com o objetivo de verificar a situação dos municípios no que tange o atendimento das suas demandas hídricas utilizou-se a relação entre demanda e disponibilidade hídrica (DEM/DISP) para a identificação dos municípios que se encontram em situação crítica, com demanda maior que a disponibilidade e para a classificação dos mesmos. Na composição da demanda hídrica utilizou-se o somatório das demandas urbana, pecuária e irrigação. Já na confecção da variável disponibilidade foi utilizado o somatório da variável Q90 com a disponibilidade subterrânea. A unidade padrão adotada foi o metro cúbico por segundo para todas as variáveis.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Classificação dos municípios de acordo com a DEM/DISP

O agrupamento dos municípios foi realizado a partir da relação demanda versus disponibilidade (DEM/DISP). Em função da proximidade dos valores de DEM/DISP os dados foram classificados em cinco grupos (Figura 2, 3 e Apêndice D).

Figura 2 – Boxplot da relação dem/disp

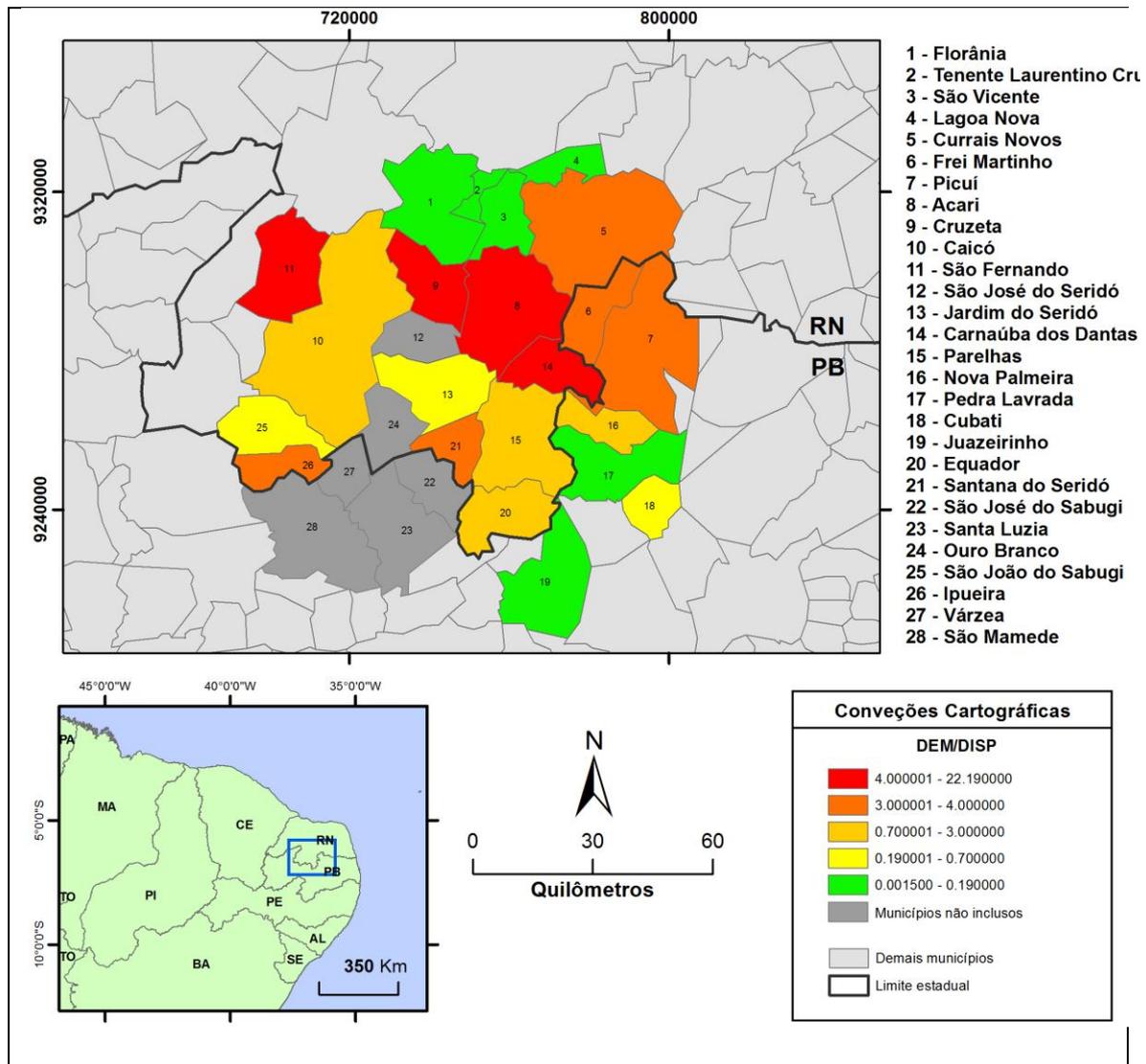


O grupo 1, composto pelos municípios Carnaúba dos Dantas, Acari, São Fernando e Cruzeta, ficou caracterizado como o grupo que apresentou maiores valores para a relação demanda/disponibilidade. Dentre esses, se destaca o primeiro e o segundo, que apresentaram valores muito superiores de suas demandas em relação as suas disponibilidades (Apêndice D).

O grupo 2, formado pelos municípios Santana do Seridó, Currais Novos, Frei Martinho, Picuí e Ipueira, e o grupo 3, composto por Nova Palmeira, Caicó, Parelhas e Equador, foram os grupos que apresentaram valores intermediários para a variável em estudo.

Já o grupo 5 foi o que apresentou melhores resultados, onde a disponibilidade hídrica superou as demandas. Esse grupo contempla os municípios de Juazeirinho, São Vicente, Florânia, Pedra Lavrada, Lagoa Nova e Tenente Laurentino Cruz. São municípios que apresentam baixos valores de demanda e/ou municípios que são abastecidos pelo maior reservatório do RN que implica em uma maior disponibilidade hídrica. Além desse, o grupo 4, composto por São João do Sabugi, Jardim do Seridó e Cubati, também apresentou bons resultados.

Figura 3 - Mapa com resultados da relação DEM/DISP

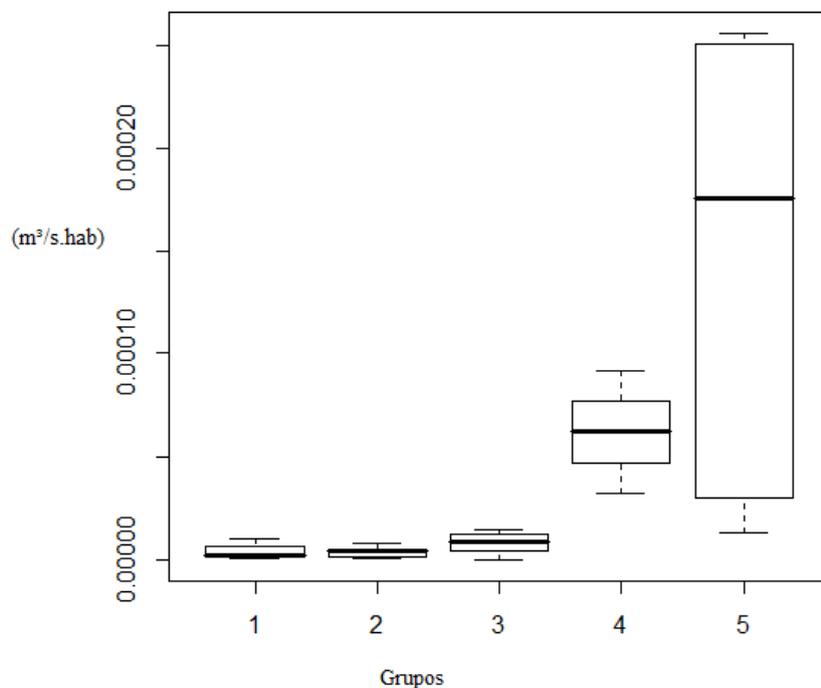


Fonte: autoria própria

Tratando-se apenas da variável vazão regularizada com 90% de garantia dividida pela população percebeu-se que os três primeiros grupos apresentaram os menores resultados quando comparados aos demais (figura 4). Já o grupo 5 destaca-se dos demais por apresentar maiores valores de Q90/p. Entretanto, há dois municípios que fazem com que o grupo 5 tem uma amplitude maior, Pedra Lavrada e Juazeirinho, ambos possuem baixos valores quando comparados aos demais municípios do grupo. Com exceção desses dois, os outros municípios são abastecidos pela Barragem Armando Ribeiro Gonçalves e por isso são os que apresentam os maiores valores. Esse

gráfico vem enaltecer o que foi relatado no gráfico anterior, onde os grupos 4 e 5 foram os que apresentaram melhores valores para relação demanda/disponibilidade.

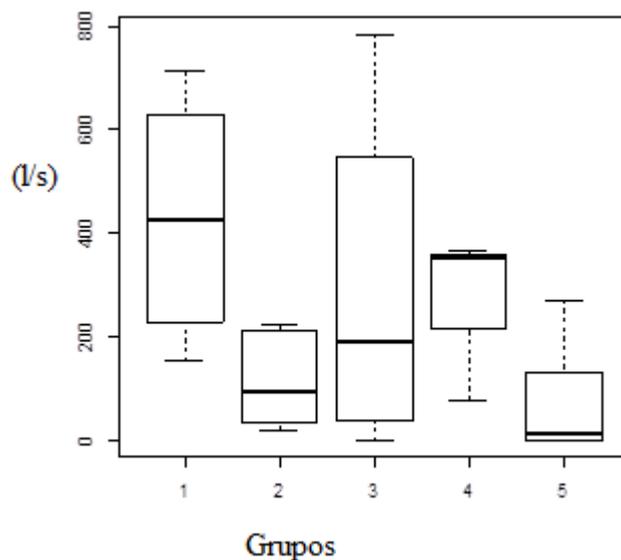
Figura 4 – Boxplot da variável Q90/p



Fonte: autoria própria

Dentre as variáveis que foram consideradas na demanda total destaca-se a irrigação. Essa variável foi a mais relevante na grande maioria dos municípios, apresentando maior peso no valor final da demanda dos municípios. Os grupos 1 e 4 foram os que apresentaram as maiores medianas. O grupo 3 apresentou valores intermediários. Já os grupos 2 e 5 apresentaram os menores valores (figura 5). Percebe-se que os valores de irrigação do grupo 1, 2 e 3 influenciaram fortemente na variável DEM/DISP. O grupo 4 apresentou a segunda maior mediana de IRR, todavia não foi suficiente para superar a disponibilidade. Já o grupo 5 foi o que apresentou a menor mediana de irrigação o que influenciou nos menores valores encontrados para a relação DEM/DISP.

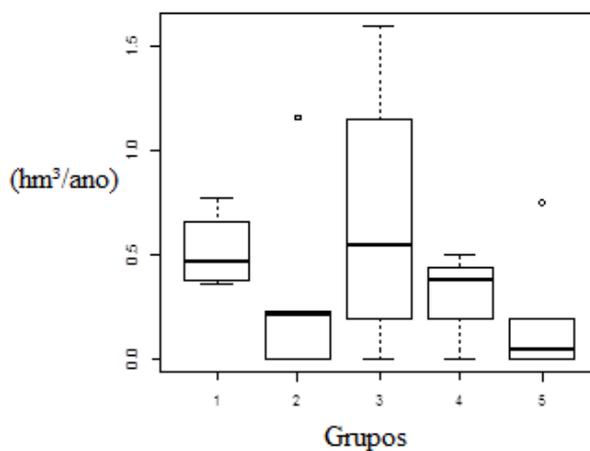
Figura 5 – Boxplot da variável irrigação (IRR)



Fonte: autoria própria

Na disponibilidade subterrânea pode-se observar que os valores não diferem muito nos grupos (Figura 6). O grupo 3 destaca-se por conter a maior mediana da variável e o município com maior disponibilidade hídrica subterrânea. Já o grupo 5 é o que possui os menores valores e conseqüentemente a menor mediana. Na grande maioria dos municípios, a disponibilidade subterrânea foi a que contribui menos para a disponibilidade hídrica, haja vista que boa parte dos municípios é abastecida por reservatórios.

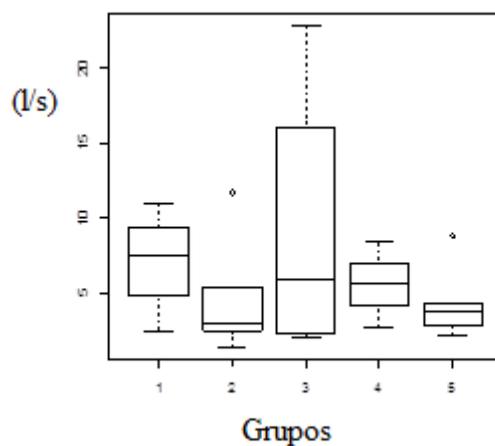
Figura 6 – Boxplot da variável disponibilidade subterrânea (SUB)



Fonte: autoria própria

Dentre as três variáveis consideradas na demanda total, a variável pecuária foi a que contribuiu menos no valor final da demanda. De modo geral, percebe-se que a mediana entre os grupos são próximas (figura 7). Dentre esses grupos, o grupo 3 é o que apresenta maior amplitude, haja visto que nele está contido Caicó, município que apresenta maior consumo para pecuária, e Equador, município esse que apresenta um dos menores valores para pecuária. O grupo 2 possui o município de Currais Novos, identificado como outlier, que apresenta valores muito superiores aos demais municípios do grupo. Da mesma forma acontece no grupo 5, onde o município de Florânia (outlier) apresenta valor alto quando comparado aos demais componentes do grupo.

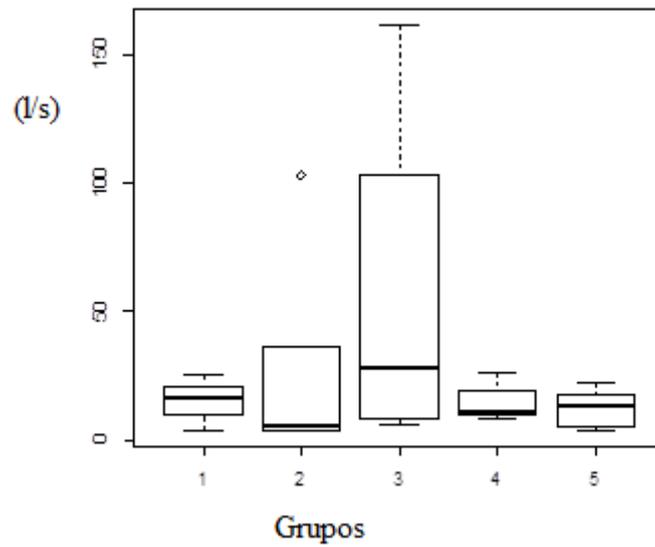
Figura 7 – Boxplot da variável pecuária (PEC)



Fonte: autoria própria

Dentre as três variáveis consideradas na demanda total, a variável demanda urbana foi a segunda que mais contribuiu para o valor final. As demandas urbanas dos cinco grupos apresentam valores próximos (Figura 8), a exceção são os municípios de Caicó, município com maior demanda urbana e pertencente ao grupo 3, e o de Currais Novos, município com segunda maior demanda pertencente ao grupo 2 (outlier).

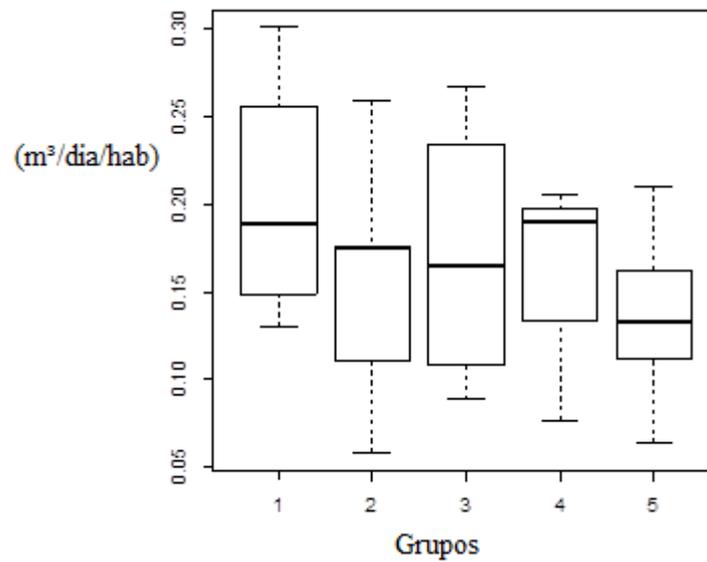
Figura 8 - Boxplot da variável demanda urbana (DU)



Fonte: autoria própria

No que tange ao uso doméstico diário percebe-se que a mediana entre os grupos apresentam valores similares, todavia em todos os grupos há grande variabilidade dos dados entre os municípios (Figura 9).

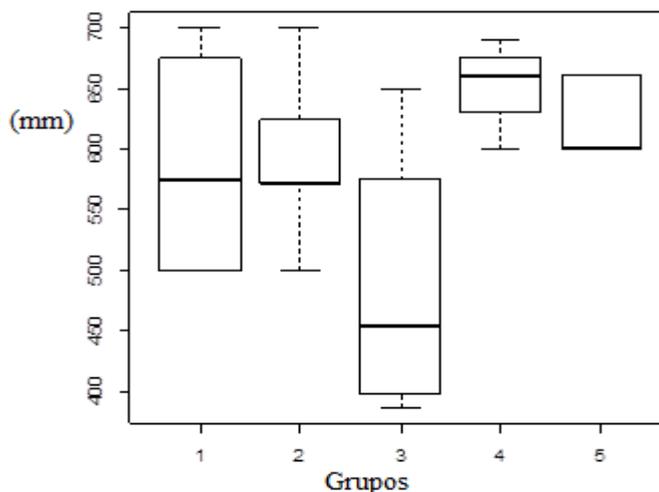
Figura 9- Boxplot da variável uso doméstico diário (DOM/D)



Fonte: autoria própria

Tratando-se da variável precipitação média percebe-se que os grupos 1, 2, 4 e 5 apresentam valores próximos (Figura 10). No entanto, o grupo 3 foi o grupo que concentrou os menores valores. De modo geral, percebe-se que não há grande variabilidade da precipitação anual, além disto, uma maior precipitação não evidencia uma maior disponibilidade hídrica, logo que essa última está associada também a outras características como a estrutura hídrica de reservação, por exemplo.

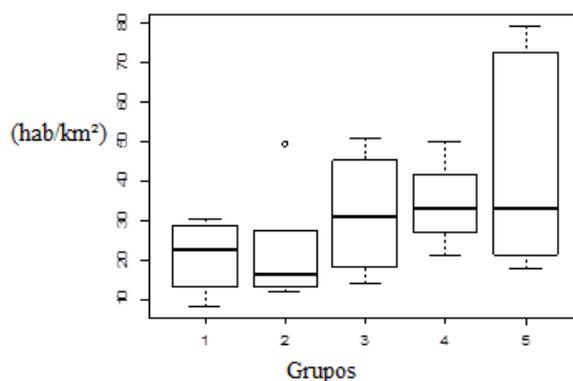
Figura 10 – Boxplot da variável precipitação média (PA)



Fonte: autoria própria

As densidades demográficas dos grupos apresentam valores similares, porém o grupo 5 destaca-se por apresentar a maior variabilidade (figura 11). Nesse mesmo grupo, estão os municípios com maiores densidades demográficas da área de estudo, Tenente Laurentino Cruz e Lagoa Nova. Além desse, vale destacar no grupo 2 o município de Currais Novos (outlier) que apresentou o maior valor para o seu grupo diferindo significativamente dos demais municípios.

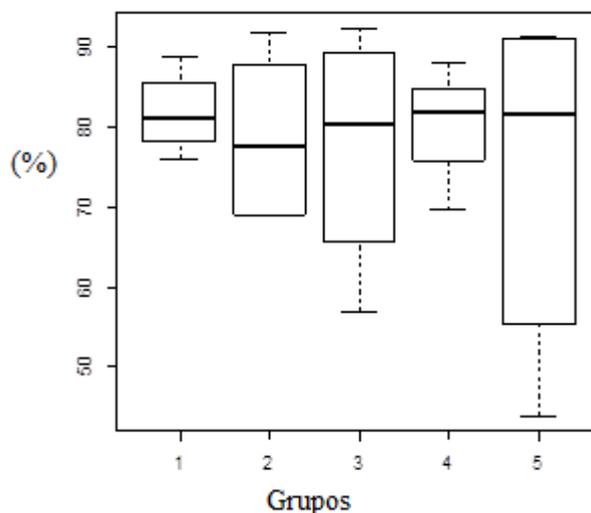
Figura 11 – Boxplot da variável densidade demográfica (DD)



Fonte: autoria própria

No que tange ao acesso da população a água tratada, percebe-se que os grupos apresentam medianas com valores bastante próximos (figura 12). Todavia, os grupos 3 e 5 apresentam municípios que fazem com que a amplitude seja maior. No grupo 5 destaca-se Pedra Lavrada e Juazeirinho que apresentaram menores valores para a variável em estudo e no grupo 3, o município de Nova Palmeira

Figura 12 – Boxplot da variável acesso (ACE)



Fonte: autoria própria

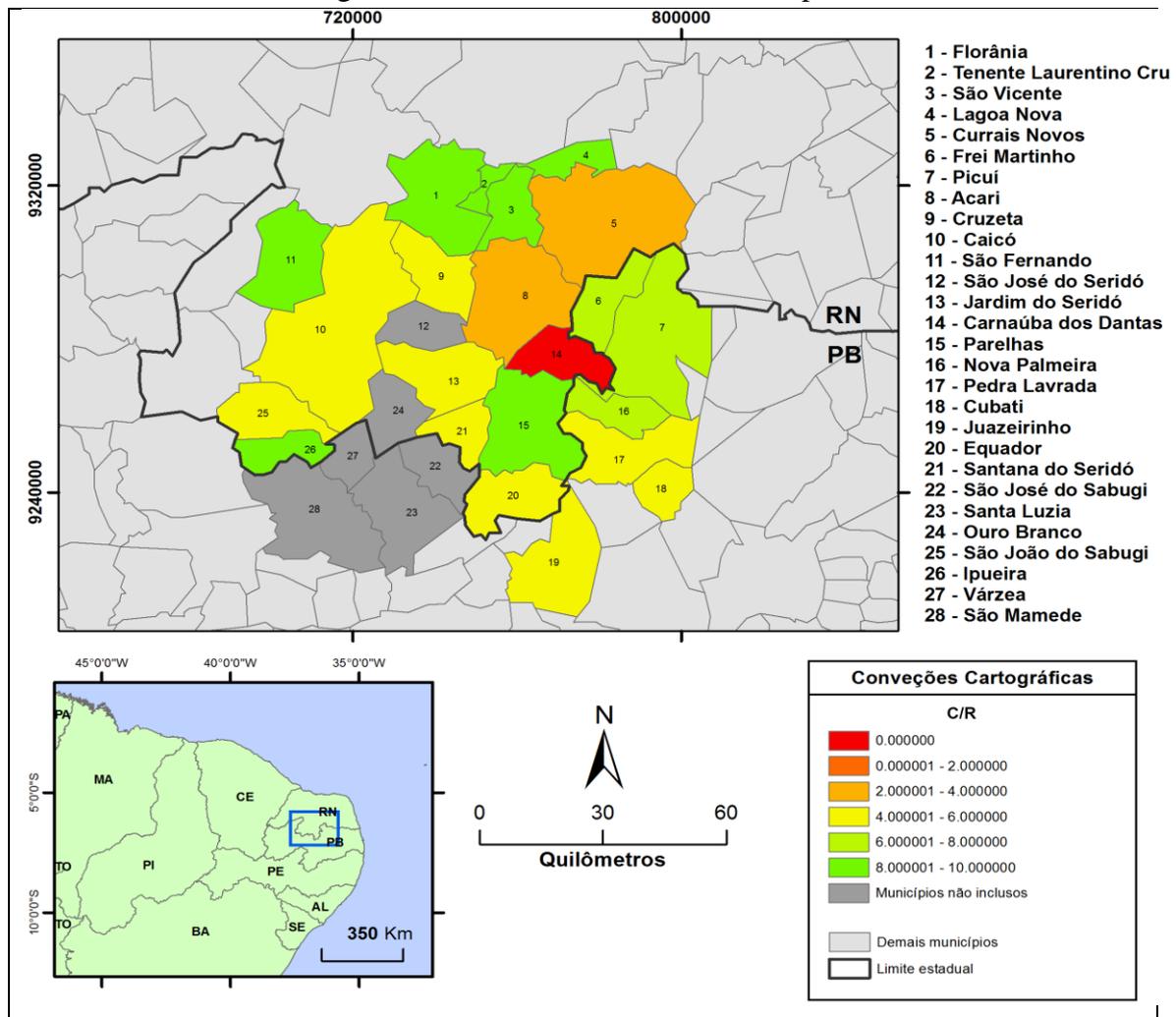
O ranqueamento das cidades de acordo com a variável DEM/DISP é apresentado no apêndice B. Confrontando o ranqueamento dos municípios utilizando os resultados da variável DEM/DISP com a variável C/R percebe-se que existem municípios que apresentaram a mesma posição em ambos, principalmente aqueles que apresentaram as piores situações, como é o caso de Carnaúba do Dantas e Acari. Mas também vale ressaltar que houve algumas disparidades entre os resultados, como por exemplo nos municípios de São Fernando e Ipuera. Já nos demais municípios houve troca de posições, mas não foram muito diferentes (Apêndice B). Para a obtenção dos valores de DEM/DISP, as demandas totais foram obtidas em ANA (2016). Neste documento foram considerados os valores de demanda e não de uso, com destaque para a demanda de irrigação que representa o maior peso na composição da demanda total. Na ocorrência dos eventos de colapso e rodízio o uso de água para irrigação era inferior à demanda, em função de nem todas as lavouras estarem produzindo e também em função da redução desta demanda pela baixa disponibilidade hídrica no período.

Outra variável que pode ter influenciado nas diferenças entre DEM/DISP e C/R foi a disponibilidade de água subterrânea (SUB), obtida em HIDROSERVICE (1998) que considera a água disponível para uso, mas não necessariamente utilizada para o atendimento das demandas.

### 3.2 Variável C/R

Por conseguinte, foi realizada a tabulação dos dados no que diz respeito a variável quantitativa Colapso/Rodízio (C/R), variável essa que mostra a situação real dos municípios no que tange a escassez hídrica, caracterizando os municípios de acordo com as situações de abastecimento de água (Figura 13).

Figura 13 - Valores de C/R dos municípios



Fonte: autoria própria

Durante a seca que a região sofreu nos últimos anos, houve algumas alterações nos mananciais (reservatórios) responsáveis pelo abastecimento das cidades, em função

da construção de novas adutoras, o que gerou um cenário diferente do levantado em 2015. Logo, a variável C/R levantada nesse trabalho já não mais condiz com a realidade atual, um exemplo é o município de Carnaúba dos Dantas, que com a inauguração de uma adutora que leva água do açude Boqueirão para o município, saiu da situação de colapso para rodízio. Sendo assim uma nova variável capaz de reclassificar estes municípios quanto à disponibilidade hídrica, seria uma ferramenta útil neste novo cenário existente na região.

Para a análise preliminar das variáveis foi determinada a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis em estudo (tabela 2). Analisando a correlação entre as variáveis constatou-se que apenas três variáveis, vazão regularizada per capita (Q90/P), acesso da população à água tratada (ACE) e densidade demográfica (DD), apresentaram correlação positiva com a variável resposta, variável quantitativa Colapso/Rodízio (C/R). Dentre essas três, destaca-se a Vazão regularizada per capita (Q90/P), variável essa que teve maior correlação (0,452) com a variável resposta, o que era esperado, visto que, Q90/P está diretamente relacionada à disponibilidade hídrica.

Observando-se que dentre as variáveis com correlação negativa com C/R temos: consumo de água para irrigação (IRR), consumo de água para pecuária (PEC), demanda urbana (DU) e uso doméstico diário de água per capita (DOM/D) com a variável C/R, o que era de se esperar, uma vez que, quanto maior o consumo destas, mais suscetível estará o município ao desabastecimento. Dentre essas, destaca-se consumo de água para irrigação, variável que teve maior correlação negativa (-0,379).

Não eram esperadas correlações negativas encontradas entre C/R e Precipitação anual (PA) e entre C/R e Disponibilidade hídrica subterrânea (SUB) uma vez que quanto maior a precipitação e a disponibilidade subterrânea, espera-se uma melhor situação do município no que diz respeito à disponibilidade hídrica e o atendimento da sua demanda para abastecimento de água. No entanto, sabe-se que não há grande variabilidade de precipitação anual dentre os municípios analisados e a ocorrência de uma maior precipitação não garante uma maior disponibilidade hídrica, visto que a mesma também está relacionada a outros fatores como a estrutura hídrica de reservação e distribuição desta água. A disponibilidade hídrica subterrânea tem um menor peso no abastecimento das cidades, sendo a vazão fornecida pelos reservatórios mais importante.

De posse da matriz de correlação pode-se observar que duas variáveis foram altamente correlacionadas, pecuária e disponibilidade subterrânea, logo essas últimas foram excluídas da regressão via Stepwise. Além dessas, foram excluídas: precipitação

anual, densidade demográfica e uso doméstico diário per capita. As duas primeiras por apresentaram correlações inesperadas e a última por ter o mesmo significado que a variável Q90/p. Todavia, na regressão por componentes principais serão utilizadas todas variáveis.

Tabela 2 – Matriz de Correlação de Pearson

	C/R	Q90/P	IRR	SUB	PEC	DU	DOM/D	PA	DD	ACE
C/R	1	0.452	-0.379	-0.230	-0.132	-0.221	-0.039	-0.178	0.055	0.190
Q90/P		1	-0.150	-0.099	-0.097	-0.180	-0.063	0.150	0.330	0.304
IRR			1	0.696	0.777	0.582	0.588	0.336	-0.012	0.465
SUB				1	0.915	0.827	0.518	0.223	0.075	0.546
PEC					1	0.880	0.497	0.343	0.172	0.447
DU						1	0.356	0.286	0.363	0.348
DOM/D							1	0.281	0.144	0.672
PA								1	0.290	0.203
DD									1	0.272
ACE										1

### 3.3 Análise de regressão linear múltipla via Stepwise

Foi realizada a regressão múltipla entre C/R e as variáveis: Q90/P, IRR, DU e ACE. O propósito era encontrar as variáveis preditivas que melhor se adequam os dados da variável em estudo utilizando a regressão linear múltipla via Stepwise, utilizando o critério AIC. Logo, o resultado foi a seguinte equação que determina a confiabilidade do sistema de abastecimento:

$$CSA = -0,005957*[IRRI] + 0,08942*[ACE] + 7110*[Q90/P]$$

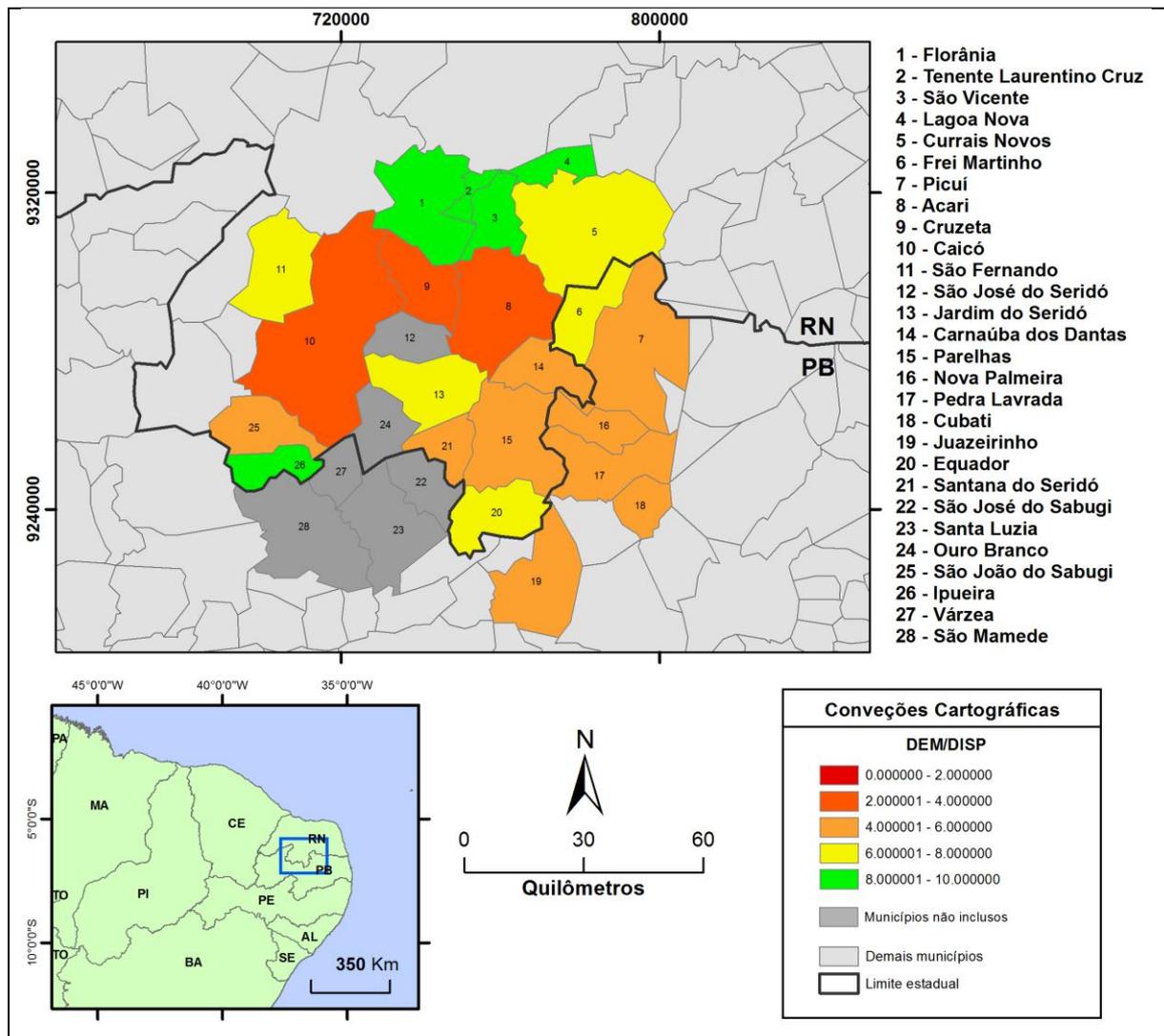
O modelo de regressão múltipla utilizando as três variáveis, IRRI, ACE e Q90/P, teve um bom R<sup>2</sup> ajustado. Os coeficientes de regressão são apresentados na tabela 3 e foram todos estatisticamente significativos (P <0,01). As distribuições dos resíduos foram aproximadamente normais, os resíduos apresentaram distribuição aleatória em torno da média zero e a variância homogênea, o que de acordo com outros autores (Abdulwahab, Bakheit e Al-alawi, 2005; Silva et al., 2014) representa uma indicação de um ajuste adequado do modelo. Os fatores de inflação da variância dos coeficientes também foram mostrados, indicando um fraco nível multicolinearidade no novo modelo.

Tabela 3 - Modelo "A"

Preditores	ACE	IRRI	Q90/p
Coefficiente de regressão estimado	0,08942	-0,005957	7110
Erro padrão	0,01011	0,002208	5796
Fatores de inflação de variância (VIF)	3,20	2,33	1,59
R <sup>2</sup> ajustado do modelo	0,8987		
P-valor	3,084e-10		

Os resultados para cada município da área de estudo utilizando o modelo proposto estão representados na figura 14.

Figura 14 – Resultados utilizando o modelo "A"



Fonte: autoria própria

Os municípios que apresentaram melhores resultados foram Tenente Laurentino Cruz, Florânia, São Vicente, Lagoa Nova e Ipueira. Os quatros primeiro são municípios que apresentaram bons resultados para Q90/p. Uma característica em comum é que todos apresentaram valores elevados de acesso da população à água tratada, e de modo geral apresentam baixo ou nenhum valor para irrigação. Por conseguinte tem-se a faixa de valor (6 - 8), que compreende cinco municípios. Estes municípios possuem bons valores para acesso, entretanto o consumo para irrigação é maior quando comparados aos municípios que obtiveram melhores resultados e apresentam valores inferiores de Q90/p em relação ao grupo anterior. Já a faixa de valor (4 - 6), que contempla 9 municípios, ficou caracterizada por municípios que tiveram valores baixos ou intermediários de acesso da população à água tratada e irrigação. E por fim, os municípios que obtiveram os piores resultados foram Caicó, Acari e Cruzeta. Isso se deve ao fato de possuírem alto consumo para irrigação.

Contrastando os resultados do modelo “A” com os valores da variável quantitativa Colapso/Rodízio (C/R), Figura 13, percebe-se que doze municípios permaneceram inalterados nas suas respectivas faixa de valores. Outros seis migraram para faixa de valor inferior. E por fim, outros quatro migraram para faixa de valores acima, merecendo destaque para dois municípios, Currais Novos e Carnaúba dos Dantas. O primeiro, saiu de 3,744 para 6,58, e o segundo saiu de 0 para 5. Essa diferença entre os valores pode está relacionado ao fato de que o modelo A não ter levado em consideração a situação real dos açudes por isso não conseguiu retratar a situação desses municípios, que entraram em situação de colapso total em função dos mananciais (açudes) responsáveis pelo abastecimento de água destas cidades se encontrarem com suas reservas hídricas no seu volume morto.

#### 3.4 Análise de componentes principais

Inicialmente, transformou-se as variáveis independentes em componentes principais. Dentre essas, duas componentes destacaram-se por apresentar os maiores coeficientes de determinação, medida essa que descreve a proporção da variação de Y que pode ser explicada por variações em X, PC9 (0,3824) e PC2 (0,1442), como mostra a tabela 4.

Tabela 4 - Modelo de regressão linear múltipla - PCA

Preditores	Inter	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
Coefficiente de determinação		0.0357	0.1442	0.0524	0.0688	0.0125	0.0430	0.0239	0.0641	0.3824
Coefficiente de regressão estimado	1,070e-16	0,0911	-0,3014	-0,2251	-0,2909	0,139	0,380	0,338	-0,958	2,969
Erro padrão	0,1172	0,05785	0,09513	0,1178	0,1329	0,1491	0,2200	0,2623	0,4535	0,5756
Fatores de inflação de variância (VIF)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R <sup>2</sup> ajustado do modelo	0,6981									
P-valor	0,002043									

De posse das componentes principais mais significativas (PC9 e PC2), escolheu-se de cada componente uma variável independente original que apresentasse a maior correlação possível (Rajab, Matjafri e Lim, 2013; Liu et al.,2008; Abdul-wahab, Bakheit e Al-alawi, 2005). A tabela 5 mostra a correlação entre as componentes e as variáveis independentes.

Tabela 5 - Correlação das componentes principais com as variáveis independentes

	PC2	PC9
PA	-0.357	-0.006
DD	-0.690	0.0005
DOM	-0.076	-0.0104
ACE	-0.390	0.0311
DU	0.131	-0,0595
IRR	0.225	-0.044
<b>PEC</b>	0.168	<b>0.169</b>
SUB	0.198	-0,089
<b>Q90/P</b>	<b>-0.830</b>	-0.020

As duas primeiras CPs com os maiores coeficientes de determinação foram escolhidas, sendo que CP9 e CP2, na ordem da maior para a menor. Em seguida, foi selecionada a partir de CP9, pecuária e de CP2, vazão regularizada por demanda.

#### 3.4.1 Construção do modelo

Com a variável pecuária e vazão regularizada utilizadas como variáveis independentes foi desenvolvido o modelo B por análise de regressão múltipla, apresentado a seguir:

$$CSA = 30180 * [Q90/P] + 0,4563 * [PEC]$$

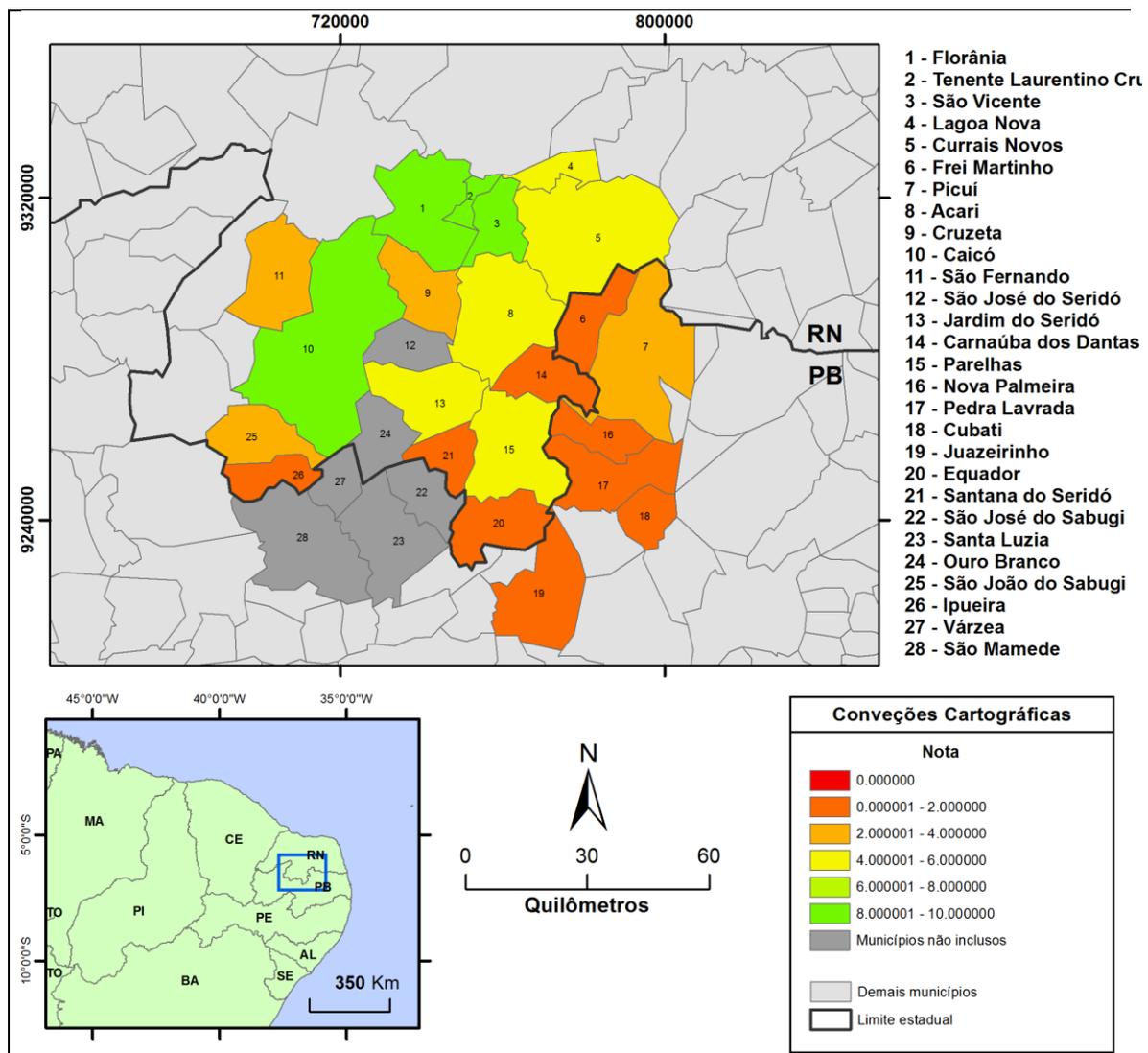
O modelo de regressão múltipla utilizando as duas variáveis, Q90/P e PEC, teve um R<sup>2</sup> ajustado de 0,6192. Os coeficientes de regressão são apresentados na tabela 6 e foram todos estatisticamente significativos (P < 0,01). As distribuições dos resíduos foram aproximadamente normal, o que representou uma indicação de um ajuste modelo válido (Abdul-wahab, Bakheit e Al-alawi, 2005; Silva et al., 2014). Os fatores de inflação da variância dos coeficientes também foram mostrados, com 1,15 de Q90/P, e 1,15 para PEC, que indicou um fraco nível multicolinearidade no novo modelo.

Tabela 6 - Modelo “B”

Preditores	Q90/P	Pec
Coefficiente de regressão estimado	30180	0.4563
Erro padrão	9586	0.1220
Fatores de inflação de variância (VIF)	1,15	1,15
R <sup>2</sup> ajustado do modelo	0,6192	
P-valor	2.472e-05	

Já o modelo B, apresentou variáveis bastante pertinentes, porém o modelo final não apresentou sentido físico, haja visto a variável PEC ser positiva. Os resultados para o modelo “B” encontra-se na figura 15.

Figura 15 – Resultados utilizando o modelo “B”



Fonte: autoria própria

Comparando os resultados do modelo “B” com os valores da variável quantitativa Colapso/Rodízio (C/R), percebe-se que a maioria dos municípios apresentou certa disparidade entre o valor original e o valor calculado no modelo, cerca de treze municípios. Para fins de exemplificação, como mostra o apêndice B, o município de Caicó, inicialmente, ocupava a 18ª posição no ranking em relação a variável C/R, já no modelo B, o mesmo subiu para a 1ª posição no ranking, havendo assim uma disparidade muito grande entre o valor observado e o valor calculado. Isso pode estar relacionado ao fato de ser o município com maior valor para pecuária. Apenas cinco municípios permaneceram nas suas respectivas faixas de valores e o restante migrou para faixa de valor superior ou inferior.

#### 4. Conclusões

Os usos da regressão linear múltipla via Stepwise e da regressão por componentes principais permitiu identificar as variáveis mais representativas da confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água na bacia hidrográfica do Rio Seridó. No entanto, o modelo A, obtido pela regressão linear múltipla via Stepwise, apresentou mais coerência, mostrando melhor precisão estatística e melhor sentido físico. Já o modelo B, apresentou variáveis bastante pertinentes, porém o modelo final não apresentou sentido físico.

O modelo A, desenvolvido por regressão linear múltipla via Stepwise, proposto no presente trabalho considerou como variáveis independentes “acesso da população à água tratada”, “consumo de água para irrigação” e “vazão regularizada per capita”, todavia, a avaliação das variáveis de forma separada pode possibilitar a captação de informações que na maioria das vezes não foram evidenciadas pelo valor global do modelo. Logo, tanto o modelo A quanto todas as variáveis independentes investigadas nesta pesquisa poderão informar ao tomador de decisão no âmbito da gestão dos recursos hídricos, os locais que apresentaram as piores situações e que requerem maiores investimentos. .

O modelo A foi o que apresentou o melhor resultado, dentre os modelos desenvolvidos, no entanto apesar de apresentar alto coeficiente de determinação (0,8987) com a variável dependente (C/S), no ranqueamento final foram encontrados alguns resultados diferentes para alguns municípios (Apêndice B). Paralelamente, foi proposta uma classificação das cidades com base na relação entre demanda e disponibilidade e verificou-se que apresentara algumas similaridades com a variável C/R, principalmente nos municípios que apresentaram os piores resultados.

Na área de estudo foram identificados municípios com alta relação DEM/DISP e mais de 50% dos municípios com esta variável acima do valor unitário. Este cenário foi evidenciado no desabastecimento de boa parte dos municípios no ano de 2015 e que perdura para alguns municípios até os dias atuais (ano de 2017).

## 5. REFERÊNCIAS

ABDI, Hervé; WILLIAMS, Lynne J.. Principal component analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, [s.l.], v. 2, n. 4, p.433-459, 30 jun. 2010. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/wics.101>.

ABDUL-WAHAB, Sabah A.; BAKHEIT, Charles S.; AL-ALAWI, Saleh M.. Principal component and multiple regression analysis in modelling of ground-level ozone and factors affecting its concentrations. **Environmental Modelling & Software**, [s.l.], v. 20, n. 10, p.1263-1271, out. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.09.001>.

ABRANTES, P. C. M. 2011. Avaliação do desenvolvimento sustentável na bacia hidrográfica do Rio Seridó em face das políticas públicas e da gestão dos recursos hídricos. 2011. 415 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, Departamento de Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

ADLER, Joseph. **R in a nutshell: A Desktop Quick Reference**. O'reilly, 2009.

Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, AESA. Meteorologia: chuvas. Disponível em: < [www.aesa.pb.gov.br](http://www.aesa.pb.gov.br) >. Acesso em: julho, 2016.

Agência Nacional de Águas, ANA. Plano de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu: RELATÓRIO TÉCNICO. Brasília, 2016a.

ANA. **Atlas - abastecimento urbano de água**. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>. Acesso em: 18 jul. 2016b.

CAMPOS, Martha Viviane Cabral de Vasconcelos; RIBEIRO, Márcia Maria Rios; VIEIRA, Zédna Mara de Castro Lucena. A Gestão de Recursos Hídricos Subsidiada pelo Uso de Indicadores de Sustentabilidade. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Pb, v. 19, n. 2, p.209-222, abr. 2014.

CARVALHO, José Ribamar Marques de; CURI, Wilson Fadlo. Construção de um índice de sustentabilidade hidroambiental através da análise multicritério: estudo em municípios paraibanos. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 25, n. 1, jan./abril 2013.

DNOCS. **Barragens**. Disponível em: <<http://www.dnocs.gov.br/>>. Acesso em: 18 Jul. 2016.

HIDROSERVICE. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: Avaliação das Potencialidades de água subterrânea no Rio Grande do Norte**. Natal, SERHID, 1998.

IBGE. **Censo demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 jul. 2016.

IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico - 2008**. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 16 jul. 2016.

JIA, Renfu et al. Driven Factors Analysis of China's Irrigation Water Use Efficiency by Stepwise Regression and Principal Component Analysis. **Discrete Dynamics In Nature And Society**, [s.l.], v. 2016, p.1-12, 2016. Hindawi Publishing Corporation. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8957530>.

KAMEL, Ahmed H.; SHAQLAIH, Ali S.; IBRAHIM, Essam A.. Model inference using the Akaike information criterion for turbulent flow of non-Newtonian crude oils in pipelines. **Petroleum Science**, [s.l.], v. 12, n. 3, p.492-500, 9 jul. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s12182-015-0032-y>.

LEAHY, K. Multicollinearity: When the solution is the problem. *Data Mining Cookbook: Modelling data for marketing, risk and customer relationship management*. New York: John Wiley & Sons, 2000

LIU, Jing et al. Multivariate Modeling of Aging in Bottled Lager Beer by Principal Component Analysis and Multiple Regression Methods. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [s.l.], v. 56, n. 16, p.7106-7112, ago. 2008. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf800879v>.

LUNA, Renata Mendes. DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA (IPH) PARA O SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO. 2007. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. 2014. Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: Realidade e Perspectivas para o Brasil a Partir da Experiência Francesa. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ltda, 688 p.

MANANDHAR, Sujata; PANDEY, Vishnu Prasad; KAZAMA, Futaba. Application of Water Poverty Index (WPI) in Nepalese Context: A Case Study of Kali Gandaki River Basin (KGRB). *Water Resources Management*, Japão, v. 26, p.89-107, 30 set. 2011.

PEREIRA, Hugo de Siqueira et al. Riqueza e densidade de aves que nidificam em cavidades em plantações abandonadas de eucalipto. **Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)**, [s.l.], v. 55, n. 5, p.81-90, maio 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0031-1049.2015.55.05>.

Prado, P.I.K.L. 2010. Distribuições de abundâncias de espécies: avanços analíticos para entender um padrão básico em ecologia. *Ciências Ambientais*, 39: 121-136.

R Core Team, 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RAJAB, Jasim M.; MATJAFRI, M.z.; LIM, H.s.. Combining multiple regression and principal component analysis for accurate predictions for column ozone in Peninsular Malaysia. **Atmospheric Environment**, [s.l.], v. 71, p.36-43, jun. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.019>.

SANTOS, Thalyta Soares dos. **Cálculo das Incertezas Climáticas Sobre América do Sul Utilizando Modelos do CMIP5: Aferição Através das Redes Neurais**

**Articiais**. 2015. 77 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SEMARH. **Sistema de Informações Bacia Piranhas/Assu**. Disponível em: <<http://www.semarh.rn.gov.br/>>. Acesso em: 14 jul. 2016.

SENNA, Larynne Dantas de. **USO DO ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA (WPI) ATRAVÉS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS**. 2015. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015

SILVA, A. G. da et al. Improving regional dynamic downscaling with multiple linear regression model using components principal analysis: Precipitation over amazon and northeast brazil. *Advances in Meteorology*, Hindawi Publishing Corporation, v. 2014, 2014.

SILVA, N.a.m. et al. Seleção e classificação multivariada de modelos de crescimento não lineares para bovinos Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, [s.l.], v. 63, n. 2, p.364-371, abr. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-09352011000200014>.

SYMONDS, Matthew R. E.; MOUSSALLI, Adnan. A brief guide to model selection, multimodel inference and model averaging in behavioural ecology using Akaike's information criterion. **Behavioral Ecology And Sociobiology**, [s.l.], v. 65, n. 1, p.13-21, 25 ago. 2010. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00265-010-1037-6>.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Análise de Componentes Principais**. 2008. 12 f. - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

VIEIRA, Vicente P. P. B.. Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do semi-árido nordestino. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 1, n. 1, p.89-107, Jan/Junho 1996.

WILKS, D. S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction. [S.l.]: Academic press, 1995.

ZOMLOT, Z. et al. Spatial distribution of groundwater recharge and base flow: Assessment of controlling factors. **Journal Of Hydrology: Regional Studies**, [s.l.], v. 4, p.349-368, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.07.005>.

**APÊNDICE A: Açudes que abasteceram os municípios da área de estudo durante o ano de 2015**

<b>Município</b>	<b>Açude(s) que o abastece</b>	<b>Município</b>	<b>Açude(s) que o abastece</b>
Acari	Marechal Dutra	Cubati	Epitácio Pessoa
Caicó	Itans e Rio Piranhas	Frei Martinho	Várzea Grande
Carnaúba dos Dantas	Monte Alegre	Pedra Lavrada	Epitácio Pessoa
Cruzeta	Cruzeta	Picuí	Várzea Grande
Currais Novos	Marechal Dutra	Nova Palmeira	Caraipeira e Várzea Grande
Equador	Mamão	Juazeirinho	Epitácio Pessoa
Florânia	Armando Ribeiro Gonçalves		
Ipueira	Martelo		
Jardim do Seridó	Passagem das Traíras e Zangarelhas		
Lagoa Nova	Armando Ribeiro Gonçalves		
Parelhas	Boqueirão de Parelhas		
Santana do Seridó	Caldeirão de Parelhas		
São Fernando	São Fernando e Rio Piranhas		
São João do Sabugi	Santo Antônio		
São Vicente	Armando Ribeiro Gonçalves		
Tenente Laurentino Cruz	Armando Ribeiro Gonçalves		

**APÊNDICE B: Ranking das cidades em função do modelo ou variável**

<b>Municípios</b>	<b>C/R</b>	<b>DEM/DISP</b>	<b>CSA(Modelo A)</b>	<b>CSA (Modelo B)</b>
São Fernando	1°	20°	9°	10°
Ipueira	2°	14°	5°	19°
Tenente Laurentino Cruz	3°	1°	1°	3°
São Vicente	4°	5°	2°	4°
Parelhas	5°	11°	12°	9°
Lagoa Nova	6°	2°	4°	7°
Florânia	7°	4°	3°	2°
Nova Palmeira	8°	13°	18°	18°
Picuí	9°	15°	17°	13°
Frei Martinho	10°	16°	6°	22°
Juazeirinho	11°	6°	15°	14°
Pedra Lavrada	12°	3°	19°	15°
Cubati	13°	7°	11°	16°
São João do Sabugi	14°	9°	13°	11°
Jardim do Seridó	15°	8°	10°	8°
Equador	16°	10°	7°	21°
Cruzeta	17°	19°	20°	12°
Caicó	18°	12°	22°	1°
Santana do Seridó	19°	18°	14°	17°
Currais Novos	20°	17°	8°	5°
Acarí	21°	21°	21°	6°
Carnaúba dos Dantas	22°	22°	16°	20°

**APÊNDICE C: Variáveis dependente e independentes dos modelos**

Cidades	C/R	Q90/p(m <sup>3</sup> /s.hah)	IRR (l/s)	SUB (hm <sup>3</sup> /ano)	PEC (l/s)	DU (l/s)	DOM/D(m <sup>3</sup> /per capita/dia)	PA (mm)	DD (hab/km <sup>2</sup> )	Ace (%)
Acari	3.328	2,2595E-06	714	0,8	11	25	0,210965111	700	18,1	88,7
Caicó	4.576	1,00618E-05	785	1,6	22,8	161	0,266771915	650	51	92,3
Carnaúba dos Dantas	0	4,038E-07	302	0,4	2,5	15	0,130300175	500	30,2	76
Cruzeta	4.576	1,00414E-05	546	0,4	7,1	17	0,300866073	650	26,9	80,3
Cubati	5	3,23332E-05	78,8	0	2,7	8	0,076755025	661	50,1	69,7
Currais Novos	3.744	1,2911E-06	214	1,2	11,7	103	0,175583794	700	49,4	87,8
Equador	4.576	1,855E-07	0	0,4	2	11	0,127791137	409	22	74,3
Florânia	8.744	0,000255609	133	0,8	8,8	18	0,11184284	600	17,8	81,2
Frei Martinho	7.496	4,3993E-06	36,2	0	1,4	5	0,110467099	572	12	77,6
Ipueira	8.744	4,815E-07	19,5	0,2	2,5	4	0,259027443	625	16,3	91,7
Jardim do Seridó	4.576	6,19169E-05	367	0,5	8,4	26	0,189135639	600	32,9	87,9
Juazeirinho	5	1,32332E-05	0	0	3,9	17	0,11748927	661	35,9	55,3
Lagoa Nova	8.744	0,000135164	27,4	0	4,3	22	0,209754702	600	79,3	82
Nova Palmeira	7.496	7,8999E-06	75,3	0	2,5	6	0,088511809	387	14,1	57
Parelhas	8.744	1,47391E-05	310	0,7	9,2	45	0,201336347	500	39,7	86,2
Pedra Lavrada	5	0,000029699	0	0	2,8	4	0,063010033	661	21,3	44
Picuí	7.496	4,4257E-06	223	0	5,4	36	0,057951926	572	27,5	69
Santana do Seridó	4,16	7,9177E-06	93,5	0,2	2,9	4	0,175376089	500	13,4	69
São Fernando	10	2,3902E-06	155	0,5	7,9	4	0,167009703	500	8,41	82,3
São João do Sabugi	5	9,11854E-05	353	0,4	5,7	11	0,20482945	690	21,4	81,9
São Vicente	8.744	0,000250498	271	0,2	3,7	10	0,162408759	600	30,5	91,4
Tenente Laurentino Cruz	8.744	0,000216426	0	0,1	2,1	5	0,14872364	600	72,7	91

**APÊNDICE D- Valores de DEM/DISP**

<b>Municípios</b>	<b>DEM/DISP</b>
Tenente Laurentino Cruz	0,006
Lagoa Nova	0,028
Pedra Lavrada	0,031
Florânia	0,068
São Vicente	0,064
Juazeirinho	0,094
Cubati	0,403
Jardim do Seridó	0,524
São João do Sabugi	0,670
Equador	0,990
Parelhas	1,128
Caicó	1,420
Nova Palmeira	2,432
Ipueira	3,135
Picuí	3,276
Frei Martinho	3,302
Currais Novos	3,573
Santana do Seridó	3,722
Cruzeta	6,175
São Fernando	6,625
Acari	15,190
Carnaúba dos Dantas	22,191