

ISYS PRYSCILLA DE ALBUQUERQUE LIMA

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE DE
ÁGUA EM CISTERNAS INSTALADAS EM COMUNIDADES NA
REGIÃO DO SERTÃO DO PAJEÚ – SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

RECIFE-PE – JULHO/2014



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE DE
ÁGUA EM CISTERNAS INSTALADAS EM COMUNIDADES NA
REGIÃO DO SERTÃO DO PAJEÚ – SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada como exigência parcial à obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Biometria e Estatística Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Moacyr Cunha Filho

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Patrícia Siqueira Tavares Falcão

RECIFE-PE
JULHO/2014

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE DE
ÁGUA EM CISTERNAS INSTALADAS EM COMUNIDADES NA
REGIÃO DO SERTÃO DO PAJEÚ – SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

ISYS PRYSCILLA DE ALBUQUERQUE LIMA

Dissertação julgada adequada para
obtenção do título de Mestre em Biometria
e Estatística Aplicada, defendida e
aprovada por unanimidade em 21/07/2014
pela Banca Examinadora.

Orientador:

Prof. Dr. Moacyr Cunha Filho
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Tatijana Stosic
Universidade Federal Rural de Pernambuco
DEINFO-UFRPE

Prof. Dr. Lucian Bogdan Bejan
Universidade Federal Rural de Pernambuco
DEINFO-UFRPE

Prof^a. Dr^a. Ana Patrícia Siqueira Tavares Falcão
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia - Campus Vitória – PE

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha mãe,
Josélia de Sousa Albuquerque Lima (*in
memoriam*).

Agradecimentos

Agradeço a Deus, pelo amparo e pela chuva de bênçãos em minha vida.

Ao meu orientador, professor Moacyr Cunha Filho e à minha co-orientadora, professora Ana Patrícia, pela confiança e orientação.

À professora Tatijana Stosic e ao professor Lucian Bogdan, por terem aceitado compor minha banca examinadora.

À Maria Cristina Raposo, professora do departamento de Estatística da UFPE, nela sempre busco (e encontro) soluções para meus problemas mais urgentes.

Aos meus colegas do mestrado pela amizade construída. A David Venâncio, por sempre estar disposto a me ajudar, pelas palavras e orações a mim dedicadas.

A Jannine L'amour, jornalista, por todo o incentivo e revisão do texto.

À família Shinozaki, especialmente Paula, minha amiga-irmã, que desde sempre enxergou em mim uma capacidade que eu jamais pensei em ter.

A minha mãe pelo amor. Aos meus tios e tias que sempre se orgulharam tanto de mim. Aos meus tios e padrinhos Antônio Vicente e Naty, por me guardarem e me defenderem.

Ao meu marido, Thyago Costa, pelo amor e apoio incondicional.

A minha filha, Iasmyn Rafaella, pela paciência, por entender minha ausência, por me consolar, por sempre me dar os melhores conselhos mesmo com apenas 9 anos, por ser a razão do meu viver e por ser responsável por tudo de bom que eu faço e que ainda hei de fazer.

“O conhecimento foi feito para ser compartilhado.”

Roberto Ferreira Manghi.

Resumo

No semiárido brasileiro se faz necessário o uso de alternativas para o melhor aproveitamento da água. Entretanto, em termos climáticos o vetor resultante anual de umidade é vertical, com as taxas de evapotranspiração superando as taxas de precipitação pluviométrica, o que pode favorecer a acumulação de sais nas cisternas. Dessa forma, este trabalho teve por objetivo investigar a qualidade da água das cisternas de comunidades localizadas na região semiárida do estado de Pernambuco. Assim, foram monitoradas as seguintes características físico-químicas e microbiológicas da água das cisternas: a cor, turbidez, os sólidos dissolvidos totais (S.D.T.), a salinidade através da condutividade elétrica (CE), pH e os coliformes totais e fecais. Os dados foram organizados em planilhas do Excel e posteriormente exportados para o Programa R Project versão 2.12.0 para Windows, sendo analisados por meio de estatística paramétrica, quando da normalidade dos dados. Para o monitoramento da qualidade foram empregadas técnicas de Controle Estatístico de Qualidade, gráficos de controle e índices de capacidade do processo. Das variáveis estudadas, as que apresentaram resultados mais alarmantes foram as microbiológicas, os coliformes totais e fecais se mostraram presentes em grande parte da amostra. Os gráficos de controle não apresentaram indícios de anormalidade alarmante no processo. A variável Cor, apesar de não apresentar nenhum indício de anormalidade, quando calculados os índices de capacidade do processo surgiu um alerta, sendo recomendada uma investigação acerca da variabilidade do processo. Concluiu-se que um dos motivos mais prováveis para a incidência da contaminação da água das cisternas é a falta de limpeza das calhas que fazem parte do sistema de captação da água armazenada. No semiárido nordestino a população busca maneiras de utilização dos recursos naturais locais como forma de assegurar a sobrevivência e a qualidade da água é vista como uma garantia para a qualidade de vida.

Palavras-chave: qualidade da água, semiárido, cisternas, controle estatístico de qualidade.

Abstract

In the Brazilian Semi-arid is necessary to use an alternative to the better use of water. However, in climatic terms the resulting vector of annual humidity is vertical, with the rates of evapotranspiration exceeding rainfall rates, which may favor the accumulation of salts in the tank. Thus, this study aimed to investigate the quality of the water tanks of communities located in the Semi-arid region of the State of Pernambuco. Then, we monitored the following physic-chemical and microbiological characteristics of water tanks: the color, turbidity, total dissolved salts (TDS), salinity by electrical conductivity (EC), and pH and total and fecal coliforms. Data were organized in Excel spreadsheets and subsequently exported to the R Project Program Version 2.12.0 for Windows, and analyzed using parametric statistics when data normality. For quality monitoring techniques of Statistical Quality Control, process capability and control charts indices have been employed. Of variables, the ones that were more alarming were the microbiological results; total and fecal coliforms were present in most of the sample. The control charts showed no evidence of alarming abnormality in the process. The Color variable, although not present any evidence of abnormality, when the process capability indices were calculated came a warning, then is recommended a research into the process variability. We conclude that the most likely reason for the incidence of contamination of the water tank is the lack of cleaning the rails forming part of the system of collection of stored water. In Semi-arid region of Northeast population seeks ways to use local natural resources as a way of ensuring the survival and quality of water is as a guarantee for the quality of life.

Keywords: water quality, semiarid, tanks, statistical quality control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Delimitação do Semiárido Brasileiro	16
Figura 2: Biomas continentais brasileiros	17
Figura 3: Cisternas de placas instaladas em residência na comunidade de Serra Grande, em Serra Talhada – PE	23
Figura 4: Mapa de uso e ocupação do solo do riacho Exu em Serra Talhada	28
Figura 5: GPSmap 62sc portátil Garmin	30
Figura 6: Representação geográfica das cisternas localizadas nas comunidades de Serra Grande e Assentamentos: Poço do Serrote, Poldrinho e Catolé	38
Figura 7: Imagem da localização de uma das cisternas localizada no Assentamento Catolé captada na verificação de uma coordenada geográfica	39
Figura 8: Imagem de uma residência e sua cisterna localizada em uma das comunidades captada na verificação de uma coordenada geográfica	39
Figura 9: Frequência dos Coliformes Fecais	42
Figura 10: Gráfico de autocorrelação para o pH.....	44
Figura 11: Gráfico de autocorrelação parcial para o pH	44
Figura 12: Gráfico de Shewhart para o pH	45
Figura 13: Gráfico de CUSUM para o pH	45
Figura 14: Gráfico de EWMA para o pH	46
Figura 15: Autocorrelação para a variável cor	46
Figura 16: Autocorrelação parcial para a variável cor	47
Figura 17: Gráfico de Shewhart para a variável cor	47
Figura 18: Gráfico de CUSUM para a variável cor	48
Figura 19: Gráfico de EWMA para a variável cor	48
Figura 20: Gráfico de autocorrelação da turbidez.....	49

Figura 21: Gráfico de autocorrelação parcial da turbidez	49
Figura 22: Gráfico de Shewhart para Turbidez.....	50
Figura 23: Gráfico de CUSUM para Turbidez.....	51
Figura 24: Gráfico de EWMA para Turbidez.....	51
Figura 25: Gráfico de autocorrelação para S.D.T.	52
Figura 26: Gráfico de autocorrelação parcial para S.D.T.....	52
Figura 27: Gráfico de Shewhart para S.D.T.	53
Figura 28: Gráfico de CUSUM para S.D.T.	54
Figura 29: Gráfico de EWMA para S.D.T.	54
Figura 30: Gráfico de autocorrelação para C.E.	55
Figura 31: Gráfico de autocorrelação parcial para C.E.....	55
Figura 32: Gráficos de Shewhart e CUSUM para C.E.	56
Figura 33: Gráfico de EWMA para C.E.....	56
Figura 34: Índice de capacidade da Cor.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição da área em km ² de cada bioma no território nacional	17
Tabela 2: Unidades dos parâmetros de qualidade da água	31
Tabela 3: Estatística descritiva das variáveis da qualidade da água.....	40
Tabela 4: Distribuição de frequência dos Coliformes Totais	41
Tabela 5: Teste de Normalidade.....	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 SEMIÁRIDO	15
2.2 O BIOMA CAATINGA.....	16
2.3 BACIAS E MICROBACIAS RURAIS NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO ...	19
2.4 CISTERNAS.....	21
2.5 CISTERNAS DE PLACAS.....	22
2.6 QUALIDADE DA ÁGUA	24
2.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE	26
2.8 GRÁFICOS DE CONTROLE.....	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	28
3.2 COLETA DAS AMOSTRAS.....	29
3.3 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	30
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	31
3.5 CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE	33
3.6 ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 GEORREFERENCIAMENTO DAS COMUNIDADES RURAIS	38

4.2 QUALIDADE DA ÁGUA	40
4.3 GRÁFICOS DE CONTROLE DE QUALIDADE.....	43
4.4 ÍNDICE DE CAPACIDADE DO PROCESSO.....	57
5 CONCLUSÃO.....	58
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE A.....	67
APÊNDICE B.....	68

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a UNESCO (1979), a definição de aridez baseia-se na metodologia desenvolvida por Thornthwaite (1941) com posterior ajuste de Penman (1953), para caracterizar zonas bioclimáticas. Zonas semiáridas são aquelas em que a razão entre a pluviosidade (P) e a evapotranspiração (ETP) situa-se entre 0,20 e 0,50. As médias de precipitação no semiárido variam de 300 a 800 mm ano⁻¹ e as médias de evapotranspiração potencial variam de 1500 a 2000 mm ano⁻¹, sendo o balanço hidrológico da região distribuído desta forma: (a) 70% da precipitação sendo evaporada; (b) 20% evapo-transpirada, principalmente pela vegetação da caatinga; (c) 10% escoada superficialmente.

O semiárido brasileiro é um dos mais úmidos do planeta, com média anual de 700 mm ano⁻¹, enquanto na maioria das zonas áridas de outros países a média anual é de 80 a 250 mm ano⁻¹ (MELO FILHO & SOUZA, 2006). O bioma predominante no semiárido brasileiro é a Caatinga, único e exclusivamente brasileiro, a Caatinga é o principal ecossistema existente na região Nordeste, estendendo-se pelo domínio de climas semiáridos, numa área de 73.683.649 ha, equivalente a 6,83% do território nacional e ocupando os estados da BA, CE, PI, PE, RN, PB, SE, AL além dos estados de MA e MG que se encontram fora da região nordeste. A ocorrência de secas estacionais e periódicas estabelece regimes intermitentes aos rios e deixa a vegetação sem folhas.

No entanto é frequente a remoção da cobertura vegetal e implementação de uma agricultura sem controle da erosão, que promove escoamento superficial na época chuvosa, transportando sedimentos e nutrientes adsorvidos que contribuem para o assoreamento e eutrofização dos rios e represas situadas a jusante. Entretanto, a escassez de água no período seco associado ao processo natural da evapotranspiração, conduz a uma baixa capacidade de diluição, podendo resultar numa deterioração extrema da qualidade da água e eliminação das comunidades biológicas naturais (GASITH & RESH, 1999).

Em relação aos principais problemas relacionados com a qualidade da água no semiárido brasileiro, destacam-se: a) a salinização dos corpos hídricos, com especial incidência em alguns açudes; b) elevados níveis de turbidez e assoreamento em importantes bacias; c) o processo crescente de poluição dos recursos hídricos, causado principalmente por esgotos domésticos, industriais, matadouros, lixo, fertilizantes químicos e agrotóxicos (VIEIRA & GONDIM FILHO, 2006).

Dentro desta conjectura, o presente estudo tem o objetivo de investigar a qualidade da água das cisternas instaladas nas comunidades rurais de Serra Grande, Assentamento Poço do Serrote, Assentamento Poldrinho e Assentamento Catolé, situadas na região do sertão do Pajeú, divisa das cidades de Serra Talhada e Floresta e próximas ao aquífero de Lagartixa, região do semiárido do estado de Pernambuco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SEMIÁRIDO

De acordo com a UNESCO (1979), a definição de aridez baseia-se na metodologia desenvolvida por Thornthwaite (1941) com posterior ajuste de Penman (1953), para caracterizar zonas bioclimáticas. Zonas semiáridas são aquelas em que:

$$0,20 < \frac{\text{Pluviosidade}}{\text{Evapotranspiração}} < 0,50$$

Onde:

Pluviosidade é a quantidade de chuva que cai em determinada região;

E a evapotranspiração compreende um dos principais componentes do processo de troca de energia entre a superfície e a atmosfera, tendo sido bastante estudada devido a sua influência no ciclo de água e de nutrientes dos ecossistemas agrícolas e na produtividade primária das culturas (SURKEY & VERMA, 2008). De forma simplificada, a evapotranspiração é a perda de água para a atmosfera por evaporação, da água do solo e da vegetação, e por transpiração das plantas.

As médias de precipitação no semiárido variam de 300 a 800 mm ano⁻¹ e as médias de evapotranspiração potencial variam de 1500 a 2000 mm ano⁻¹, sendo o balanço hidrológico da região distribuído desta forma:

- (a) 70% da precipitação sendo evaporada;
- (b) 20% evapo-transpirada, principalmente pela vegetação da caatinga;
- (c) 10% escoada superficialmente.

Tendo a caatinga como bioma predominante, o semiárido brasileiro (Figura1) é um dos mais úmidos do planeta, com média anual de 700 mm ano⁻¹, enquanto na maioria das zonas áridas de outros países a média anual é de 80 a 250 mm ano⁻¹ (MELO FILHO & SOUZA, 2006).

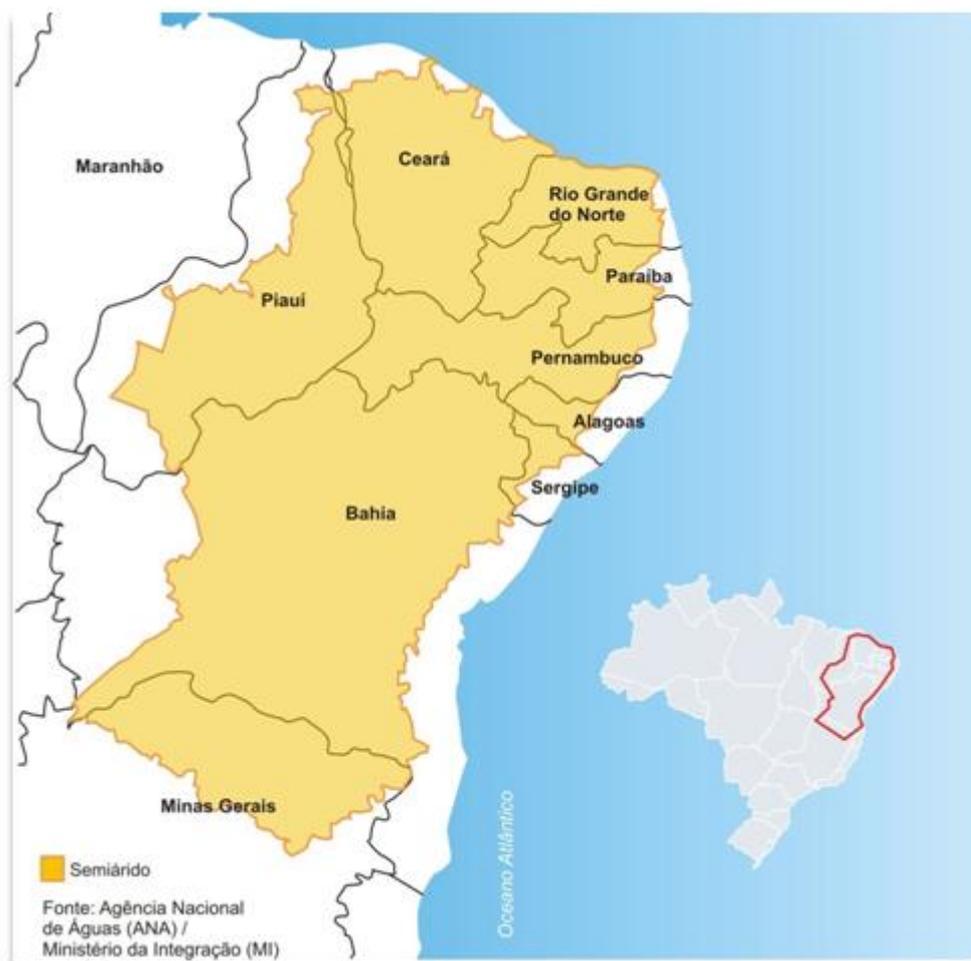


Figura 1: Delimitação do Semiárido Brasileiro

Fonte: ASA

2.2 O BIOMA CAATINGA

Segundo o IBGE (2004), bioma é a denominação de um conjunto de vida, vegetal e animal, constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, o que resulta em uma diversidade biológica própria. No Brasil existem seis biomas continentais: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal e Caatinga (Tabela 1).

Tabela 1: Distribuição da área em km² de cada bioma no território nacional

Biomias Continentais Brasileiros	Área aproximada (km ²)	Área / total do Brasil
Amazônia	4.196.943	49,3%
Cerrado	2.036.448	23,9%
Mata Atlântica	1.110.182	13,0%
Caatinga	844.453	9,9%
Pampa	176.496	2,1%
Pantanal	150.355	1,8%
Área total do Brasil	8.514.877	100,0%

Fonte: IBGE (2004)

O termo caatinga é originário do tupi-guarani e significa mata branca, o bioma, único exclusivamente brasileiro, é o principal ecossistema existente na região Nordeste, estendendo-se pelo domínio de climas semiáridos, numa área de 84.445.300 ha, equivalente a 9,92% do território nacional e ocupando todo o estado do Ceará, mais da metade do Piauí (63%) e da Bahia (54%), quase todo o estado do Rio Grande do Norte (95%), da Paraíba (92%) e de Pernambuco (83%), quase metade de Sergipe (49%) e Alagoas (48%), além do norte de Minas Gerais (2%) (Figura 2).

**Figura 2:** Biomas continentais brasileiros

Fonte: IBGE (2004)

A ocorrência de secas estacionais e periódicas estabelece regimes intermitentes aos rios e deixa a vegetação sem folhas. No entanto é frequente a remoção da cobertura vegetal e implementação de uma agricultura sem controle da erosão, que promove escoamento superficial na época chuvosa, transportando sedimentos e nutrientes adsorvidos que contribuem para:

- (a) o assoreamento,
- (b) eutrofização dos rios e represas situadas a jusante.

Em que, o assoreamento é um processo que consiste no acúmulo de partículas sólidas, sedimentos, em meio aquoso. O assoreamento ocorre quando a força do agente transportador natural é sobrepujada à força da gravidade ou quando a super saturação das águas permite a decomposição. A intensificação deste processo está relacionada diretamente com o aumento da erosão pluvial e com a ação do homem, por práticas agrícolas inadequadas e infraestrutura precária de urbanização, assim como a modificação da velocidade de cursos d'água por barramentos e desvios, por exemplo (INFANTI & FORNASARI, 1998).

E a eutofização, ou eutroficação, é o processo de enriquecimento por nutrientes de um corpo d'água, seja por processo natural ou induzido pelo homem e é um dos problemas mais importantes concernentes à qualidade da água (LAMPARELLI, 2004). E a justificativa se encontra nos fatores que influenciam a eutrofização, sendo listados as concentrações de fósforo e nitrogênio, a velocidade da água, a vazão, a turbidez, a profundidade do curso da água, a temperatura, entre outros. Com a eutrofização a probabilidade da ocorrência de florações de algas, algumas altamente tóxicas, as quais podem alterar negativamente a qualidade da água.

Entretanto, a escassez de água no período seco associado ao processo natural da evapotranspiração, conduz a uma baixa capacidade de diluição, podendo resultar numa deterioração extrema da qualidade da água e eliminação das comunidades biológicas naturais (GASITH & RESH, 1999).

Em relação aos principais problemas relacionados com a qualidade da água no semiárido brasileiro, destacam-se:

- (a) a salinização dos corpos hídricos com especial incidência em alguns açudes;
- (b) elevados níveis de turbidez e assoreamento em importantes bacias;

(c) o processo crescente de poluição dos recursos hídricos, causado principalmente por esgotos domésticos, industriais, matadouros, lixo, fertilizantes químicos e agrotóxicos (VIEIRA & GONDIM FILHO, 2006).

2.3 BACIAS E MICROBACIAS RURAIS NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO

Bacia hidrográfica é uma porção geográfica delimitada por divisores de água, englobando toda a área de drenagem de um curso d'água. É uma unidade geográfica natural e seus limites foram estabelecidos pelo escoamento das águas sobre a superfície, ao longo do tempo. É, portanto, o resultado da interação da água com outros recursos naturais (SANTANA, 2003).

Cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, os termos bacia e sub-bacia hidrográfica são relativos e relacionam-se a ordens hierárquicas dentro de uma determinada malha hídrica (FERNANDES & SILVA, 1994).

As atividades do agricultor não são isoladas, ele trabalha com sistemas de produção e sua propriedade está inserida num contexto mais amplo, que são as bacias hidrográficas (SANTANA, 2003). O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo) e do tipo da cobertura vegetal existente (LIMA, 1976).

A compreensão dos efeitos qualitativos do uso do solo é um mecanismo importante na estratégia para implementação de práticas de conservação na escala de bacia, por parte dos agricultores, porque são eles que definem a organização espacial e temporal de sua propriedade. Quando ocorre o planejamento adequado de uma propriedade agrícola, utilizando técnicas adequadas de ocupação e manejo do solo, de acordo com sua aptidão agrícola, a produção de sedimentos pode se aproximar aos valores de áreas preservadas (MORGAN, 2005). Por conseguinte, os solos das bacias hidrográficas, a partir de uma perspectiva que considera também aspectos qualitativos do uso, manejo e ocupação do solo, nos fornecem informações

importantes que nos auxiliam na gestão ambiental de monitoramento hidrológico em toda a bacia especialmente dos processos referentes à transferência de sedimentos da bacia vertente para a calha fluvial, além dos processos monitorados no exutório (MINELLA et al., 2008).

A necessidade de estudos sobre o comportamento da dinâmica da água no solo da bacia tem se tornado cada vez mais importante no que diz respeito ao comportamento hidrológico, pois, as mesmas funcionam como reservatório natural de águas para as plantas e atuam também como agente regulador do escoamento superficial e sub-superficial (COELHO NETTO, 1994).

No semiárido brasileiro, as bacias e microbacias rurais são exploradas apenas nas épocas das chuvas (agricultura de sequeiro), com pouco uso de tecnologia, e com as chamadas culturas de subsistência: feijão macassar, milho, sorgo, mandioca entre outros, de baixíssimo valor agregado, aliadas à pecuária extensiva. Como em outras regiões semiáridas do mundo, o trópico semiárido brasileiro apresenta em geral solos rasos e pedregosos, com baixa capacidade de retenção de água, baixo teor de matéria orgânica e alta susceptibilidade à erosão, fato explicado pela predominância de terrenos de rochas cristalinas. No estado de Pernambuco, esse tipo geológico representa 85% do total, contra 15% para as "bacias sedimentares" que tem como característica acumular maiores volumes de água (GOMES, 1990).

A agricultura de sequeiro é o cultivo sem irrigação em regiões onde a precipitação anual é inferior a 500 mm, e que requerem técnicas de cultivo específicas que permitam um uso eficaz e eficiente da limitada umidade do solo (QUARANTA, 2000). Existem nestas áreas poucas opções de diversificação de cultivos compatíveis com as restrições de solo, clima e com os sistemas produtivos adotados pelos agricultores (SILVA, 2000).

O desmatamento indiscriminado para a formação de novas lavouras, aliado à retirada de madeira para benfeitorias, lenha e carvão, e às queimadas sucessivas com manejo inadequado do solo têm contribuído, juntamente com as secas prolongadas, para comprometer o frágil equilíbrio do meio ambiente da região. Assim, a destruição da caatinga na região semiárida do Nordeste brasileiro tem contribuído para acelerar a erosão do solo trazendo, como consequências, o seu empobrecimento e o assoreamento de mananciais (ALBUQUERQUE et al., 2001).

Além disso, nessa agricultura dependente de chuva, a falta de água para o consumo humano e para pequenas criações constitui a principal causa da baixa qualidade de vida do meio rural das zonas áridas e semiáridas, que correspondem a 55% das terras em todo o mundo e 13% do território nacional brasileiro (SILVA et al., 1993). No Nordeste, a produtividade agrícola é limitada pela irregularidade na distribuição espaço – temporal da chuva, considerada mais grave do que sua escassez propriamente dita (SILVA & RÊGO NETO, 1992).

2.4 CISTERNAS

Uma alternativa tecnológica para aumentar a disponibilidade de água na zona semiárida do Nordeste do Brasil é a cisterna, que pode ser uma alternativa para incrementar a produtividade agrícola, em pequenas e médias propriedades rurais, principalmente nas que não dispõem de água para uso em irrigação convencional (BRITO et al., 1999; SILVA et al., 2001). O desenvolvimento da agricultura sustentável é, hoje, mundialmente necessário para que se possa atender às necessidades alimentícias da população que cresce continuamente. Por este motivo, manutenções da fertilidade e umidade do solo são fatores importantes para uma produção agrícola sustentável (NEEDHAM, 1984).

Essa obra caracteriza-se por um barramento artificial do fluxo de água, construído comumente encaixado no leito de riachos, com o fim de manter elevado o nível freático, aumentar o armazenamento de água e estabelecer condições favoráveis de captação a montante. Tais características evitam que os recursos hídricos do aquífero aluvial continuem a escoar até que se esgotem com o fim do período de chuvas, fato comumente verificado nas regiões semiáridas (ABREU, 2001).

De acordo com Ferreira (2002), a água do local não deve possuir taxas elevadas de salinidade, pois poderá aumentar a concentração dos sais na água de cisternas, inviabilizando o seu aproveitamento.

Para Ferreira (2008) é importante que, ao mesmo tempo da construção das cisternas seja construído quando possível, um poço amazonas, que terá como função principal permitir a retirada d'água acumulada. O bombeamento permanente d'água vai servir para evitar a sua salinização por meio da renovação, principalmente na época chuvosa.

De acordo com Silva et al. (2001) e Brito et al. (1999) as barragens apresentam os seguintes componentes: a) área de captação (Ac): representada por uma bacia hidrográfica, formada pelos divisores de água: topográfico e freático; b) área de plantio (Ap): correspondente à própria bacia hidráulica da barragem, que constantemente vai recebendo depósitos aluviais, criando camadas de solos férteis propícios à exploração agrícola; c) Parede da barragem (Pa): também denominada de impermeável, com a função de interceptar o fluxo de água subterrâneo e superficial, dando origem e/ou elevando o lençol freático. A parede da barragem é o seu principal componente, podendo ser construída por meio da utilização de diversos materiais desde a rocha ou camada impermeável até a superfície do solo ou acima desta.

2.5 CISTERNAS DE PLACAS

Cisternas de placas são reservatórios de captação da água da chuva, cuja finalidade é armazenar água da chuva para o consumo doméstico. É amplamente utilizada nas famílias rurais residentes na região semiárida durante o período de estiagem ou quando não há disponibilidade de água para o consumo residencial.

O nome cisternas de placas se dá devido ao material utilizado na construção, placas de cimento pré-moldadas, sua forma é cilíndrica e coberta com tampa, também feitas de placas de cimento pré-moldado, para evitar a poluição e a evaporação da água armazenada (Figura 3). Cerca de dois terços da sua altura é enterrada a fim de garantir a segurança da estrutura e a captação d'água é feita através de calhas instaladas no telhado das casas. Em média as cisternas de placas têm capacidade de 16 m³, quantidade suficiente

para suprir as necessidades domésticas de uma família com quatro pessoas no período de cinco meses se considerarmos um consumo diário de 25 litros d'água por pessoa.



Figura 3: Cisternas de placas instaladas em residência na comunidade de Serra Grande, em Serra Talhada – PE.

Segundo Gnadlinger (2008), comparando com sistemas de captação de água as principais vantagens da cisterna de placas são o baixo custo e o curto período de construção devido à simplicidade da estrutura, acessibilidade dos moldes e materiais nas comunidades rurais, além da redução da dependência de carros-pipa e de tempo na busca d'água já que as cisternas são instaladas próximas da residência. Já a desvantagem principal é o reparo de vazamentos que na maioria das vezes é impossível.

Para boa conservação da cisterna é recomendado o descarte da primeira água da chuva também conhecida como “água de lavagem do telhado”. Também é recomendado evitar que a cisterna fique vazia por muito tempo para minimizar os riscos de rachaduras, a limpeza anual tanto interna quanto externa para manter a qualidade da água (ANNECCHINNI, 2005).

2.6 QUALIDADE DA ÁGUA

A água das cisternas apresenta-se como fonte preferencial de abastecimento de água para o ser humano. Com o crescimento da população e a procura por água potável, as águas das cisternas são cada vez mais exploradas (VERPLANCK et al., 2008), estima-se que aproximadamente um terço da população mundial utiliza água de cisternas para fins de consumo (UNEP, 1999). Para a maioria de pequenas comunidades rurais, a água das cisternas é ainda a única fonte de água potável (SHARMA, 2011).

No entanto, a sub-superfície geológica de uma determinada área tem grande influência sobre o ambiente e a qualidade das águas; a água do lençol freático apresenta um maior conteúdo de sais solúveis do que a água de superfície, por causa da circulação lenta e de um longo período de contato com as rochas ricas em mineral e sedimentos. A qualidade das águas varia devido a mudanças na composição química dos sedimentos subjacentes dos aquíferos (JAMEEL, 2002).

O monitoramento da qualidade da água é uma das ferramentas para o desenvolvimento sustentável no fornecimento de informações importantes para a gestão da água (JALALI, 2009). Existe uma conexão bem estabelecida entre a poluição agrícola e as águas das cisternas (HAMILTON & HELSEL, 1995) nas avaliações de gestão dos recursos hídricos subterrâneos exigindo uma compreensão hidrogeológica e hidroquímica das propriedades do aquífero (UMAR et al., 2001). O desenvolvimento de águas das cisternas têm desempenhado um papel fundamental para o crescimento da agricultura e alimentação em muitas partes do mundo. Em regiões áridas as águas das cisternas desempenham um papel crítico na manutenção da economia pecuária pela subsistência rural que, em si, é a base da sobrevivência humana e torna possível a fixação humana no apoio como meio de subsistência das pessoas (GIORDANO, 2006).

De acordo com Krause & Rodrigues (1998), a agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água, na maioria das vezes se dispõe unicamente de água de uma só qualidade. A qualidade da água e/ou sua adaptabilidade ao consumo determina-se, também, pela

gravidade dos problemas que podem surgir depois do uso em longo prazo. Os problemas resultantes variam em tipo e intensidade e dependem do solo e do clima, e da habilidade e conhecimento no manejo do sistema água-solo-planta por parte do usuário (AYERS & WESTCOT, 1991).

O uso da água de certa qualidade está determinado pelas condições que controlam a acumulação dos sais e o efeito no rendimento agrícola das culturas. Por outro lado, os problemas de solo mais comuns, segundo os quais se avaliam os efeitos da qualidade da água relacionados à salinidade, são a velocidade de infiltração da água no solo e a toxicidade, além de outros (AYERS & WESTCOT, 1999).

Segundo Tavares (2009), o estudo da qualidade da água armazenada em cisternas destinadas ao consumo humano é dificultado pela ausência de uma legislação específica para esse tipo de água. Uma alternativa encontrada para ladear essa dificuldade é fazendo uso de padrões de referência como a Portaria Nº518/2004 do Ministério da Saúde para água potável de sistemas alternativos de abastecimento e a Resolução para águas de mananciais destinadas ao abastecimento humano CONAMA Nº 357/2005.

A cor é um parâmetro físico exigido pela portaria Nº 518/2004 - MS devido à sua aparência já que alterações de cor são perceptíveis a olho nu e provavelmente indicam a presença de algum material suspenso ou dissolvido na água. O limite aceito pelo Ministério da Saúde é de 15 unidades Hazen L⁻¹.

O potencial hidrogeniônico (pH) expressa a condição do meio, ácido ou alcalino. O Ministério da Saúde considera aceitável valores de pH entre 6 e 9,5 em águas para fins de consumo humano. Valores de pH baixo alteram o gosto da água, a palatabilidade e aumenta a corrosão, já em águas com pH elevado além de comprometer a palatabilidade aumentam a formação de crustações e diminuem a eficiência da desinfecção por cloração (SPERLING, 2005).

Segundo Sperling (2005), a turbidez pode ser definida de forma simplificada como a transparência da água, sendo função do teor de material particulado suspenso existente. Elevado teor de turbidez indica alto conteúdo orgânico e inorgânico suspensos, que pode servir de abrigo para microorganismos diminuindo a eficiência do tratamento químico ou físico da água.

A condutividade elétrica (C.E.) é a capacidade da água de transmitir corrente elétrica, a condutividade cresce à medida que a concentração de sais dissolvidos aumenta. A concentração de sólidos dissolvidos totais (S.D.T.) é um grande problema, pois em excesso de S.D.T. o consumo da água é impossibilitado pois seu paladar é desagradável, a água apresenta problemas de corrosão de tubulações e o seu consumo pode causar o acúmulo de sais na corrente sanguínea acarretando a possível formação de cálculos renais. Segundo a Resolução Nº 357/2005 CONAMA, é aceita na água destinada ao consumo humano a quantidade máxima de 500mg/L de sólidos dissolvidos totais.

Os coliformes totais incluem todas as bactérias na forma de bastonetes gram-negativos, não esporogênicos, aeróbicos ou anaeróbicos facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 a 48 horas a 35°C. Esta definição é a mesma para o grupo dos coliformes fecais mas, restringindo-se aos membros capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 horas a 45,5°C (HITCHINS et al., 1996). O índice de coliformes totais avalia as condições higiênicas e o de coliformes fecais é utilizado como indicador apenas de contaminação fecal, avaliando assim as condições higiênico-sanitárias deficientes, considerando que a população deste grupo é constituída de uma alta proporção de *Escherichia coli* (SIQUEIRA, 1995).

2.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE

O controle estatístico de qualidade teve seu início com o físico, engenheiro e estatístico Walter Andrew Shewhart que, no ano de 1924, apresentou o primeiro gráfico de controle de qualidade, empregado para monitorar características da qualidade de uma empresa de telefonia. Shewhart começou a fazer tanto sucesso que começou a desenvolver numa série de estudos outras ferramentas e ganhou o título de “pai do controle estatístico de processo” (WERKEMA, 1995).

No início, o controle estatístico de qualidade despertou o interesse apenas dos profissionais do setor industrial, especialmente os engenheiros e

profissionais de produção e manutenção industrial. Contudo, houve uma rápida difusão das ferramentas do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), que se deve à facilidade de aplicação.

Hoje setores como saúde, economia, administração, meio ambiente e vários outros passaram a adotar as ferramentas do Controle Estatístico de Qualidade tanto para monitorar quanto para avaliar seus processos.

2.8 GRÁFICOS DE CONTROLE

Os gráficos de controle são ferramentas imprescindíveis para o monitoramento do processo. A partir da visualização dos gráficos é geralmente fácil identificar falhas e tendências ao longo do processo.

Segundo Henning et al. (2014), um gráfico de controle é composto por três linhas: uma central, uma superior e uma inferior. A linha central (LC) representa o valor médio da característica da qualidade, corresponde à situação do processo sob controle e um par de limites de controle. Um desses limites localiza-se abaixo da linha central denominado limite inferior de controle (LIC) e o outro, situado acima da linha central, denominado limite superior de controle (LSC). Ambos os limites ficam a uma distância de três desvios-padrão da média ou alvo do processo ($\mu \pm 3\sigma$) originalmente sugerido por Shewhart (1931).

O objetivo dos gráficos de controle, Shewhart, CUSUM e EWMA, é monitorar a variabilidade existente nos processos, distinguindo causas comuns (causadoras de pequenas variações aleatórias e, via de regra, inofensivas ao processo) de causas especiais. Estas devem ser identificadas e corrigidas para que o processo permaneça dentro de um padrão esperado de desempenho (MICHEL ; FOGLIATTO, 2002).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O projeto foi desenvolvido nas comunidades de Serra Grande, Assentamento Poço do Serrote, Assentamento Poldrinho e Assentamento Catolé, região do alto Sertão do Pajeú, ambientes semiáridos do Estado de Pernambuco (Figura 4). A região próxima a serra da Lagartixa, pertencente ao limite municipal entre as cidades de Serra Talhada e Floresta, coordenadas geográficas de 38°23'55.51" longitude Oeste e 8°07'06.72" latitude Sul.

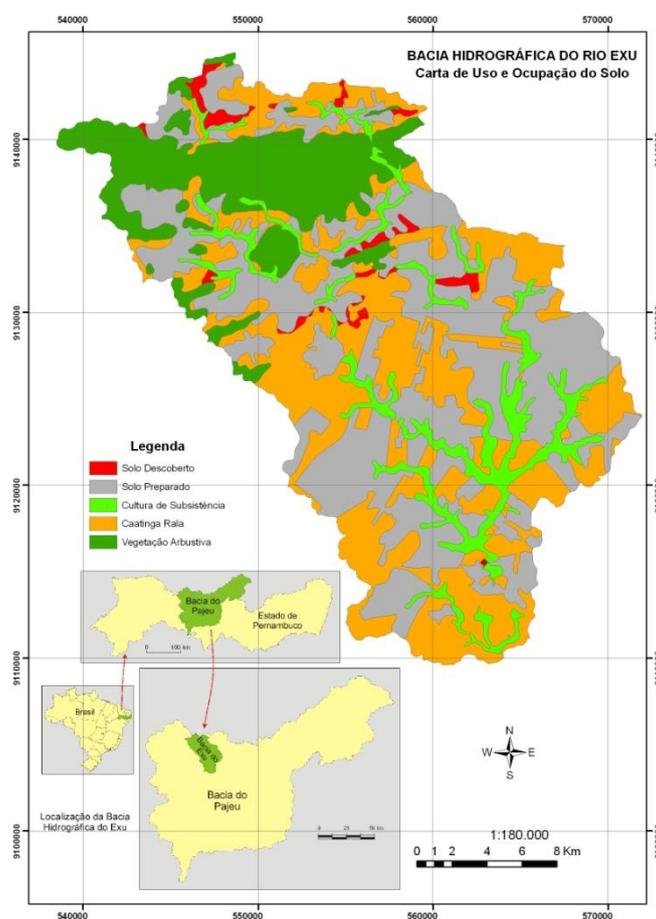


Figura 4: Mapa de uso e ocupação do solo do riacho Exu em Serra Talhada – Sertão do Pajeú Pernambucano, onde em suas margens se localizam as comunidades Serra Grande, Assentamento Poço do Serrote, Assentamento Poldrinho e Assentamento Catolé. Fonte: SANTOS (2013).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Bwh, denominado semiárido, quente e seco, com chuvas de verão-outono, com pluviosidade média anual para o período de 1912 a 1991 de 647 mm ano⁻¹ e temperatura anual superior a 25°C (SUDENE, 1997).

3.2 COLETA DAS AMOSTRAS

Para a análise da qualidade da água, foram coletadas amostras semanais no período de dezembro de 2013 a março de 2014, período considerado chuvoso na região semiárida do estado de Pernambuco. A partir da retirada da água em potes de plástico de 500 ml previamente lavados com solução de limpeza de ácido clorídrico a 0,1 mol L⁻¹ e água destilada. Os frascos foram abertos no local de coleta, preenchidos com a água, tampados, enumerados e armazenados. Esse processo foi realizado em cada uma das seis cisternas de placas que armazenam apenas água da chuva, localizadas nas comunidades rurais de Serra Grande, Assentamento Poço do Serrote, Assentamento Poldrinho e Assentamento Catolé.

As cisternas foram enumeradas de acordo com a ordem da primeira coleta, realizada na primeira semana do mês de dezembro de 2013. As localizações das cisternas foram identificadas através das coordenadas geográficas com o auxílio de um aparelho GPS da marca Garmin, Modelo GPSmap 62sc (Figura 5), as coordenadas foram verificadas com o auxílio do software Arcview Gis v.9.3 e representadas graficamente utilizando o software Surfer versão 8.



Figura 5: GPSmap 62sc portátil Garmin.

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para análise de qualidade no laboratório de análises químicas no IFPE (Instituto Federal de Pernambuco), *Campus* localizado na cidade de Vitória de Santo Antão – PE. Essa análise resultou no banco de dados para estudo com as seguintes variáveis:

- a) Cor aparente;
- b) Turbidez;
- c) Condutividade elétrica (C.E.);
- d) Sólidos dissolvidos totais (S.D.T.);
- e) Potencial hidrogeniônico (pH);
- f) Coliformes totais;
- g) Coliformes fecais.

3.3 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA

Na análise física foram determinados a cor aparente, com um colorímetro de bancada, a turbidez através de um turbidímetro digital da marca HACH modelo 2100P, o pH, com o instrumento pHmetro de bancada TECNAL modelo TEC-3MP, os Sólidos Dissolvidos Totais, seguindo o método Gravimétrico de secagem à 180° e a condutividade elétrica com um condutivímetro de bancada de marca Digimed modelo DM-31. Na análise

microbiológica foram identificados coliformes totais e coliformes fecais através da técnica de Tubos Múltiplos, de acordo com o Standard Methods (APHA, 1995).

As variáveis físicas e microbiológicas e suas respectivas unidades de medida estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2: Unidades dos parâmetros de qualidade da água

Parâmetro	Unidade
Cor	uH ^(*)
Turbidez	UT ^(**)
C.E.	μS/cm
S.D.T.	mg/L
pH	-
Coliformes totais	NMP/100 mL
Coliformes fecais	NMP/100 mL

(*) Unidade Hazen (MG Pt – Col/L)

(**) Unidade de Turbidez

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva das variáveis com o objetivo de conhecer as variáveis. As medidas da análise descritiva utilizadas foram os valores máximo e mínimo, a média, mediana, desvio-padrão, assimetria, curtose e coeficiente de variação.

Para a realização de testes paramétricos é necessária a verificação da normalidade das variáveis. Segundo Scudino (2008), nos testes de normalidade aplicados no estudo: Kolmogorov-Smirnov, Anderson Darling e Shapiro-Wilk são testadas as seguintes hipóteses:

H_0 : Os dados seguem uma distribuição Normal;

H_1 : Os dados não seguem uma distribuição Normal.

No teste de Kolmogorov-Smirnov, a estatística do teste é dada por:

$$D = \text{Max } |F_0(X_i) - S_n(X_i)|,$$

Em que:

$i = 1, 2, \dots, N$;

$F_0(X)$ é a proporção dos casos esperados com escores menores ou iguais a X ;

$$S_n(X_i) = \frac{F_i}{N}.$$

No teste de Anderson-Darling, a estatística do teste é dada por:

$$A^2 = -N - S,$$

Em que:

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)}{N} [\log F(Y_i) + \log(1 - F(Y_{N+1-i}))]$$

Nesse caso, F é a distribuição acumulada dos dados.

Já no teste de Shapiro-Wilk, a estatística do teste é dada por:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Em que:

A amostra é ordenada de forma que $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$ e a_i são constantes geradas das médias, variâncias e covariâncias das estatísticas de ordem de uma amostra aleatória de distribuição Normal.

A autocorrelação das variáveis foi aplicada devido à pressuposição de que, nos gráficos de controle as observações do processo sejam independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.). Entretanto, esta hipótese é costumeiramente violada, pois a maioria dos processos são autocorrelacionados. Esta violação é relevante, já que a autocorrelação além de ser considerada um fenômeno natural em dados de processos é apontada como um problema pois gera alarmes falsos nos gráficos de controle (CLARO et al., 2007).

Ainda de acordo com Claro et al. (2007), caso a autocorrelação seja decorrente de uma causa especial, esta depois de identificada deve ser eliminada. Porém se for parte ligada à variabilidade não pode ser removida para evitar estimativas erradas dos parâmetros.

Segundo Follador (2010), a autocorrelação é definida como a medida de dependência de uma observação num instante t , em relação aquela tomada num instante $(t - k)$, em que k é a defasagem considerada, ou seja, a distância entre duas observações.

De acordo com Montgomery (2004), a verificação da autocorrelação se dá por meio da função de autocorrelação amostral que, por sua vez pode ser estimada pela seguinte equação:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}$$

Em que:

\bar{x} é a média amostral e

$k = 0, 1, 2, 3, \dots$

No gráfico que representa a autocorrelação, as linhas tracejadas representam os limites de dois desvios-padrão que, quando excedidos significa que os dados apresentam autocorrelação (MONTGOMERY, 2004).

3.5 CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE

Foram implementados dentre os gráficos de controle, o gráfico de Shewhart ou gráfico individual, o gráfico de CUSUM e o gráfico da Média Móvel Ponderada Exponencial (EWMA).

Segundo Montgomery (2004), o gráfico de Shewhart apresenta convenções descritas como LSC e LIC, limites superior e inferior de controle, respectivamente. Os limites são determinados estatisticamente a partir da média e as amplitudes da amostra são função da variabilidade do processo dadas da seguinte forma:

$$LSC = \mu + \frac{3\overline{AM}}{d_2}$$

$$LC = \mu$$

$$LIC = \mu - \frac{3\overline{AM}}{d_2}$$

Em que:

LSC é o limite superior de controle;

LC é a linha média;

LIC é o limite inferior de controle;

μ é a média do processo;

\overline{AM} é a amplitude média da amostra;

d_2 é um fator de construção de gráficos em que para alguns tamanhos amostrais encontram-se tabulados seus valores em Samohyl (2012).

Por sua vez, a amplitude de uma amostra é calculada da seguinte forma:

$$A = |x_i - x_{i-1}|$$

Vale salientar que não é calculada a amplitude para a primeira amostra.

O gráfico de Shewhart permite uma análise simples com uma probabilidade baixa da ocorrência de falsos alarmes. Porém, esse gráfico vai perdendo a eficácia conforme o processo vai ganhando robustez (Follador et al., 2012).

De acordo com Motgomery (2004), nos casos em que os gráficos de Shewhart não são mais capazes de identificar alarmes no processo, é recomendada a utilização dos gráficos de CUSUM e EWMA.

O gráfico de controle de soma acumulada (CUSUM) é utilizado para monitorar processos expostos a pequenas perturbações. Nesse gráfico, à medida que os desvios da média em relação ao valor médio em controle são acumulados. Desse modo:

$$C_i = \sum_{j=1}^i (x_j - \mu_0)$$

Em que:

x_j é a j-ésima observação individual;

μ_0 é o valor médio do controle.

Ou seja, C_i é a soma acumulada de todos os desvios do valor nominal desde o primeiro período até o i-ésimo.

De acordo com Montgomery (2004), existem duas maneiras do CUSUM ser representado, o CUSUM tabular ou algoritmo e a forma máscara V do CUSUM. Por sua vez, a tabular é considerada a forma mais utilizada.

O gráfico da média móvel ponderada, (EWMA – *Exponentially weighted moving average*), consiste na média ponderada exponencialmente das observações de forma que consegue, assim como o gráfico de CUSUM, detectar pequenas alterações no processo.

No gráfico de controle EWMA, são registrados valores da estatística z_i , calculados da seguinte forma:

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1}$$

Em que:

z_i são os valores ponderados da média da observação i ;

λ é uma constante em que $0 < \lambda \leq 1$;

z_0 é o valor da média do processo.

O gráfico de EWMA é construído a partir da plotagem dos valores ponderados da média versus o número de amostras. A linha média e os limites superior e inferior do gráfico são dadas por:

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= \mu_0 + L_\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \\ \text{LC} &= \mu_0 \\ \text{LIC} &= \mu_0 - L_\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \end{aligned}$$

De acordo com Montgomery (2004), o valor usual de L é 3 e os valores de λ geralmente é contido no intervalo $0,05 \leq \lambda \leq 0,25$, sendo $\lambda = 2$ o valor mais empregado, inclusive no presente estudo, obtendo sucesso na análise.

3.6 ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO

Devido à simplicidade de obtenção e avaliação, os índices de capacidade representam uma ferramenta do controle estatístico da qualidade com ampla utilização. Assim como os gráficos de controle, a determinação do controle do processo depende de estimativas para a dispersão do processo já que eles são capazes de melhorar a sensibilidade dos índices. Sendo assim, a obtenção de estimadores para a dispersão do processo é de fundamental importância para se estudar os índices de capacidade do processo.

O estudo da capacidade do processo tem o objetivo de verificar se o processo consegue, ou não, atender as especificações.

Tomando a notação utilizada em Samohyl (2012). Temos:

O índice de capacidade do processo (C_p), foi projetado para dar uma medida indireta da habilidade do potencial do processo em satisfazer as especificações e é definido por:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Em que, LSE e LIE são os limites superior e inferior, respectivamente, σ é o desvio padrão do processo, estimados a partir de equações como por exemplo:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_n}$$

Em que, \bar{S} é o desvio padrão médio e c_n são valores tabulados para alguns tamanhos amostrais.

Desse modo, o estimador de C_p é dado por:

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

Segundo Montgomery (2004), o índice C_p pode ser definido como a razão da especificação do produto pela capacidade do processo. Ou ainda, ser redefinido para a razão da dispersão permitida do processo pela dispersão natural do processo.

A porcentagem da especificação utilizada é obtida a partir de:

$$P = \frac{1}{C_p} \times 100$$

Kotz e Johnson (1993) alertam que o índice C_p deve ser utilizado somente para processos sob controle estatístico e cujas observações sejam independentes e normalmente distribuídas. Caso contrário, estimativas incorretas da capacidade do processo serão produzidas.

O índice C_{pk} foi desenvolvido para suprir algumas lacunas deixadas pelo índice C_p , principalmente com relação ao fato de que o índice C_p mede a capacidade somente em termos da dispersão do processo e não leva o nível do processo em consideração. Já o índice C_{pk} relaciona a distância escalar entre a média do processo e o limite de especificação mais próximo. Sendo a definição do estimador de C_{pk} dada por:

$$\hat{C}_{pk} = \text{mínimo} \{ \hat{C}_{pu}; \hat{C}_{pl} \}$$

Em que \hat{C}_{pu} é a razão da dispersão superior permitida no processo pela dispersão superior natural do processo e \hat{C}_{pl} é dada pela razão da dispersão inferior permitida no processo pela dispersão inferior natural do processo.

E para o processo ser considerado capaz:

$$\hat{C}_{pk} \geq 1$$

Para a interpretação dos índices de capacidade do processo, temos que:

- a) Quando o índice C_p ou C_{pk} for menos ou igual a 1, a capacidade do processo é inadequada a especificação exigida;
- b) Quando a relação $1,00 \leq C_p \leq 1,33$ é satisfeita, a capacidade do processo está dentro da especificação exigida porém deve-se tentar diminuir a variabilidade do processo.
- c) E quando $C_p > 1,33$ a capacidade do processo é considerada adequada à especificação exigida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 GEORREFERENCIAMENTO DAS COMUNIDADES RURAIS

Foram analisadas águas de cisternas das comunidades de Serra Grande, Assentamento Poço do Serrote, Assentamento Poldrinho e Assentamento Catolé, estas foram georreferenciadas com o auxílio de GPS e representadas graficamente utilizando o software Surfer 8.0. As cisternas estão situadas na região do sertão Pernambucano, próximas das cidades de Serra Talhada e Floresta, com coordenadas geográficas de $38^{\circ}23'55.51''$ longitude Oeste e $8^{\circ}07'06.72''$ latitude Sul (Figura 6).

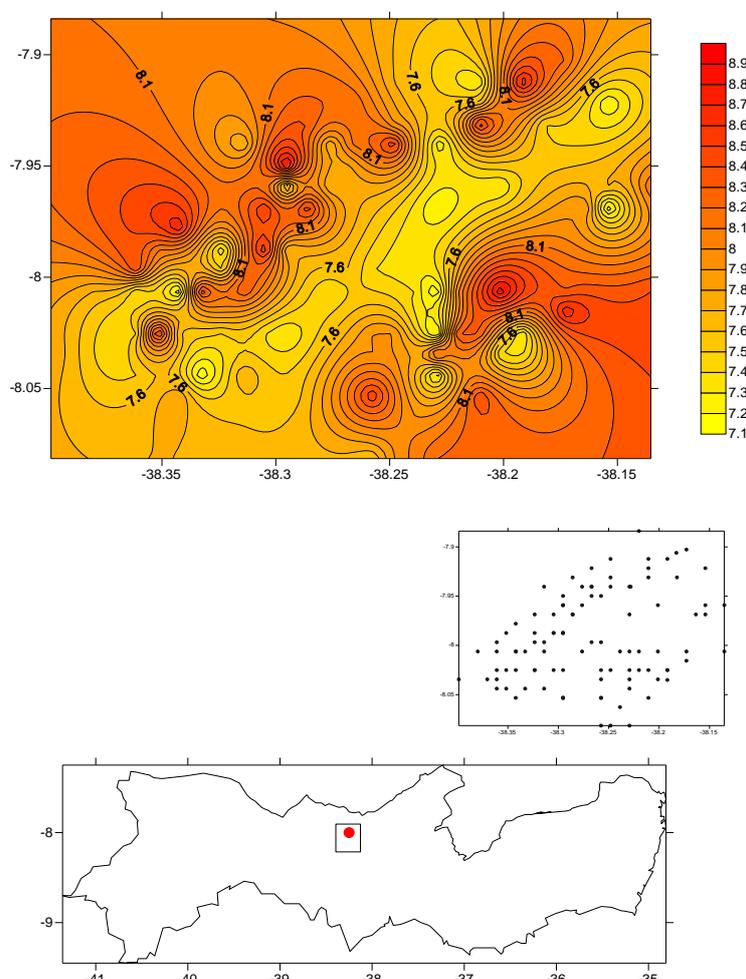


Figura 6: Representação geográfica das cisternas localizadas nas comunidades de Serra Grande e Assentamentos: Poço do Serrote, Poldrinho e Catolé.

Todas as coordenadas georreferenciadas foram verificadas no laboratório do departamento de Informática da Universidade Federal Rural de Pernambuco no Arcview Gis 9.3 (Figura 7).

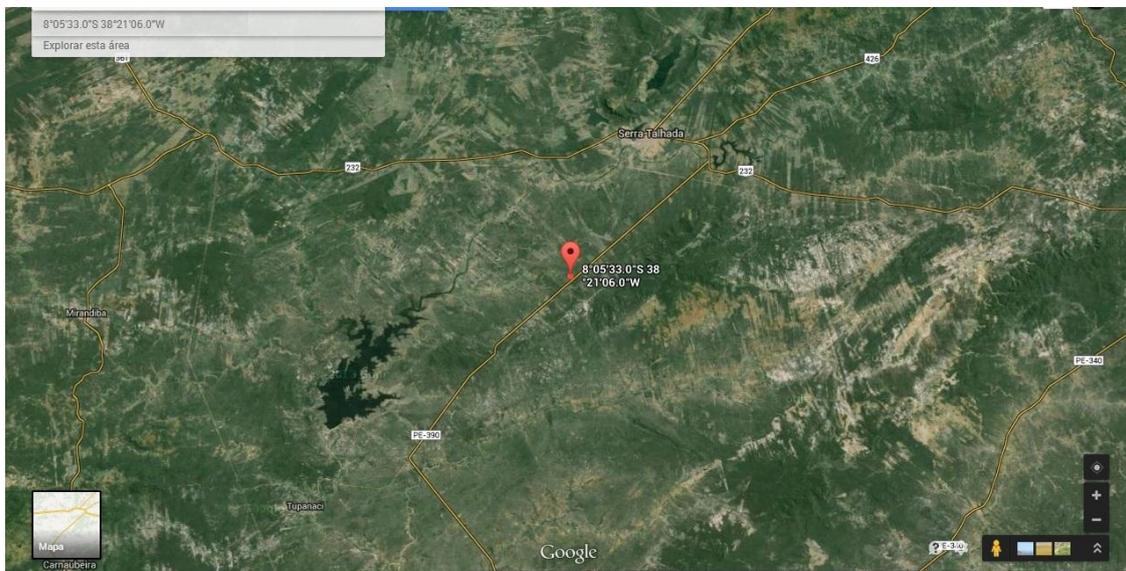


Figura 7: Imagem da localização de uma das cisternas localizada no Assentamento Catolé captada na verificação de uma coordenada geográfica.

Além de imagens via satélite, algumas residências puderam ser localizadas com uma ferramenta mais avançada do programa, que capta a imagem do local. Na Figura 8, a residência é facilmente identificada.

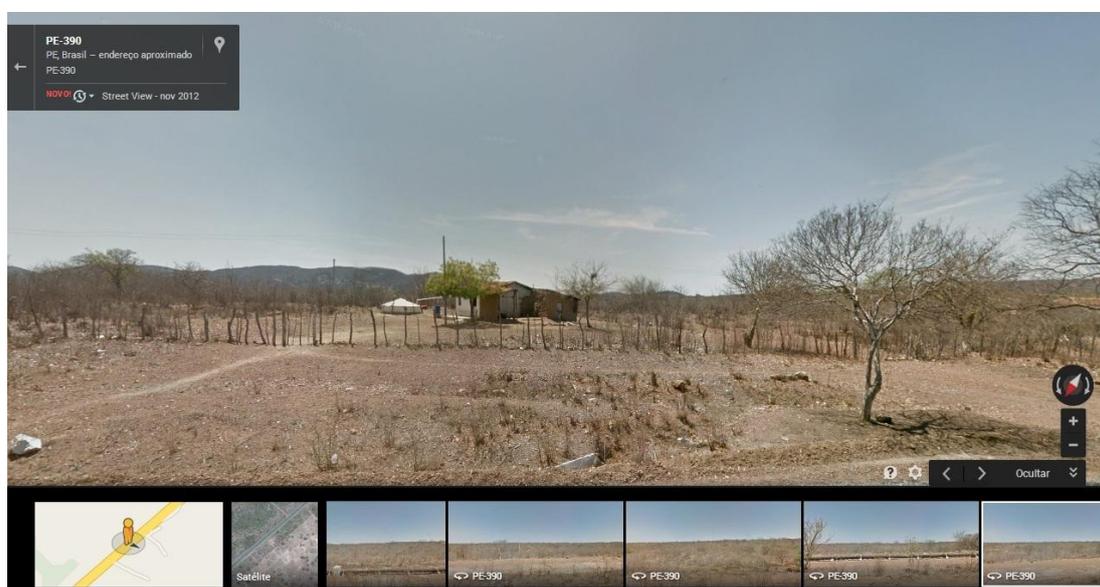


Figura 8: Imagem de uma residência e sua cisterna localizada em uma das comunidades captada na verificação de uma coordenada geográfica.

4.2 QUALIDADE DA ÁGUA

Inicialmente foram verificadas algumas estatísticas descritivas acerca das variáveis:

- a) Potencial hidrogeniônico (pH);
- b) Cor aparente;
- c) Turbidez;
- d) Sólidos dissolvidos totais (S.D.T.);
- e) Condutividade elétrica (C.E.).

Na Tabela 3 encontram-se as principais medidas descritivas das variáveis e as mesmas foram interpretadas de acordo com as especificidades de cada parâmetro.

Tabela 3: Estatística descritiva das variáveis da qualidade da água

Estatísticas	Variáveis				
	pH	cor	Turbidez	S.D.T	C.E.
Mínimo	7.35	2.76	1.01	55.96	87.44
Maximo	8.42	8.7	3.37	78.05	121.95
Média	7.83	5.75	1.88	70.12	109.57
Mediana	7.87	5.36	1.83	70.19	109.68
Variância	0.091	3.67	0.39	32.82	80.12
Desvio Padrão	0.30	1.91	0.62	5.72	8.95
Assimetria	-0.14	0.04	0.71	-0.67	-0.67
Curtose	-0.93	-1.38	-0.11	0.06	0.064
C.V. (%)	3.85	33.3	33.26	8.16	8.16

Em relação às variáveis físicas e químicas, a interpretação é feita com base no mínimo, no máximo e na média aritmética dos valores obtidos nas propriedades estudadas. O pH variou de 7,45 a 8,42, valores considerados aceitáveis de acordo com Ministério da Saúde (2004), que considera que a água destinada ao consumo humano o pH entre 6,0 e 9,5.

A cor aparente teve seu valor máximo de 8,7 uH, o que significa que se encontra dentro das especificações já que o valor máximo estipulado pelo Ministério da saúde é de 15 uH. Com relação à turbidez ocorre o mesmo, já que o valor máximo tolerado é de 5 UT e nas cisternas estudadas o valor máximo mensurado foi de 3,37 UT.

Os sólidos dissolvidos totais apresentaram uma média de 70,12, o que significa que todas as impurezas encontradas na água, exceto gases dissolvidos, contribuem para cargas de sólidos totais presentes nos corpos d'água (ESPÍNDOLA et al., 2000).

As variáveis pH, C.E. e S.D.T. apresentaram coeficiente de variação inferiores a 10%, o que indica uma baixa variabilidade dos dados em torno da média.

Para os coliformes totais e coliformes fecais a interpretação é baseada na ausência ou presença de microorganismos, dessa forma é necessário o estudo de cada amostra de forma individual. Os teores máximos de impurezas permitidos na água são estabelecidos em função dos seus usos, devendo ser comparados com os valores exigidos pelo Ministério da Saúde (Portaria nº 518/2004).

De acordo com a Tabela 4, em 15,0% das cisternas foi observado que a quantidade de coliformes totais se manteve inferior a 3,0 e em 7,0% das amostras foram encontrados valores superiores a 1100,00 valores que o instrumento usado na medição não consegue captar.

Tabela 4: Distribuição de frequência dos Coliformes Totais

Coliformes Totais	%
< 3,0	15,0%
8,8	21,0%
15	14,0%
23	12,0%
24	12,0%
42	1,0%
44	8,0%
95	10,0%
> 1100,0	7,0%
Total	100,0%

Na Figura 9 vale ressaltar que a frequência mais alta das cisternas (35,0%) possui coliformes fecais inferiores a 3,0 seguidos de 3,6 (27,0%). Também, a menor frequência (7,0%) corresponde à maior quantidade de coliformes fecais concentrados na amostra d'água (23,0). Além disso, de acordo com Casali (2008), a contaminação microbiológica da água também tem uma relação positiva com a falta de manutenção e limpeza dos sistemas de captação e de armazenamento de água. Portanto, quanto maior o prazo sem limpeza das calhas e cisternas maior será a possibilidade deste tipo de contaminação. Apesar da recomendação da limpeza de calhas e cisternas pelo menos uma vez a cada ano é rara a manutenção, exceto quando há entupimento nas calhas de captação, o que impossibilita o armazenamento da água.

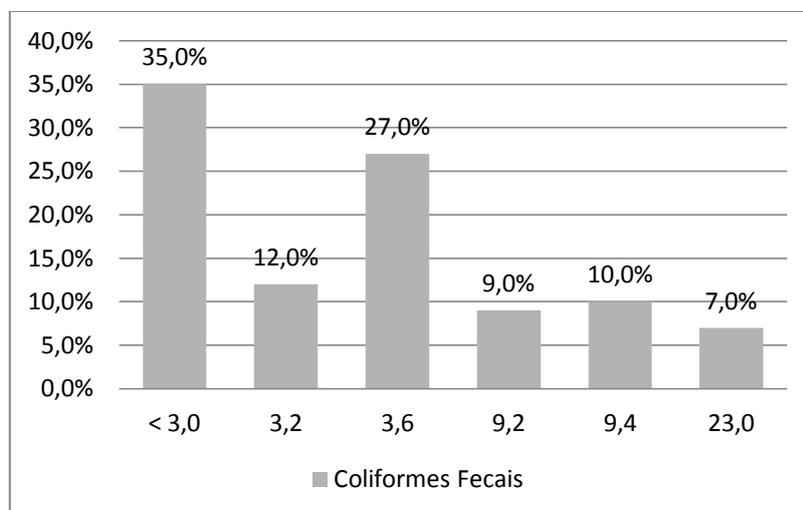


Figura 9: Frequência dos Coliformes Fecais

De acordo com a Resolução nº 518/2004 do Ministério da Saúde, em sistemas de abastecimento com menos de 40 amostras mensais, há uma tolerância de apenas uma amostra com resultado positivo para a presença de coliformes. No presente estudo, com 16 amostras mensais, esse valor é superior ao tolerado já que pelo menos 65% das amostras apresentaram presença de coliformes fecais e em pelo menos 85% das amostras foram constatadas a presença de coliformes totais. Resultados semelhantes foram obtidos por Amorim e Porto (2001) em que identificaram coliformes fecais em amostras de água retiradas de cisternas no município pernambucano de Petrolina. Esses resultados indicam riscos à saúde principalmente daquelas

famílias que não fazem tratamento prévio da água. Algumas medidas são recomendadas para a melhoria da qualidade da água, processos de tratamentos simplificados como filtragem, fervura e aplicação de cloro são alguma delas.

4.3 GRÁFICOS DE CONTROLE DE QUALIDADE

A seguir, serão apresentados os gráficos de controle de qualidade para as variáveis de controle de qualidade da água de cisternas das comunidades de Serra Grande, Assentamento Poço do Serrote, Assentamento Poldrinho e Assentamento Catolé, região semiárida do estado de Pernambuco.

Foram realizados os testes de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling e Shapiro-Wilk a fim de verificar se as variáveis atendem a suposição de normalidade para a construção dos gráficos de controle estatístico de qualidade evitando assim a detecção de falsos alarmes (Tabela 5).

Além da suposição de normalidade, foi verificada a suposição de ausência de autocorrelação das variáveis através dos gráficos de autocorrelação e autocorrelação parcial.

De acordo com testes de normalidade o potencial hidrogeniônico (pH), apresentou normalidade a um nível de significância de 5%. Conforme os gráficos de autocorrelação (Figura 10) e de autocorrelação (Figura 11) parcial o pH mostrou-se não correlacionado, o que possibilita executar os gráficos de controle excluindo a possibilidade de falsos alarmes.

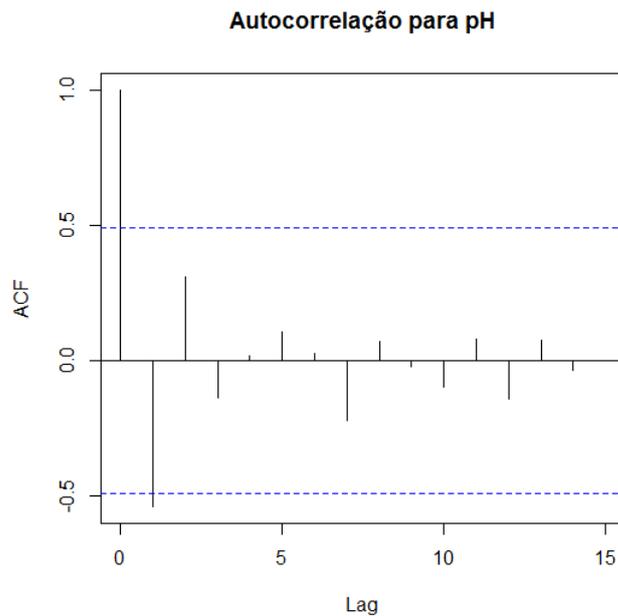


Figura 10: Gráfico de autocorrelação para o pH

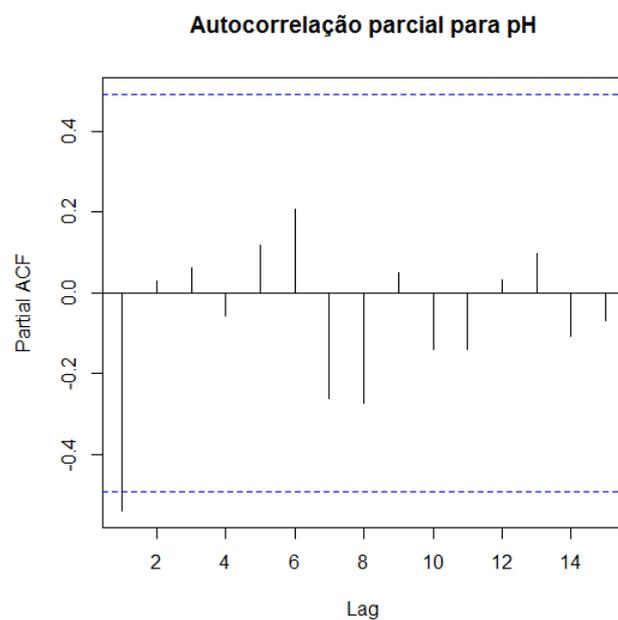


Figura 11: Gráfico de autocorrelação parcial para o pH

Com as suposições iniciais satisfeitas, a análise estatística e qualidade prossegue e pode-se observar nos gráficos para medidas individuais que há uma tendência dos dados em torno da média (Figura 12). Nos gráficos mais sensíveis a mudanças, como o gráfico de CUSUM (Figura 13) e EWMA (Figura

14), nota-se uma sequência de pontos em cima da linha média num espaço temporal que corresponde da 5ª até a 10ª semana do período amostral.

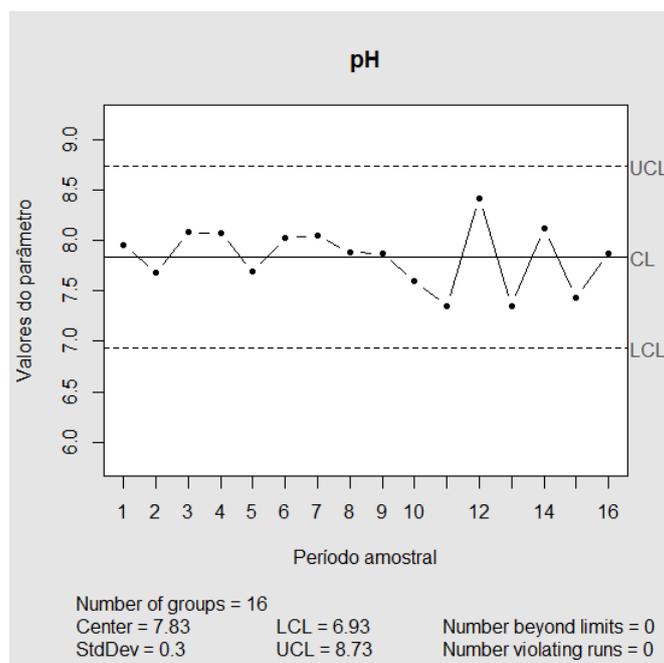


Figura 12: Gráfico de Shewhart para o pH

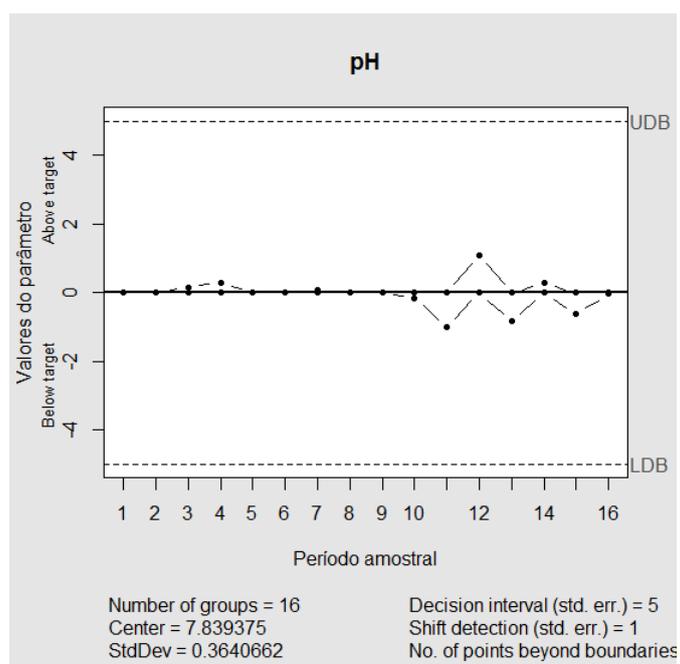


Figura 13: Gráfico de CUSUM para o pH

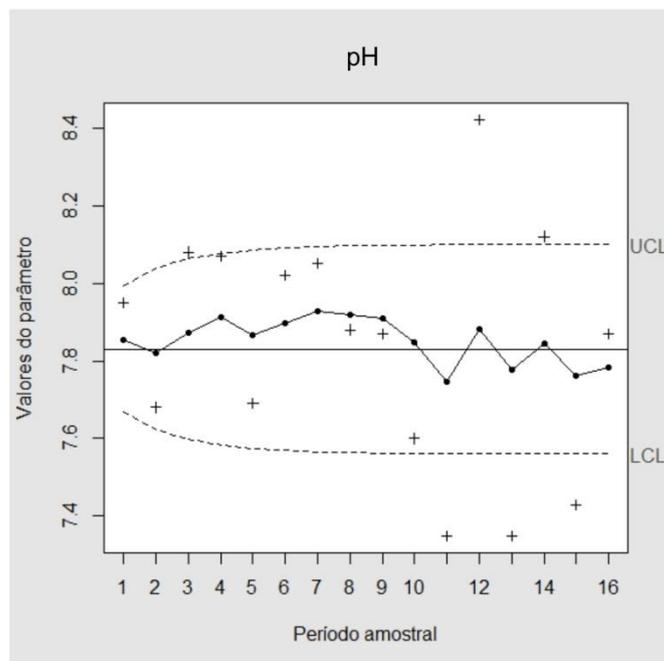


Figura 14: Gráfico de EWMA para o pH

De acordo com os testes de normalidade para a variável Cor, os dados mantiveram as suposições de normalidade satisfeitas a um nível de significância de 5%. De acordo com os gráficos de autocorrelação (Figura 15) e de autocorrelação parcial (Figura 16) as observações não estão autocorrelacionadas, assim as suposições para a construção dos gráficos de controle são atendidas.

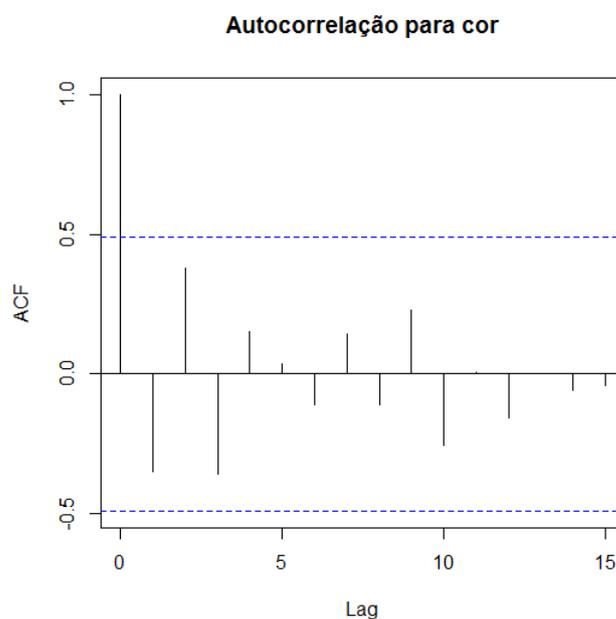


Figura 15: Autocorrelação para a variável cor

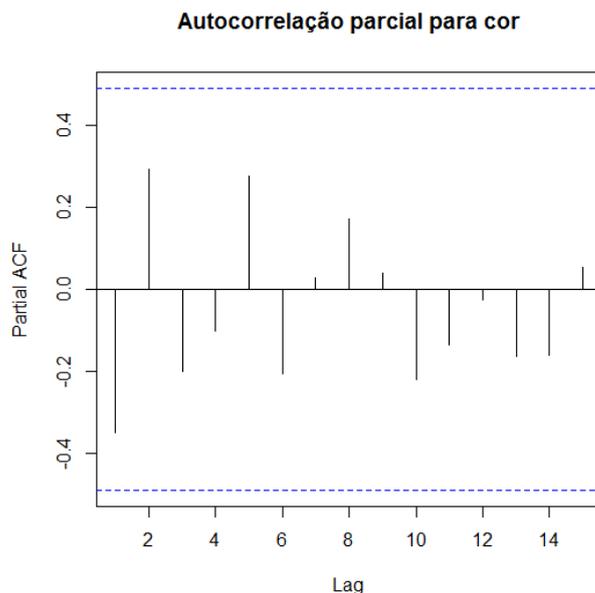


Figura 16: Autocorrelação parcial para a variável cor

Como as suposições atendidas, os gráficos de Shewhart (Figura 17), CUSUM (Figura 18) e EWMA (Figura 19) não apresentaram medidas sequenciais ou apontaram qualquer indício de tendência nas observações de cor aparente ao longo das 16 semanas. Corroborando com Tavares (2009) que afirma em seu estudo que apesar da alta variabilidade dos dados, a cor da água se manteve abaixo do 15 uH recomendado para água potável.

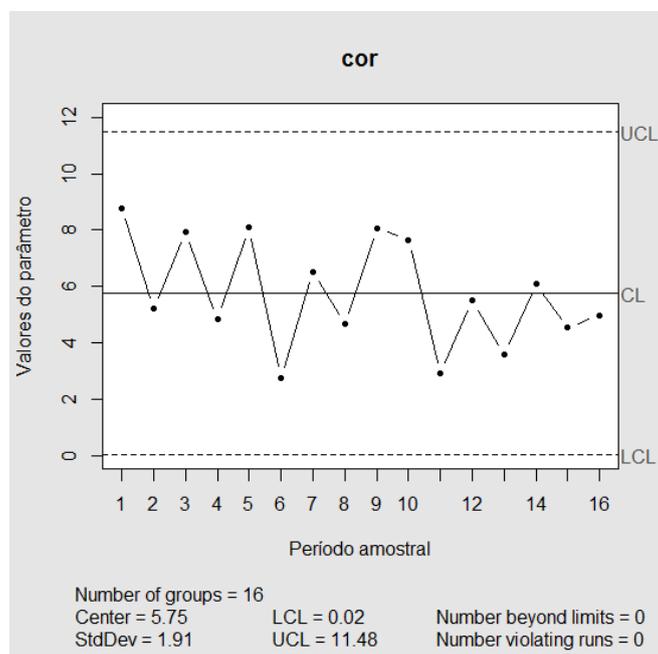


Figura 17: Gráfico de Shewhart para a variável cor

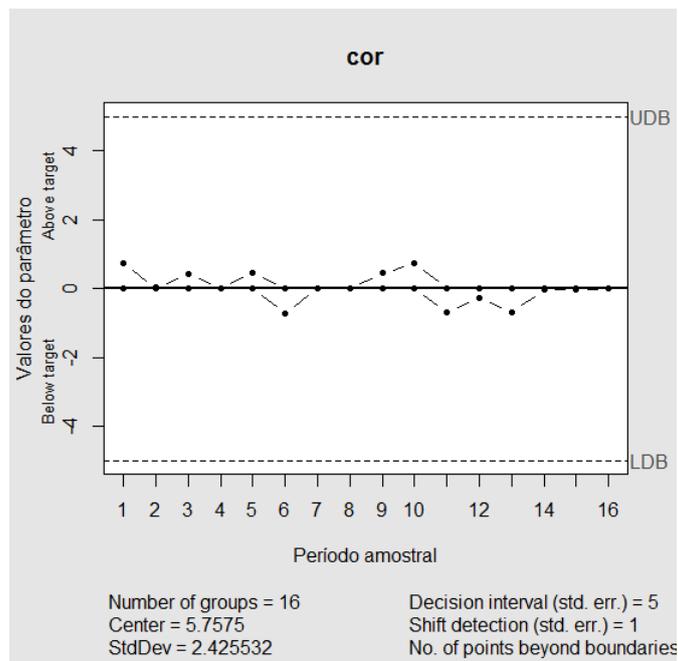


Figura 18: Gráfico de CUSUM para a variável cor

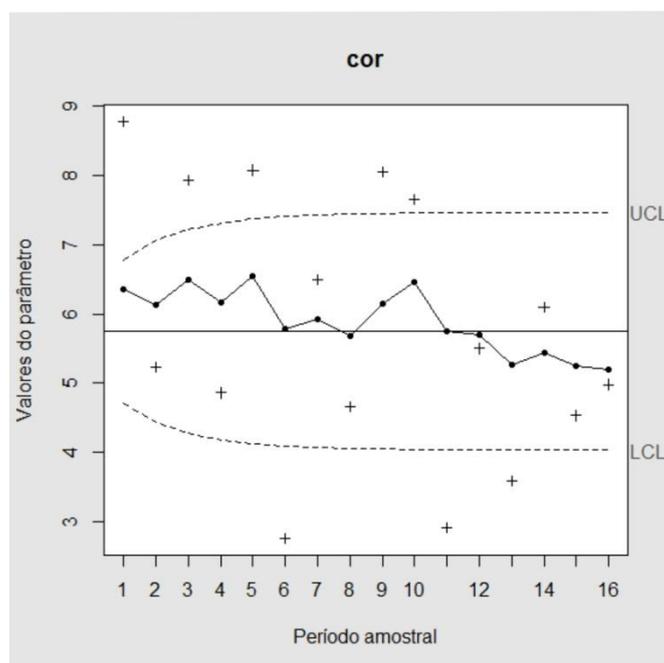


Figura 19: Gráfico de EWMA para a variável cor

Realizando testes de normalidade para a variável turbidez constatou-se a normalidade considerando 5% de significância. Observando os gráficos de autocorrelação (Figura 20) e de autocorrelação parcial (Figura 21) verifica-se que os dados não são autocorrelacionados, não havendo necessidade de ajuste de um modelo ARIMA para adequabilidade dos dados.

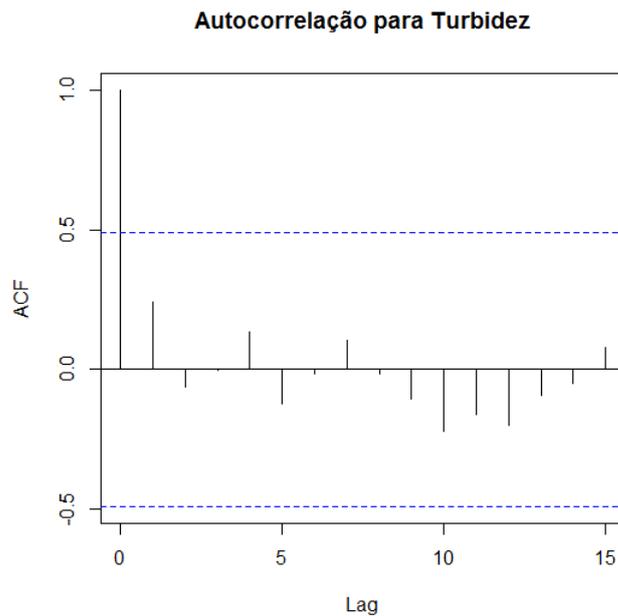


Figura 20: Gráfico de autocorrelação da turbidez

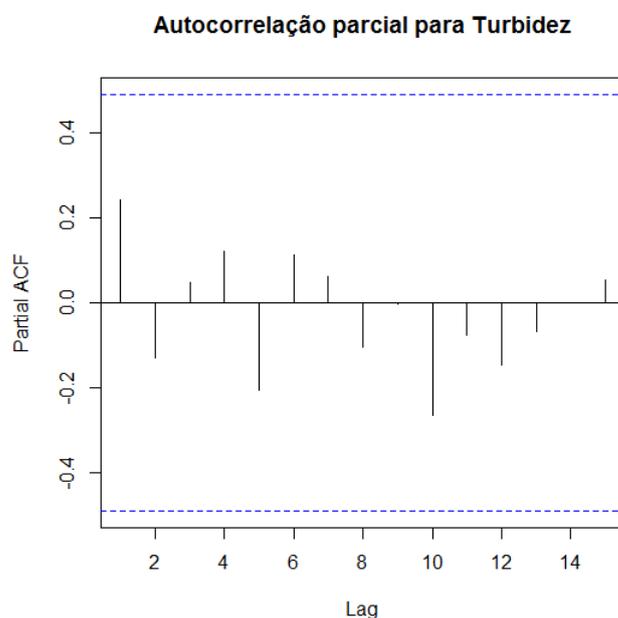


Figura 21: Gráfico de autocorrelação parcial da turbidez

Na Figura 22 o gráfico de Shewhart para a turbidez apresenta uma mudança brusca no comportamento das observações. Na 15ª semana a observação que na semana anterior estava abaixo da linha média cresce significativamente e continua a crescer na semana seguinte. Conforme Kowata et al. (2000), o que pode ter ocorrido é a contaminação através dos baldes utilizados para a retirada de água das cisternas, aumentando a turbidez.

Kowata et al. (2000) acredita que esse fato deve-se provavelmente à presença de matéria em suspensão na água tais como argila, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e partículas similares, alterando a penetração da luz através da difusão e absorção. Apesar de não ter ultrapassado a recomendação de 5 uT, é recomendada a investigação das possíveis causas de alteração como a utilização de baldes sujos para a retirada da água da cisterna.

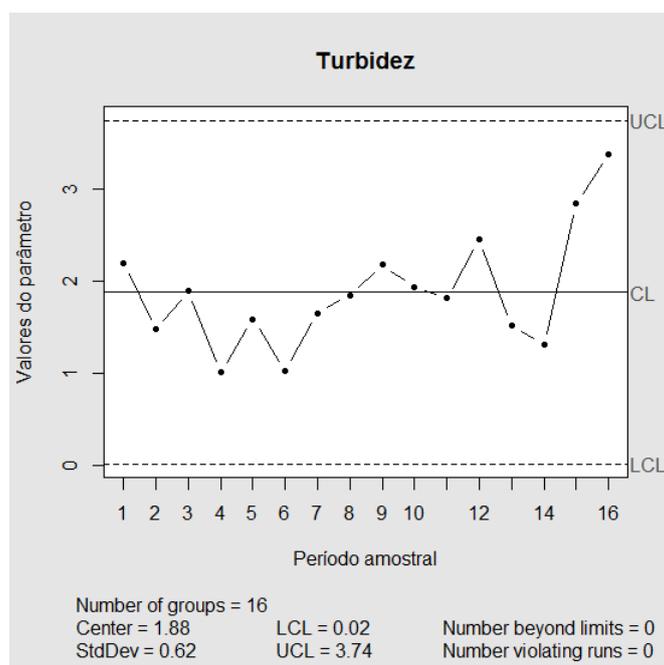


Figura 22: Gráfico de Shewhart para Turbidez

Nos gráficos de controle de CUSUM (Figura 23) e EWMA (Figura 24), identifica-se facilmente a sequência de pontos abaixo da linha média. Conforme Montgomery (2004) a sequência de sete pontos ou mais abaixo da linha média indica que o processo está fora de controle e é recomendada a imediata investigação.

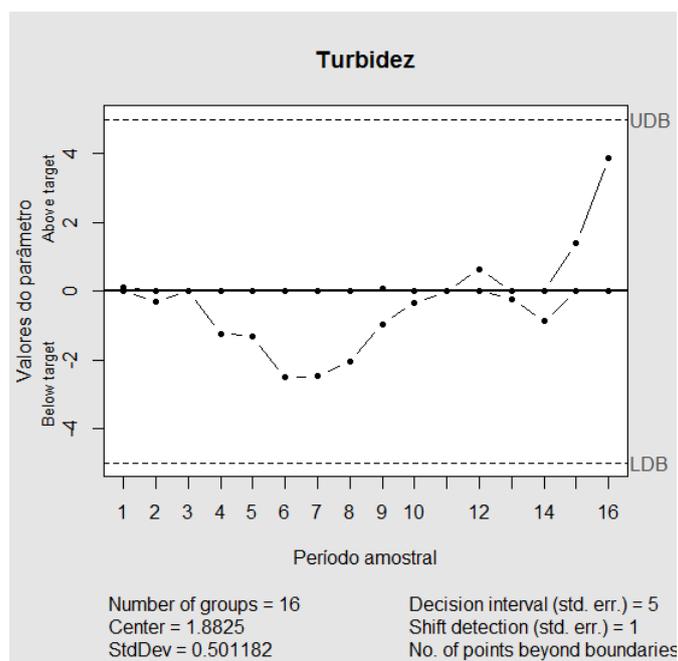


Figura 23: Gráfico de CUSUM para Turbidez

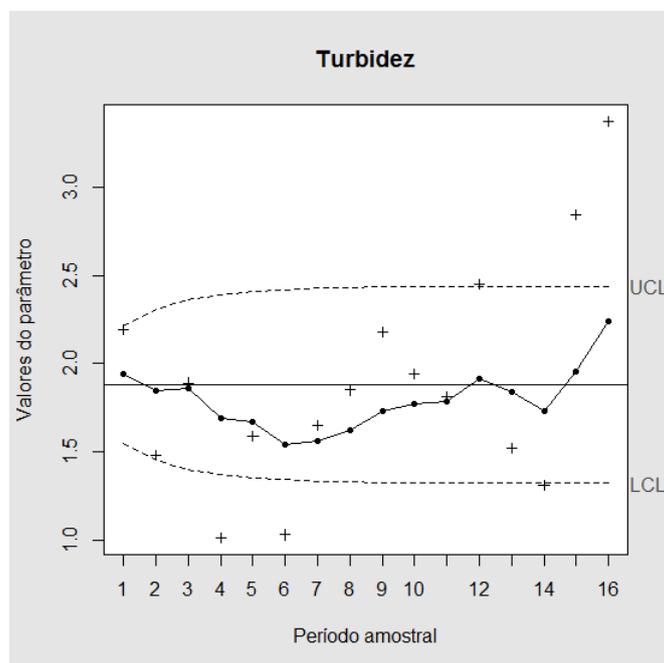


Figura 24: Gráfico de EWMA para Turbidez

Quando estudada, a variável Sólidos Dissolvidos Totais (S.D.T.) apresentou normalidade nos três testes, considerando uma significância de 5%, e conforme as Figuras 25 e 26, não apresentou autocorrelação, o que permite a construção dos gráficos de controle sem a ameaça de alarmes falsos.

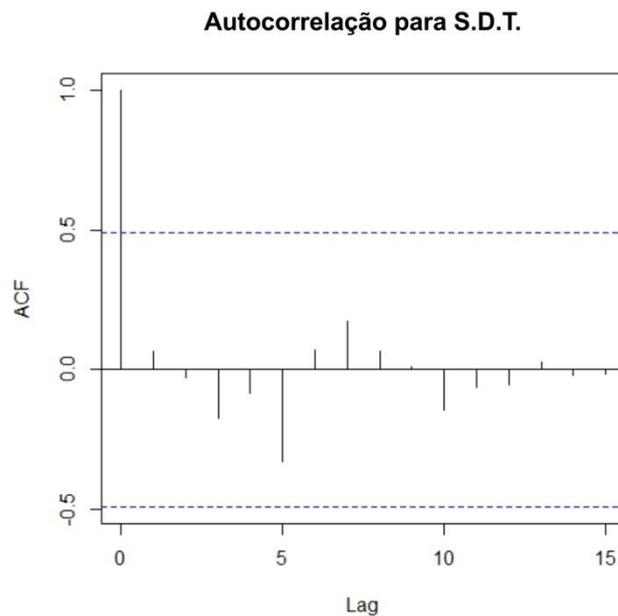


Figura 25: Gráfico de autocorrelação para S.D.T.

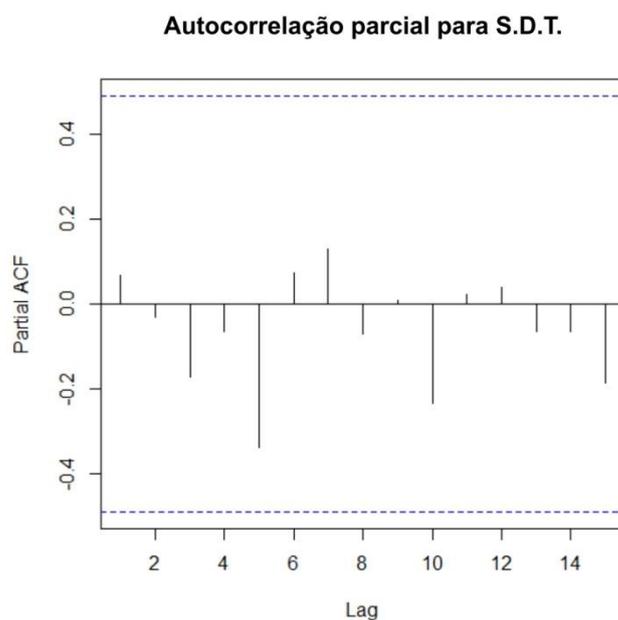


Figura 26: Gráfico de autocorrelação parcial para S.D.T.

Quando analisados, os gráficos de controle para a variável S.D.T. não apresentaram pontos que indiquem tendências ou periodicidade tanto no gráfico de Shewhart (Figura 27) quanto no gráfico de CUSUM (Figura 28). Na carta de controle EWMA (Figura 29) nota-se uma tendência ascendente a partir da segunda observação e uma mudança no padrão da variação a partir da

sexta observação que corresponde a meados do mês de janeiro. Apesar de não ultrapassar a quantidade recomendada de 500 mg L^{-1} , Lougon et al. (2009) registra resultados mais altos porém, nesse estudo foram coletadas amostras de águas residuais geradas a partir da lavagem dos frutos do cafeeiro. O autor ainda alerta para que não sejam descartadas águas com grande concentração de sólidos, pois podem provocar alterações na capacidade de infiltração de água no solo, ocasionadas pelo entupimento dos macroporos e pela formação de crostas em sua superfície.

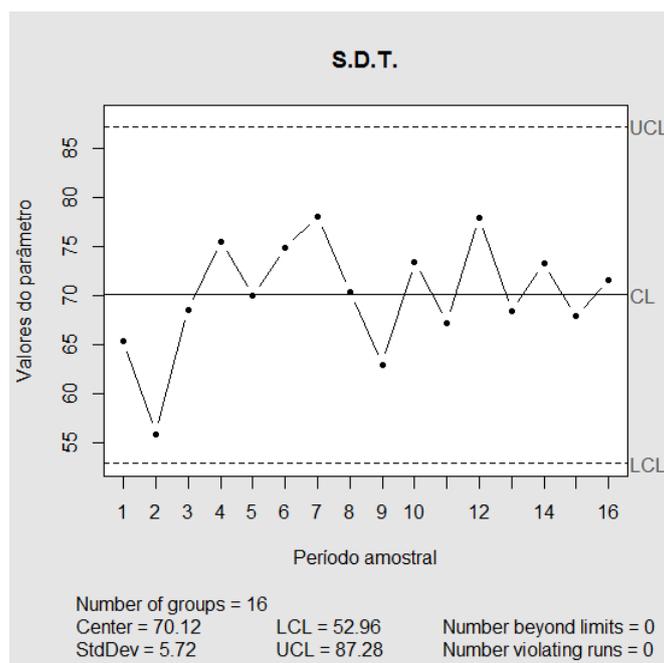


Figura 27: Gráfico de Shewhart para S.D.T.

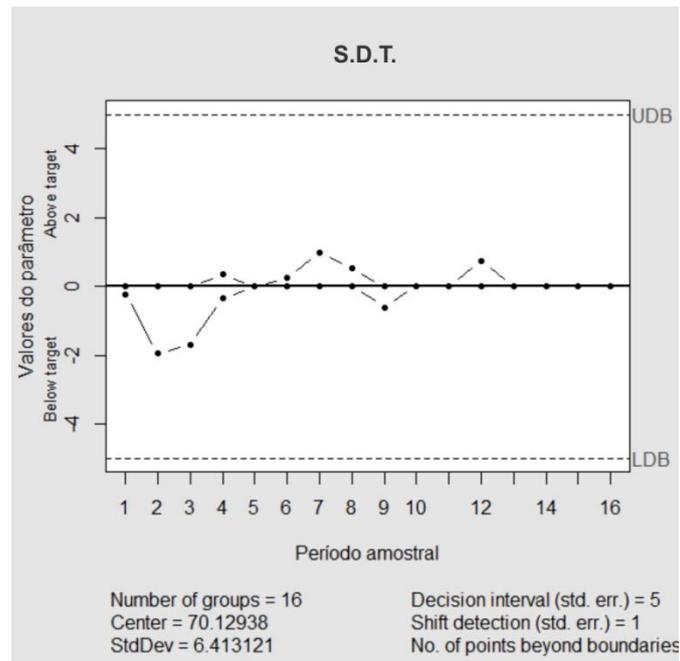


Figura 28: Gráfico de CUSUM para S.D.T.

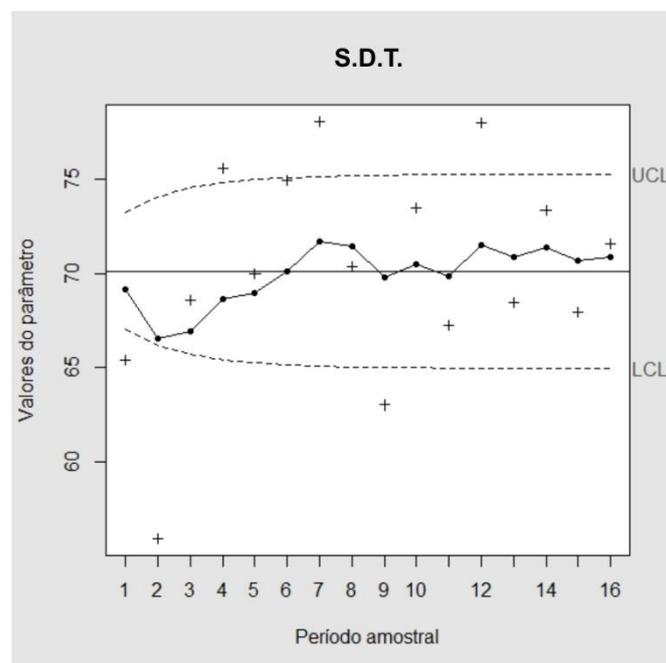


Figura 29: Gráfico de EWMA para S.D.T.

Foi realizada para a variável Condutividade elétrica (C.E.) testes de normalidade que apresentou distribuição Normal. Observando o gráfico de autocorrelação na Figura 30 e o gráfico de autocorrelação parcial na Figura 31, temos que a variável não é autocorrelacionada. Sendo assim, nos gráficos de controle há ausência de alarmes falsos podendo ser analisados sem receios.

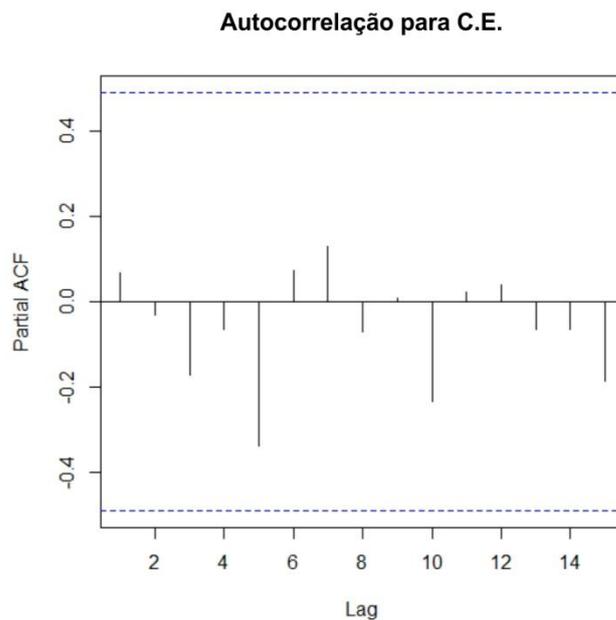


Figura 30: Gráfico de autocorrelação para C.E.

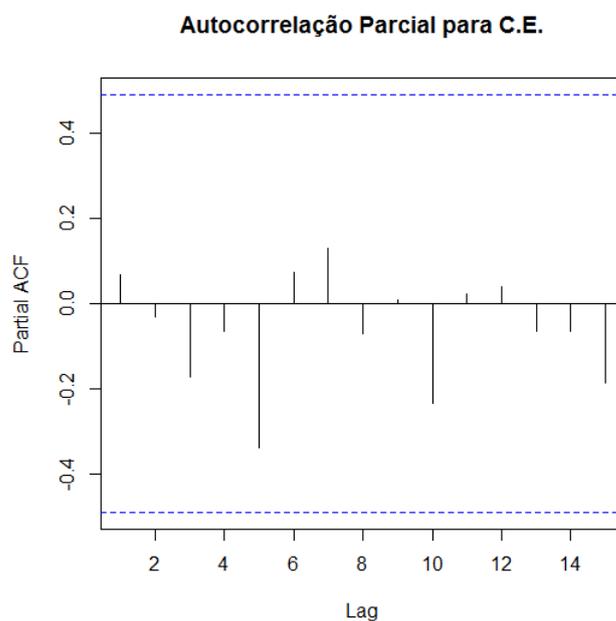


Figura 31: Gráfico de autocorrelação parcial para C.E.

Nas cartas de controle estatístico de qualidade (Figura 32) para C.E. observa-se a ausência de tendências e de periodicidade, também são ausentes observações que ultrapassem os limites das cartas indicando que o processo está sob controle. Na carta de controle EWMA, nota-se uma tendência ascendente a partir da segunda observação até a sétima, que corresponde ao

período de metade de dezembro de 2013 até o final de janeiro de 2014 (Figura 33). Segundo o Ministério da Saúde (2006) a condutividade elétrica da água indica sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas em ânions e cátions. Quanto maior a concentração iônica da solução, maior é a capacidade de conduzir corrente elétrica.

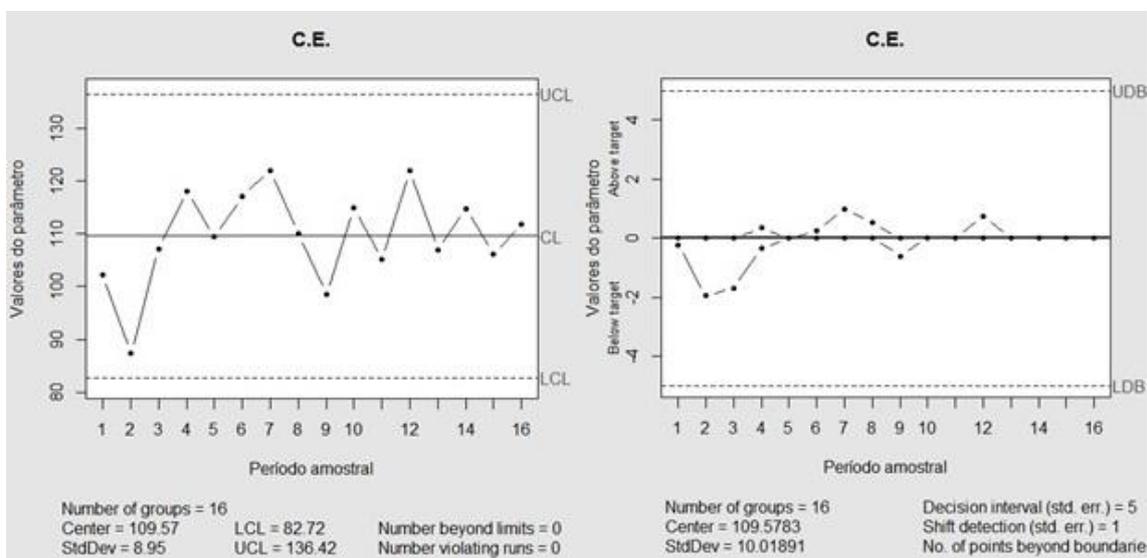


Figura 32: Gráficos de Shewhart e CUSUM para C.E.

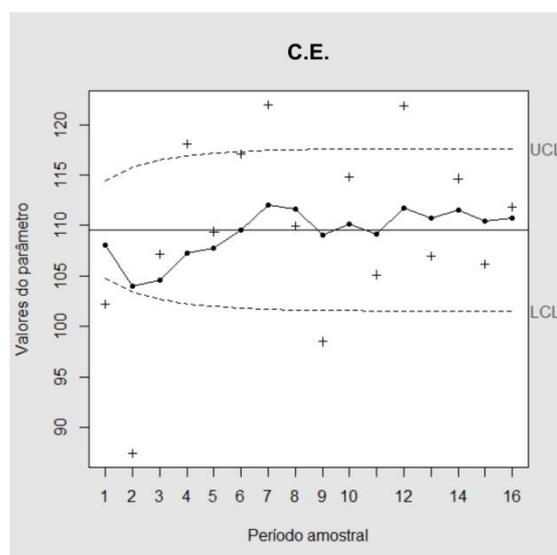


Figura 33: Gráfico de EWMA para C.E.

4.4 ÍNDICE DE CAPACIDADE DO PROCESSO

O índice de capacidade do processo foi calculado para a variável Cor. O índice de capacidade para as demais variáveis não foram calculados e a justificativa se dá em Montgomery (2004), em que as suposições acerca do processo devem ser atendidas. São elas: os dados devem ser normalmente distribuídos e o processo deve estar sob controle estatístico, não apresentando nenhuma irregularidade em que seja recomendada a inspeção do processo. Sendo assim, a única variável em que se estudou o controle de qualidade do processo e que não foi recomendada nenhum tipo de controle ou inspeção foi a variável Cor aparente. Na Figura 34 nota-se que o índice C_p é igual a 1 e C_{pk} é aproximadamente igual a 1 o que significa que apesar da capacidade do processo estar dentro das especificações deve-se tentar diminuir a variabilidade do processo.

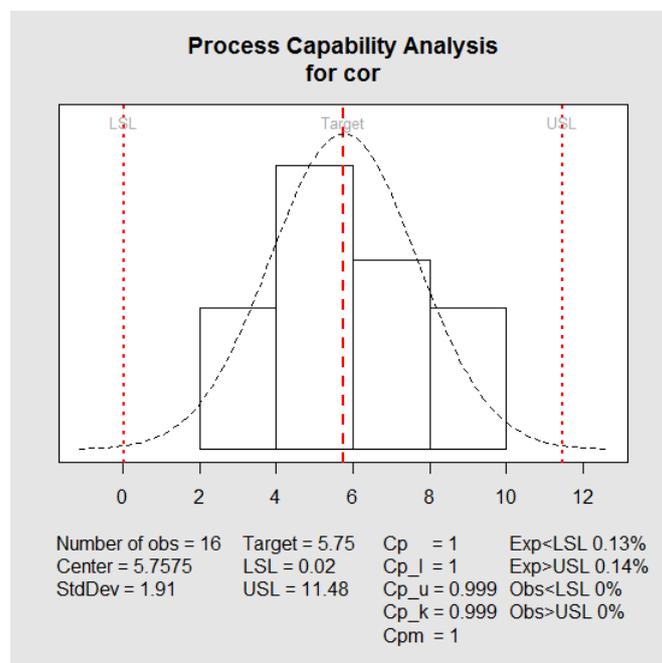


Figura 34: Índice de capacidade da Cor

5 CONCLUSÃO

As únicas variáveis que não atenderam as especificações foram os coliformes totais e coliformes fecais. Os motivos mais prováveis para a incidência da contaminação da água das cisternas por coliformes é a falta de limpeza das calhas que fazem parte do sistema de captação da água e o uso de baldes sujos para a retirada da água armazenada.

As variáveis seguem uma distribuição Normal, não são autocorrelacionadas e todas as observações estão dentro dos limites estipulados pelos órgãos competentes.

Os gráficos de controle estatístico de qualidade não acusaram nada alarmante no que se refere a observações fora dos limites superior e inferior das cartas de controle.

Apenas a variável Cor não apresentou quaisquer indícios de anormalidade no processo, porém quando calculados os índices de capacidade surgiu um alerta, necessitando uma investigação acerca da variabilidade do processo.

Com os resultados obtidos no projeto, os órgãos gestores e geradores de políticas públicas possuem dados primários para a geração de cenários da evolução da qualidade de vida no semiárido nordestino. Assim, será possível desenvolver cenários de impactos no semiárido com intervenções.

Outra contribuição específica para políticas públicas de desenvolvimento científico tecnológico no Estado é a investigação sobre o real papel do efeito das políticas públicas no sertão do Pajeú e técnicas de otimização para inovar conceitos e procedimentos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, G. H. F. G de. Aspectos de qualidade em execução de cisternas. www.tce.pe.gov.br/.../neg/.../P1/painel1_t4_qualidade_obras.pdf. 2001.

ALBUQUERQUE, A. W; LOMBARDI NETO, F; SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, n.1, p.121-128, 2001.

AMORIM, M. C. C. de; PORTO, E. R. Avaliação da qualidade bacteriológica das águas de cisternas: estudo de caso no município de Petrolina-PE. IN: *Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*, 3. 2001, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: ABCMAC. 2001. CD-room.

ANNECCHINNI, K.P.V. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES). *Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.*

APHA *Standard Methods for the examination of water wastewater*, 19^a Ed. Washington, American Public Health Association/AWWA/WEF. 1995

ASA (Articulação Semiárido Brasileiro). *Semiárido*. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br/>. Último acesso em: 20 de junho de 2014.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. *A qualidade da água na agricultura*. Trad. H.R.GHEYI et al., Campina Grande: UFPB,153 p. 1999 (Estudos FAO: irrigação e drenagem, 29).

AYERS, R. S; WESTCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. Campina Grande: UFPB, (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 revisado1). 218p. 1991.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Humano e Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Brasília: DOU nº053. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004: Normas de qualidade da água para consumo humano. Brasília, 2004. 15p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRITO, L. T. de L ; S. D. A.; CAVALCANTI, N. de B.; ANJOS, J. B. dos; REGO, M. M. Alternativa tecnológica de exploração para aumentar a disponibilidade de água no semiárido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.3, n. 1, p 111-115. 1999.

CASALLI, C. A. Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Centro de Ciências Rurais. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CLARO, F. A. E.; Costa, A. F. B.; Machado, M. A. G. (2007), “Gráficos de controle de EWMA e de Xbar para monitoramento de processos autocorrelacionados”, Produção, v. 17, n. 3, pp. 536-546.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. p.93-148. 1994.

ESPÍNDOLA E.L.G., Silva J.S.V., Marinelli C.E., Abdon M.M. 2000. A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar. São Carlos, Editora Rima, 188p.

FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias - Belo Horizonte: EMATER-MG. 1994. 24p.

FERREIRA, J. de A. Cisternas. Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. Hidrologia Agrícola. 2008. Disponível na Internet: <http://www.ipa.br/resp63.php>

FERREIRA, P. A. Qualidade de água e manejo água-plantas em solos salinos. Brasília: ABEAS, Viçosa: UFV, 2002. 141p. Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação.

FOLLADOR, F. A. C. Controle estatístico de processo aplicado à qualidade de águas superficiais. 2010. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de pós graduação em Engenharia Agrícola – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel – PR, 2010.

FOLLADOR, F. A. C. et al. Controle de qualidade da água medido através de cartas de controle de Shewhart, CUSUM e MMEP. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v.9, n.3, p. 183-197, jul/set. 2012.

GASITH, A.; RESH, V. H. Streams in the Mediterranean climate regions: Abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. Ann. Rev.Ecol.Syst, 30: 51- 81.1999.

GIORDANO, M. Agricultural groundwater use and rural livelihoods in sub-Saharan Africa: A first-cut assessment. Hydrogeology Journal, 14: 310–318. 2006.

GNADLINGER, J. Técnica de diferentes tipos de cisternas, construídas em comunidades rurais do Semiárido brasileiro. Juazeiro, BA: IRPAA, 2008.

GOMES, C. C. Modelagem matemática para estudo de comportamento de aquífero aluvial represado por barragens. Dissertação de Mestrado apresentado ao curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Área de

concentração Recursos Hídricos na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE. 1990.

HAMILTON, P. A.; HELSEL, D. R. Effects of agriculture on groundwater quality in five regions of the United States. *Ground Water* 33:217–226. 1995.

HENNING, E. et al. A study for the application of statistical process control charts in drinking water quality indicators. *Sistemas & Gestão*. Vol 9, n 1, p. 2-13, 2014.

HITCHINS, A.D.; HARTMAN, P.A.; TODD, E.C.D. Compendium of methods for the microbiological examination of foods: Coliforms-Escherichia coli and its toxins. 3.ed. Washington: American Public Health Association, 1996.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Último acesso em: 20 de junho de 2014.

INFANTI, J.N. & FORNASARI, F.N. Processos de dinâmica superficial. In: *Geologia de engenharia*. São Paulo: ABGE, 1998. 586p. P. 131-152.

JALALI, M. Groundwater geochemistry in the Alisadr, Hamadan. *Environ Monit Assess, Western Iran*. 2009.

JAMEEL, A. Evaluation of drinking water quality in Thiruchirapalli. *Indian J Environ Prot* 44:108–112. 2002.

KOTZ, S., PEARN, W. L., & JOHNSON, C.C.. Some process capability indices are more reliable than one might think. *Applied statistics*, 1993 42(1), 56-62.

KOWATA, E. A., RIBEIRO, J. T., TELLES, D. D. Estudo da influência da turbidez e dos declinantes sobre a coagulação de água de abastecimento no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas. *Iniciação Científica (FAPESP)*. Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2000.

KRAUSE, G.; RODRIGUES, A. F. Recursos hídricos do Brasil. MMA-SRH. Brasília, 33p. 1998.

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/.../TeseLamparelli2004.pdf>. Acesso em: 05 de jul. de 2013.

LIMA, W. P. Princípios de manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.

LOUGON, M. S. et al. Caracterização dos sólidos totais, fixos e voláteis nas águas residuárias geradas pela lavagem dos frutos do cafeeiro. Encontro Latino Americano de Pós Graduação. Universidade Vale do Paraíba, 2009.

MELO FILHO, J. F. de; SOUZA, A. L. V. O manejo e a conservação do solo no semiárido baiano: desafios para a sustentabilidade. In: Revista Bahia Agrícola, v.7, n.3, Nov.2006. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/pdf/socioeconomia04_v7n3.pdf>

MICHEL, R.; FOGLIATTO, F. S. Projeto econômico de cartas adaptativas para monitoramento de processos. Gest. Prod. São Carlos, v. 9, n. 1, p. 17-31, abr. 2002, ISSN 0104-530X., Versão impressa: DOI 10.1590/S0104-530X2002000100003.

MINELLA, J. P. G; WALLING, DES E; MERTEN, G. H. Combining sediment source tracing techniques with traditional monitoring to assess the impact of improved land management on catchment sediment yields. Journal of HYDROLOGY, 2008. v. 348, p. 546 – 563. Journal. homepage: www.elsevier.com/locate/jhdrol.

MONTGOMERY, D. Introduction to statistical quality control. [S.l.]: LTC, 2004. ISSN 2317-3297.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. 3.ed. Malden: Blackwell, 304 p. 2005.

NEEDHAM, J. Science and civilization in China. part II: Agriculture, By Francesca Bray. Cambridge University Press, 126 p.1984.

PENMAN, H. L. The Physical bases of irrigation control. In: International Horticultural Congress, 13, 1953, London. Report. London: Royal Horticultural Society, p. 913 - 924. 1953.

QUARANTA, G. Agricultura de Sequeiro. Land Care in Desertification Affected Areas - Lucinda. Série C, No. 4. 2000.

SAMOHYL, Robert Wayne. Controle estatístico de qualidade. Elsevier Brasil, 2012.

SANTANA, D. P. Manejo integrado de bacias hidrográficas. EMBRAPA/ Milho e Sorgo, Sete Lagoas, documento 30, p. 63, 2003.

SANTOS, C. G. Erosão hídrica e taxa de entrega de sedimentos na bacia hidrográfica semiárida do riacho Exú, PE. 2013. 38 p. Tese – (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.

SCUDINO, P. A. A utilização dos alguns testes estatísticos para Análise da variabilidade do preço do mel nos municípios de Angra dos Reis e Mangaratiba, Estado do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Exatas, Curso de Graduação em Matemática, Seropédica – RJ, 2008.

SHARMA, P; SARMA, H. P; MAHANTA, CH. Evaluation of groundwater quality with emphasis on fluoride concentration in Nalbari district, Assam, Northeast India. Environ Earth Sci. DOI 10.1007/s12665-011-1195-5. 2011.

SILVA, M. S. L. da; ANJOS, J. B. dos; BRITO, L. T. de L; SILVA, A. de S; PORTO, E. R; HONÓRIO, A. P. M. Barragens. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2001. Não paginado. (Embrapa Semiárido).

SILVA, F. B. R. E; RICHE, G. R; TONNEAU, J. P; SOUZA NETO, N. C. de; BRITO, L. T. de L; CORREIA, R. C; CAVALCANTI, A. C; SILVA, F. H. B. B. da; SILVA, A. B. da; ARAÚJO FILHO, J. C. de. Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocio-econômico. Petrolina: Embrapa-CPATSA/Recife: Embrapa - CNPS, Coordenadoria Regional Nordeste, v.1, il. 1993.

SILVA, F. B. R. Vulnerabilidades e Potencialidades Ambientais do Nordeste Semiárido In: Seminário Regional: Meio Ambiente e Mercado: desafios e perspectivas para o Nordeste. ANAIS - Fundação Konrad Adenauer KAS Associação de Apoio às Comunidades do Campo - AACCC; Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. Série Contribuições Ano IV VOL.X. 2000.

SILVA, D. A. da; REGO NETO, J. Avaliação de barragens subterrâneas para fins de exploração agrícola. In: congresso nacional de irrigação e drenagem, 9, Natal. Anais. Fortaleza: ABID, 1992.

SIQUEIRA, R.S. Manual de microbiologia de alimentos. Brasília: EMBRAPA, 1995. 159p.

SPERLING, M. Von. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3º ed. DESA. UFMG, Belo Horizonte, 2005. 452p.

SUDENE, 1997. Caracterização do Semiárido Brasileiro, disponível em: www.asabrazil.org.br.

TAVARES, A. C., Aspectos físicos, químicos e microbiológicos da água armazenada em cisternas de comunidades rurais no semi-árido paraibano. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade

Federal da Paraíba e Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2009.

THORNTHWAITE, C. W.; HOLZMAN, B. Evaporation and transpiration. In: Climate and Man: Yearbook of Agriculture. Washington: U.S. Department of Agriculture, p 545 - 550.1941.

UMAR, A; UMAR, R; AHMAD, M. S. Hydrogeological and hydrochemical framework of regional aquifer system in Kali-Ganga sub-basin, India. Environ Geol 40(4–5):602–611. 2001. doi:10.1007/ s002540000215

UNEP - United Nations Environmental Programme. 1999. Earthscan; Global Environment Outlook, UK; 1999

UNESCO. Aridity definition. (UN Documents). United Nations Educational, Scientifica and Cultural Oraganization, New York. 1979. <http://www.unesco.org/new/en/unesco/resources/publication/>

VERPLANCK, P. L; MUELLER, S. H; GOLDFARB, R.J; NORDSTROM, D. K; YOUGH, E. K. Geochemical Controls of Elevated Arsenic Concentrations in GROUNDWATER, Ester Dome, Fairbanks District, Alaska. Chemical Geology 255:160-172. 2008.

VIEIRA, V. P. P. B.; GONDIM FILHO, J. C. G. Água doce no semiárido. p 481 – 505 in A. C. 2006.

WERKEMA, M. C. C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, Escola de engenharia da UFMG, 1995. 404-p.

APÊNDICE A

Tabela 5: Teste de Normalidade

Teste	Variáveis	Valor	p-valor	Normalidade
Kolmogorov-Smirnov	pH	0.9494	0.4795	Normal
	cor	0.9412	0.3642	Normal
	Turbidez	0.9443	0.4044	Normal
	Cor	0.0807	0.5595	Normal
	S.D.T.	0.9485	0.4659	Normal
	C.E.	0.94	0.465	Normal
Anderson-Darling	pH	0.3579	0.4082	Normal
	cor	0.3586	0.4067	Normal
	Turbidez	0.3306	0.4753	Normal
	Cor	0.6993	0.06576	Normal
	S.D.T.	0.26	0.6628	Normal
	C.E.	0.260	0.661	Normal
Shapiro- Wilk	pH	0.1653	0.7742	Normal
	cor	0.152	0.8017	Normal
	Turbidez	0.1509	0.8082	Normal
	Cor	0.9759	0.07333	Normal
	S.D.T.	0.122	0.9477	Normal
	C.E.	0.1221	0.947	Normal

APÊNDICE B

Lista dos 122 municípios que compõem o clima semiárido

Fontes: IBGE; Programa SUDENE/PNUD

Sistema de Informações Gerenciais - SIG; SUDENE/CPE/EEP/SRU – 2001

Atualizado em 11/03/2005 Portaria Ministério da Integração Nacional

1 Afogados da Ingazeira	41 Flores	81 Quixabá
2 Afrânio	42 Floresta	82 Riacho das Almas
3 Agrestina	43 Frei Miguelinho	83 Sairé
4 Águas Belas	44 Garanhuns	84 Salgadinho
5 Alagoinha	45 Granito	85 Salgueiro
6 Altinho	46 Iati	86 Saloá
7 Angelim	47 Ibimirim	87 Sanharó
8 Araripina	48 Ibirajuba	88 Santa Cruz
9 Arcoverde	49 Iguaraci	89 Santa Cruz da Baixa Verde
10 Belém de São Francisco	50 Inajá	90 Santa Cruz do Capibaribe
11 Belo Jardim	51 Ingazeira	91 Maria do Cambucá
12 Betânia	52 Ipubi	92 Santa
13 Bezerros	53 Itacuruba	93 Santa Terezinha
14 Bodoco	54 Itaiba	94 São Bento do Una
15 Bom Conselho	55 Itapetim	95 São Caitano
16 Bom Jardim	56 Jatauba	96 São João
17 Brejão	57 Jatobá	97 São Joaquim do Monte
18 Brejinho	58 João Alfredo	98 São José do Belmonte
19 Brejo da Madre de Deus	59 Jucati	99 São José do Egito
20 Buique	60 Jupi	100 Serra Talhada
21 Cabrobó	61 Jurema	101 Serrita
22 Cachoeirinha	62 Lagoa Grande	102 Sertânia
23 Caetés	63 Lagoa do Ouro	103 solidão
24 Calçado	64 Lagoa dos Gatos	104 Surubim
25 Calumbi	65 Lajedo	105 Tabira
26 Camocim de São Felix	66 Manari	106 Tacaimbó
27 Canhotinho	67 Mirandiba	107 Tacaratu
28 Capoeiras	68 Moreilândia	108 Taquaritinga do Norte
29 Carnaíba	69 Orobó	109 Terezinha
30 Carnaubeira da Penha	70 Orocó	110 Terra
31 Caruaru	71 Ouricuri	111 Nova Toritama
32 Casinhas	72 Palmeirina	112 Trindade
33 cadro	73 Panelas	113 Triunfo
34 Chã Grande	74 Paranatama	114 Tupanatinga
35 Correntes	75 Parnamirim	115 Tuparetama
36 Cumaru	76 Passira	116 Venturosa
37 Cupira	77 Pesqueira	117 Verdejante
38 Custodia	78 Petrolândia	118 Vertente do Lério
39 Dormentes	79 Petrolina	119 Vertentes
40 Exu	80 Poção	