



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E
SANITÁRIA**

TAYRON JULIANO SOUZA

**POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA NO MEIO URBANO:
O CASO DE CAMPINA GRANDE – PB**

CAMPINA GRANDE-PB

2015

TAYRON JULIANO SOUZA

**POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA NO MEIO URBANO: O
CASO DE CAMPINA GRANDE – PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientadores: Carlos de Oliveira Galvão

Iana Alexandra Alves Rufino

Campina Grande-PB

Fevereiro 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S729p

Souza, Tayron Juliano.

Potencial de aproveitamento de água de chuva no meio urbano: o caso de Campina Grande – PB / Tayron Juliano Souza. – Campina Grande, 2015. 70 f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2015.

"Orientação: Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão, Prof.^a Dr.^a Iana Alexandra Alves Rufino".

Referências.

1. Aproveitamento de Água de Chuva. 2. Área Urbana. 3. Setor Residencial. I. Galvão, Carlos de Oliveira. II. Rufino, Iana Alexandra Alves. III. Título.

CDU 628.3(043)

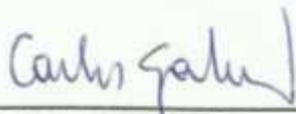
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANITÁRIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

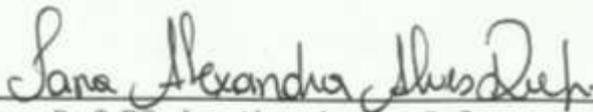
Tayron Juliano Souza

POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA NO MEIO URBANO: O
CASO DE CAMPINA GRANDE – PB

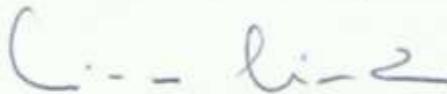
Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da
Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do título de mestre
em Engenharia Civil e Ambiental.



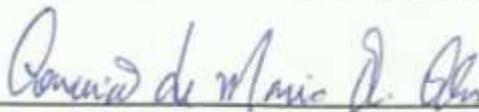
Prof. DSc. Carlos de Oliveira Galvão
(Orientador - Universidade Federal de Campina Grande)



Prof. DSc. Iana Alexandra Alves Rufino
(Coorientadora - Universidade Federal de Campina Grande)



Prof. DSc. Livia Izabel Bezerra de Miranda
(Examinador Interno - Universidade Federal de Campina Grande)



Prof. DSc. Conceição de Maria Albuquerque Alves
(Examinador Externo - Universidade de Brasília)

Aos meus pais, Hilda e João.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder saúde e coragem para prosseguir diante de todos os obstáculos.

Aos meus pais e irmãos pelo amor incondicional, incentivo e confiança.

A Bárbara por todos os momentos compartilhados de carinho, amizade e afeto, tornando meus dias sempre melhores.

Aos meus orientadores pelos ensinamentos transmitidos, paciência e incentivos durante a execução deste trabalho.

A todos os professores do PPGECA, pela formação e conhecimento transmitido durante esses dois anos.

Aos colegas e amigos do curso, em especial da área de recursos hídricos (Antônio, Artur, Bárbara, Pedro, Tereza, Karla, Luh e Ricardo) pelo companheirismo diário.

A minha nova família, Roberta, Biza e Jôse pela companhia, amizade e incentivo, fazendo os meus dias mais felizes e me sentir em casa.

A Secretaria de Planejamento de Capina Grande pela disponibilização dos dados para elaboração deste trabalho.

A todos os amigos do Laboratório de Hidráulica: Valdó, Rodolfo, Caio, Iuri, Marcela, Tafnes, Maria Helena, Hiran, Yuciara e Adolfo pela companhia e incentivo.

Aos amigos que me ajudaram no processo de vetorização para complementação do cadastro de edificações, em especial, Marcela, Caique, Hiran e Karla. E Artur pela grande força no uso do software R.

Aos professores que aceitaram participar da banca examinadora.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão desse trabalho.

Muito Obrigado!

POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA NO MEIO URBANO: O CASO DE CAMPINA GRANDE – PB

RESUMO

O aproveitamento de água de chuva no meio urbano é uma das fontes alternativas mais utilizadas nas diferentes regiões do mundo, pois aumenta a disponibilidade hídrica, ao tempo que promove a redução do uso de água do sistema de abastecimento público e amortece as pressões sobre o sistema de drenagem urbana. A área de estudo deste trabalho é o distrito sede de Campina Grande, Paraíba, o qual historicamente passou por sérios problemas no sistema de abastecimento e nos dias atuais os mesmos problemas se repetem. O objetivo deste trabalho é estimar o potencial de economia de água do sistema convencional de abastecimento com adoção do sistema de aproveitamento de água de chuva (SAAC) na área urbana do município. São necessárias as seguintes informações: área de captação do telhado das edificações, demandas, coeficiente de escoamento e o volume das cisternas. As áreas de captação referentes às projeções horizontais das edificações foram obtidas a partir do mosaico de imagens aéreas de alta resolução espacial e sua respectiva representação vetorial e as demais informações pelos órgãos competentes e levantamento na literatura. Foram realizadas simulações do balanço hídrico nos SAAC, para estimar a economia no abastecimento público, considerando dois cenários alternativos: I) implantação da cisterna independentemente da disponibilidade da área livre no terreno e II) resguardo de 20% de área permeável do lote, seguindo a legislação urbanística do município. As cisternas tiveram capacidades definidas em 500l, 1.000l, 5.000l, 10.000 l, 15.000l e 20.000l. Os resultados indicam que o potencial de economia de água varia entre 0,66% a 11,35%, dependendo do cenário adotado. O uso de dados detalhados associado a um Sistema de Informação Geográfica permite a obtenção de resultados mais consistentes, em especial as áreas de captação, assim permitindo estimar o potencial de aproveitamento de água de chuva de forma mais realista possível no meio urbano.

Palavras-chave: água de chuva, cidades, abastecimento de água, semiárido.

RAINWATER HARVESTING POTENCIAL IN URBAN AREAS: A STUDY IN CAMPINA GRANDE, BRAZIL

ABSTRACT

Rainwater harvesting in urban areas is one of most used alternative sources of water supply in the world, as it increases the water availability since it promotes reduction in the demands from the conventional water supply system and dampens pressures on the urban drainage system. The study area of this work is the urban area of the municipality of Campina Grande, State of Paraíba, Brazil, which has faced serious problems in the supply system. The objective of this study is to estimate the potential for water savings from the conventional water supply system by adopting rainwater harvesting in the urban area of the municipality. The methodology requires the following information: catchment areas, demands, roof's runoff coefficient and tanks' capacity. The catchment areas related to horizontal projections of the buildings were obtained from a mosaic of high spatial resolution aerial images and the associated vector representation, besides other information from the competent agencies and literature. Water balance simulations were performed on the rainwater catchment systems, to estimate the economy in the public supply, considering two alternative scenarios: i) implementation of the tank regardless of the free area availability in the lots and II) fixing a minimum of 20% for permeable lot area. The tanks had capacities defined in 500 l, 1000 l, 5000 l, 10000 l, 15000 l and 20000 l. The results indicate that the potential for water savings ranges from 0.66% to 11.35%, depending on the scenario. The use of detailed data associated to a Geographic Information System allows the determination of more consistent information, especially the catchment areas, which are input variables to the model, allowing the estimation of the potential of rainwater harvesting in urban areas in a more realistic way.

Keyword: Water harvesting, urban environment, residential sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Disponibilidade de água nos continentes.	13
Figura 2.2-Disponibilidade hídrica e população nas regiões brasileiras.....	14
Figura 2.3-Abastecimento nas sedes urbanas por tipo de manancial.....	16
Figura 2.4 -Variação do volume nos últimos anos do Açude Epitácio Pessoa.	17
Figura 2.5 - Área de Captação.	20
Figura 2.6-Calha para coleta de água.....	20
Figura 2.7-Tipos de dispositivos para desvio das primeiras águas de chuva.	21
Figura 2.8-Cisterna de alvenaria.	21
Figura 2.9 - Precipitação anual entre 1961 e 1990.	22
Figura 2.10 - Precipitação média mensal para a série histórica de 1983 – 2012.....	23
Figura 2.11 - Consumo médio per capita dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em 2013, e a média dos anos 2011, 2012 e 2013.	25
Figura 3.1 - Localização da área de estudo.	31
Figura 3.2- Aumento da população nos últimos anos.....	32
Figura 3.3- Utilização de cisternas na área urbana de Campina Grande.	35
Figura 3.4 - Mosaico de imagem com representação vetorial.	36
Figura 3.5 - Vetorização das edificações.	37
Figura 3.6- Etapas de vetorização e seleção das UAAC.	38
Figura - 3.7 Consumo per capita diário de água.....	39
Figura 3.8- Setores censitários do distrito sede de Campina Grande.	40
Figura 3.9- Interface do software R.	41
Figura 3.10- Dimensões dos reservatórios.	41
Figura 3.11 - Cenários de capacidade de cisternas.	43
Figura 3.12 - Determinação da capacidade das cisternas.....	44
Figura 3.13 - Etapas do algoritmo para determinação da “DemGar”.	45
Figura 4.1-Etapas da vetorização das áreas de cobertura.	49
Figura 4.2-Distribuição das UAAC e suas áreas edificadas.....	50
Figura 4.3- Volume anual de água exigido por UAAC.	51
Figura 4.4- Área livre respeitando o Código de Obras.	52
Figura 4.5-Resultado da simulação do Cenário I.....	54
Figura 4.6- Resultado da simulação do cenário II sem restrição.....	55

Figura 4.7-Resultado da simulação do cenário II com restrição.	55
Figura 4.8-Resultado da simulação do cenário III sem restrição.....	56
Figura 4.9-Resultado da simulação do cenário III com restrição.	56
Figura 4.10-Resultado da simulação do cenário IV sem restrição	57
Figura 4.11-Resultado da simulação do cenário IV com restrição.....	57
Figura 4.12-Resultado da simulação do cenário V sem restrição.....	58
Figura 4.13-Resultado da simulação do cenário V com restrição.	58
Figura 4.14-Resultado da simulação do cenário VI sem restrição.	59
Figura 4.15- Resultado da simulação do cenário VI com restrição.....	59
Figura 4.16 - Potencial de economia de água.....	61

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SAAC	Sistema de Aproveitamento de água de chuva
AAC	Aproveitamento de Água de Chuva
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SEPLAN	Secretaria de Planejamento
PMCG	Prefeitura Municipal de Campina Grande
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UAAC	Unidade de Aproveitamento de Água de chuva
P1MC	Programa 1 Milhão de Cisterna
SAB	Semiárido Brasileiro
DNOCS	Departamento Nacional de Obras de Combate a Seca
SACG	Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
	2.1 <i>Disponibilidade hídrica no Brasil</i>	13
	2.2 <i>Expansão urbana e sistemas de abastecimento</i>	15
	2.3 <i>Aproveitamento de água de chuva</i>	17
	2.4 <i>Componentes do SAAC</i>	19
	2.5 <i>Dimensionamento dos SAAC</i>	21
	2.5.1 <i>Precipitação</i>	22
	2.5.2 <i>Área de captação</i>	23
	2.5.3 <i>Coeficiente de escoamento</i>	24
	2.5.4 <i>Demanda</i>	24
	2.5.5 <i>Dimensionamento do reservatório</i>	25
	2.5.5.1 <i>Método de Rippl</i>	26
	2.5.5.2 <i>Método da simulação</i>	26
	2.5.5.3 <i>Método Azevedo Neto</i>	27
	2.5.5.4 <i>Método prático alemão</i>	27
	2.5.5.5 <i>Método prático inglês</i>	27
	2.5.5.6 <i>Método prático australiano</i>	28
	2.6 <i>Aspectos legais do aproveitamento da água de chuva</i>	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
	3.1 <i>Área de estudo</i>	31
	3.2 <i>Dados</i>	35
	3.2.1 <i>Dados pluviométricos</i>	35
	3.2.2 <i>Unidade de aproveitamento de água de chuva</i>	35
	3.2.3 <i>Demandas</i>	38
	3.3 <i>Simulação do balanço hídrico da UAAC</i>	40
	3.4 <i>Volume de chuva aproveitável</i>	46
	3.5 <i>Potencial de economia de água potável</i>	46
	3.6 <i>Espacialização dos resultados</i>	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
	4.1 <i>Unidades de aproveitamento</i>	48
	4.2 <i>Demandas</i>	50
	4.3 <i>Restrição urbanística</i>	51
	4.4 <i>Potencial anual de aproveitamento</i>	52
	4.5 <i>Potencial de Economia de água</i>	60
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	63
6	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

O rápido crescimento das áreas urbanas associado ao aumento da população e demandas insustentáveis pode comprometer a capacidade abastecedora dos mananciais de água doce (e.g., SHARMA e VAIRAVAMOORTHY, 2009), colocando em risco o sistema de abastecimento urbano de água. Nesta perspectiva, surge a necessidade de buscar soluções para conservar a água potável, ao tempo que se faz necessária a busca por novas fontes de abastecimento e revisão do uso da água pela população.

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva (SAAC) são uma fonte alternativa que se mostram atrativas no meio urbano, quando comparados a outros meios de aumento da oferta de água, como a ativação de novos mananciais e transposição das águas entre bacias, promovendo o aumento da disponibilidade hídrica, economia de água potável proveniente do sistema de abastecimento convencional e amortecimento das águas pluviais na drenagem urbana (ANNECCHINI, 2005; INAMDAR *et al.*, 2013).

As metodologias para estimar o potencial de aproveitamento e de economia de água no meio urbano pelo uso de SAAC envolvem equações de balanço hídrico, que possuem como variáveis de entrada a área de captação, as demandas de água, coeficientes de escoamento, volumes dos tanques de armazenamentos e séries de precipitação local. Muitas dessas metodologias apresentam simplificações, sendo as mais usuais as estimativas das áreas de captação e das demandas de água. Alguns trabalhos, por exemplo, só fazem uso de médias das áreas dos telhados e das demandas de água por cidade ou região (GHISI, 2006).

Com relação à área de telhado, as imprecisões para sua determinação podem ser ocasionadas pela falta de informações cadastrais ou resolução inadequada dos dados (FLORES *et al.*, 2012; GHISI e OLIVEIRA, 2007). As demandas têm sido caracterizadas de forma única para cada área de estudo, apresentando incertezas, pois esse tipo de estimativa deve envolver o conhecimento de outras variáveis, como a renda familiar e hábitos da população, que apresentam grande variação dentro de uma cidade.

Nesse contexto, informações referentes às áreas de projeções horizontais de posse das prefeituras (imagens aéreas de alta resolução e mapas digitais), utilizadas, entre outros fins, para o planejamento urbano e elaboração de planos de saneamento e drenagem urbana, processadas em Sistemas de Informações Geográficas – SIG, permitem a determinação ou complementação com mais acurácia de áreas edificadas, uma vez que o processo de vetorização permite determinar essas áreas de forma individualizada.

No que se refere às estimativas de demandas de água, informações sobre infraestrutura e população em setores censitários (domicílios atendidos com abastecimento de água potável e número de habitantes por domicílio), disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possibilitam realizar estimativas de demanda na escala desses setores, alcançando valores mais próximos da realidade.

Dessa forma, o uso desses dados permite a obtenção de resultados com maior exatidão e em menor tempo, bem como a espacialização de todas as áreas de cobertas e demandas de água da cidade, fornecendo subsídios para os tomadores de decisão nas esferas municipais, estaduais e federais, possibilitando a implementação de programas governamentais que incentivem a adoção de SAAC na área urbana como uma fonte complementar ao sistema de abastecimento de água.

Campina Grande, no Estado da Paraíba, foi selecionada para o estudo por ser uma cidade de médio porte, típica do Semiárido brasileiro, e por possuir tradição no uso de cisternas. No decorrer de sua história, Campina Grande passou por momentos de crise no abastecimento e hoje os mesmos problemas se repetem, devido ao longo período de baixa precipitação (2012-2014) e uma gestão ineficiente do manancial Epitácio Pessoa, que a abastece, impondo à população o regime de racionamento de água.

Diante desta problemática, objetiva-se com este trabalho estimar o potencial de economia de água do sistema convencional de abastecimento público, considerando um cenário de adoção em larga escala do aproveitamento de água de chuva na área urbana de Campina Grande.

São objetivos específicos desta dissertação:

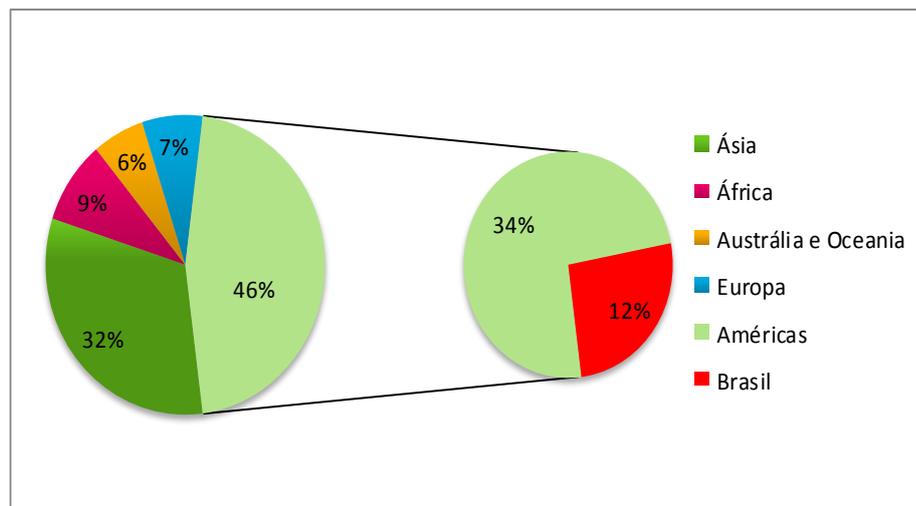
- ✓ Determinar as áreas de captação individuais das edificações em uma malha urbana de dimensões consideráveis, com o auxílio de Sistema de Informação Geográfica;
- ✓ Estimar as demandas dos consumidores ligados à rede de abastecimento, discriminando-as espacialmente utilizando dados censitários;
- ✓ Estimar o potencial de aproveitamento da água de chuva e o impacto sobre a redução da demanda sobre o sistema público de abastecimento, considerando vários cenários de capacidade de armazenamento dos SAAC.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Disponibilidade hídrica no Brasil

Existe uma grande disparidade quanto à disponibilidade de recursos hídricos nas diferentes regiões do planeta, pois enquanto certas localidades passam por situações críticas de escassez, outras têm esse recurso em abundância. Quando comparadas as disponibilidades entre os continentes, verifica-se que as Américas possuem a maior oferta de água, onde somente o Brasil possui cerca de 12% de toda a água doce superficial, enquanto que a Austrália e Oceania apenas 6% (Figura 2.1).

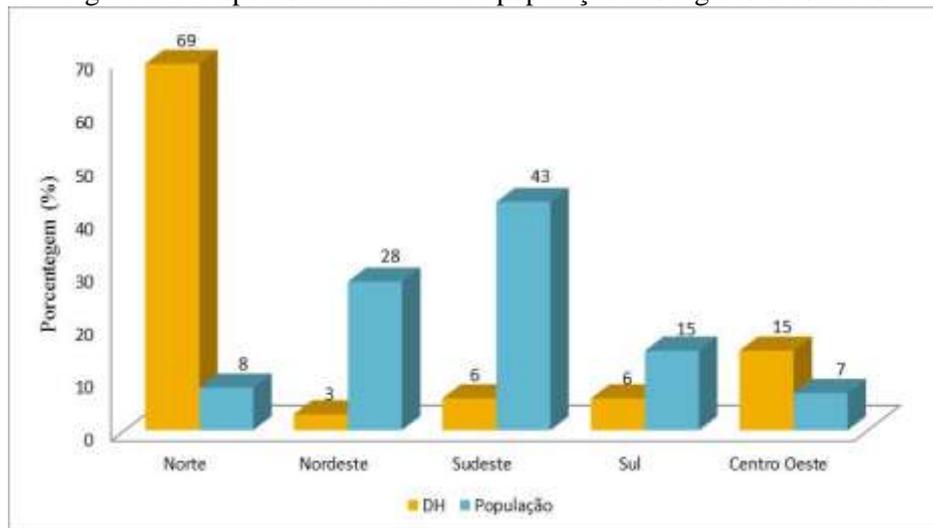
Figura 2.1 - Disponibilidade de água nos continentes.



Fonte: ANA (adaptado de UNESCO, 2007).

O Brasil, mesmo com essa grande disponibilidade, apresenta problemas com relação à escassez hídrica, pois esta é mal distribuída em termos geográficos e populacionais. A Figura 2.2 apresenta os resultados apresentados por Ghisi (2006), a partir de dados do IBGE e da Agência Nacional de Águas (ANA), onde é possível verificar a desigualdade da disponibilidade dos recursos hídricos entre as regiões, com destaque para o Norte do país, que detêm a maior parte de água (69%) e é responsável pelo abastecimento da menor parcela da população, enquanto que o Nordeste possui quase o triplo de sua população e conta com apenas 6% de toda a água disponível.

Figura 2.2-Disponibilidade hídrica e população nas regiões brasileiras.



Fonte: Adaptado de Ghisi (2006).

A Tabela 2.1 apresenta a classificação de disponibilidade hídrica com referência ao volume anual de água disponível por habitante, estabelecido pela UNEP, que classifica de muito alta a catastróficamente baixa. Segundo estudos realizados por Ghisi *et al.* (2006), as regiões Nordeste e Sudeste se não apresentarem um plano de manejo adequado das águas se depararão ao cenário catastrófico em futuro próximo, pois seus estudos apontam que por volta do ano de 2100 a disponibilidade nessas regiões será inferior a $1.000 \text{ m}^3 \text{ per capita/ano}$.

Tabela 2.1 - Classificação da disponibilidade hídrica segundo o UNEP.

Disponibilidade hídrica ($\text{m}^3 \text{ per capita/ano}$)	Classificação
Maior que 20.000	Muito alta
10.000 a 20.000	Alta
5.000 a 10.000	Média
2.000 a 5.000	Baixa
1.000 a 2.000	Muito baixa
Menor que 1.000	Catastróficamente baixa

Fonte: UNEP (2002), apud PROSAB (2006).

Medidas para conciliar as políticas vigentes de recursos hídricos, saneamento, uso e ocupação do solo entre outras, devem ser pensadas pelos tomadores de decisão nas diferentes esferas de atuação para buscar o uso eficiente da água e propor fontes alternativas que possibilitem o aumento da oferta de água, como o aproveitamento de águas pluviais, salobras,

águas marinhas e águas residuárias tratadas, capazes de suprir as demandas, ao menos parcialmente, para o uso não potável da sociedade (MAOTDR, 2007). Entre as tecnologias, tem destaque o aproveitamento de água de chuva - AAC, por ser uma técnica de fácil aplicação e resultados animadores na redução das demandas.

2.2 Expansão urbana e sistemas de abastecimento

O crescimento desordenado dos centros urbanos, associado ao aumento da população, provoca pressões sobre os serviços de infraestrutura urbana, que por muitas vezes não conseguem acompanhar o rápido desenvolvimento das cidades. Entre as estruturas urbanas, merece destaque o sistema de abastecimento de água – SAA, que tem como função garantir o fornecimento contínuo e seguro de água de boa qualidade aos usuários.

Para Anecchini (2005), o modelo de sistema de abastecimento de água, ainda nos dias de hoje, pode ser caracterizado como arcaico, pois sofre problemas para manter o abastecimento contínuo e com qualidade. Essa situação é mais agravante quando se trata de áreas de morros e de periferias que apresentam problemas sociais e econômicos onde, em muitos casos, nem existe SAA.

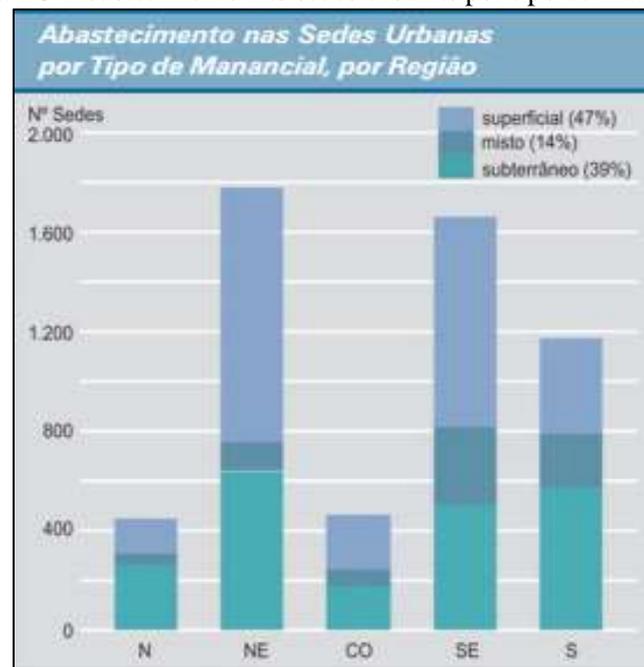
No Brasil, a maior parte dos sistemas de abastecimento faz uso de águas de mananciais superficiais, principalmente em regiões que possuem baixo potencial hídrico de águas subterrâneas, como por exemplo, os Estados de Pernambuco, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Paraíba, que em sua maioria são abastecidos por fontes superficiais.

A Figura 2.3 mostra que os sistemas de abastecimento das sedes urbanas brasileiras são predominantemente de manancial do tipo superficial. Quando comparados regionalmente, o Nordeste e Sudeste possuem o maior número de sedes com abastecimento do tipo reservatório (ANA, 2010). Segundo Galvão *et al.* (2002), o uso principal de mananciais superficiais, em especial a região Nordeste, são as limitações de águas subterrâneas, consequentemente dependendo quase que exclusivamente da reposição de água desses mananciais, que acontece em curto período chuvoso para manter o abastecimento contínuo.

Neste contexto, podem-se exemplificar dois sistemas de abastecimento de água no país que estão passando por sérios problemas para atender as demandas dos usuários, devido à fragilidade da gestão e planejamento dos recursos hídricos, agravado pelo alto consumo nos setores residencial, comercial e industrial: o Sistema Cantareira no Estado de São Paulo e o Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande - SACG, estudado neste trabalho:

- O Sistema Cantareira, que atualmente faz uso do volume morto, busca evitar o maior colapso no abastecimento da história de São Paulo, com adoção de medidas severas, tais como a redução de pressão na rede de abastecimento e multas para os usuários com consumos maiores que no período pré-crise.
- O Sistema de Abastecimento de Campina Grande, hoje responsável por abastecer quase um milhão de pessoas, já enfrentou grandes crises no abastecimento entre os anos de 1998 a 2002 com sérias restrições no abastecimento urbano. Neste novo cenário de crise (2012-atual), os mesmos problemas se repetem e medidas adotadas anteriormente voltam a ser implantadas para reduzir o consumo de água do manancial, como por exemplo, o racionamento simultâneo aos finais de semana para todos os bairros e a suspensão da irrigação.

Figura 2.3-Abastecimento nas sedes urbanas por tipo de manancial.



Fonte: ANA (2010).

A Figura 2.4 apresenta a evolução de armazenamento de água nos últimos 10 anos do Açude Epitácio Pessoa, manancial do SACG. É possível observar os anos em que o reservatório atingiu sua capacidade máxima, como ocorreu em 2005 e 2006, e ultrapassou sua cota de sangria nos anos 2008, 2009 e 2011. A partir do ano de 2012, com o novo ciclo de baixas afluências, o reservatório vem reduzindo drasticamente seu armazenamento. No momento da escrita deste trabalho, em fevereiro de 2015, o volume era de 88.726.447 m³ (AESAs, 2015).

Figura 2.4 -Variação do volume nos últimos anos do Açude Epitácio Pessoa.



Fonte: AESA (2015).

2.3 Aproveitamento de água de chuva

O aproveitamento da água de chuva é uma prática milenar, utilizada nas diferentes regiões do mundo, como fonte de água limpa para o uso doméstico e produção de alimentos, que em muitas localidades deixou de ser utilizada mediante a ampliação do sistema de abastecimento. No entanto, as pressões sobre os recursos hídricos vêm fazendo que essa técnica volte a ser utilizada onde era difundida, ao tempo que passa a ser utilizada em regiões onde até então eram desconhecidas (PALMIER, 2001).

Na literatura são encontrados vários relatos sobre o início do uso da técnica de captação e aproveitamento de água de chuva como, por exemplo, os indícios arqueológicos que mostram a captação de água de chuva de mais de 6.000 anos atrás na China (TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 2005). Na Jordânia o uso de águas pluviais ocorre desde 800 a.C. para usos domésticos e a prática da irrigação (ABDULLA e AL-SHAREEF, 2008). Em Israel, um dos grandes exemplos de aproveitamento de água de chuva pelos antepassados é a Fortaleza de Masada, que possui dez reservatórios escavados nas rochas com capacidade de 40 milhões de litros (CARDOSO, 2010). No Brasil, uma instalação interessante de aproveitamento de água de chuva foi encontrada em Fernando de Noronha, no início da década de quarenta, a qual encontra-se ativa e abastecendo a população da ilha até os dias atuais (GHANAYEM, 2001).

Os SAAC são muito utilizados para captação e armazenamento de água da chuva dos telhados, rampas e calçadas em cisternas, tanques e, em condições mais complexas, em represas subterrâneas (APPAN, 1999). Para Abdulla e Al-Shareef (2008), a maior atração de um SAAC é o baixo custo, acessibilidade e fácil manutenção no nível familiar.

Segundo Jones e Hunt (2009), o uso desta alternativa ficou marcado em áreas em que o sistema de abastecimento era limitado pelas condições climáticas ou de infraestrutura, porém vem sendo utilizada em regiões úmidas e bem desenvolvidas, uma vez que crescem os riscos de secas, consumo exagerado de água pela população e a necessidade de controle dos riscos provocados pela falta de manejo das águas pluviais.

Neste contexto, tem destaque o Programa 1 Milhão de Cisternas - P1MC, que faz parte das ações do Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido da Articulação do Semiárido Brasileiro – ASA que beneficiou mais de 2 milhões de pessoas da zona rural do Semiárido, através da construção de quase 600 mil cisternas com capacidade de 16.000 litros, como alternativa para o abastecimento descentralizado, fornecendo água para beber e cozinhar (ASA, 2015).

O AAC também tem tido uma crescente aplicação nas zonas urbanas, pois estes sistemas funcionam como fonte alternativa de abastecimento de água, ao tempo que minimizam os problemas relacionados indisponibilidade hídrica diante do aumento das demandas (MAIA, 2011).

Para Walsh *et al.* (2014) o aproveitamento de água de chuva é capaz de complementar as demandas de água utilizando o volume de chuva coletada, reduzir os custos do serviço de abastecimento de água e possibilidade de armazenamento de água de chuva em espaços limitados.

Dessa forma, o aproveitamento de água de chuvas em edificações tem se mostrado uma boa alternativa, visto que aumenta a oferta de água, além de funcionar como medida não estrutural ao sistema de drenagem (AMORIM e PEREIRA, 2008). Com relação às vantagens desta técnica para o amortecimento das águas pluviais, são necessários mais estudos, uma vez que para aliviar o sistema de drenagem requer-se reservatórios vazios, que na maioria das vezes só acontece no início dos eventos de precipitação no caso dos SAAC.

Para Che-Ani *et al.* (2009), as principais vantagens do aproveitamento de água de chuva para os usuários são:

*Água de chuva é a fonte relativamente mais limpa;
Redução do volume de água proveniente do SAA,
consequentemente redução do valor da conta de água; Evita a*

interrupção do sistema de abastecimento centralizado; Uso de tecnologia barata (CHEN-ANI et al.,2009)

Segundo a Norma “Água de chuva-Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos” - NBR 15527/2007, as águas captadas pelo sistema devem ser destinadas aos usos não potáveis. Para Tomaz (2003), estes usos podem ser internos ou externos, tais como rega de gramado ou jardim, lavagem de carro, calçadas e bacias sanitárias.

Vale ressaltar que o aproveitamento de água de chuva no meio urbano não consegue suprir todas as demandas dos usuários, necessitando de maior ou menor complementação do sistema de abastecimento (BEZERRA, 2010). Dessa forma, é necessário que a rede de abastecimento do SAAC seja separada da rede de distribuição de água potável, para que na falta de uma das fontes de água a outra seja ativada.

Para Dornelles (2012), um dos entraves para implantação do SAAC é a adaptação do sistema em edificações existentes, pois são necessárias intervenções na estrutura, além de que há limitações no espaço disponível e incapacidade de suportar grandes cargas para instalação de redes hidrossanitárias. Entretanto, nas novas edificações o SAAC pode ser projetado simultaneamente ao projeto estrutural, como forma de minimizar as intervenções, reduzir os custos e reservar a área para implantação da cisterna.

Nessa perspectiva, vários estudos sobre o aproveitamento de água de chuva no meio urbano no tocante à redução dos usos domésticos em edificações foram realizados em vários países, buscando avaliar o potencial de economia da água potável, utilizando a área de coberturas das edificações residenciais, tanto no setor residencial (GHISI, 2006; ABDULLA e AL-SHAREEF, 2008) como em conjuntos multifamiliares (ZHANG *et al.*, 2009). No entanto, poucos trabalhos foram encontrados na região Nordeste do Brasil, dos quais, citam-se estudos sobre residências e escolas da zona rural e urbana (FERNANDES *et al.*, 2012; SILVA e ALMEIDA, 2009).

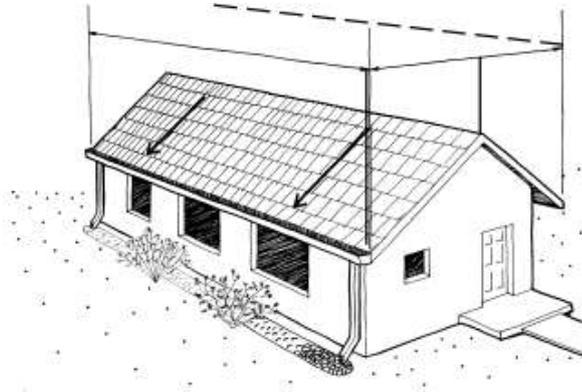
2.4 Componentes do SAAC

O SAAC para usos domésticos é composto basicamente por área de captação, componentes de transporte, condutores verticais, calhas, reservatório e tratamento, como descritos abaixo.

Área de captação: é a cobertura, responsável pela coleta da água. Telhados de diferentes materiais podem ser utilizados para captação de água, tais como: telha cerâmica,

fibrocimento, zinco, aço galvanizado, entre outras. A Figura 2.5 apresenta a área de captação com uso de telha.

Figura 2.5 - Área de Captação.



Fonte: WATERFALL (2006).

Condutores e calhas: canais responsáveis pelo transporte da água da chuva até o reservatório de armazenamento (MANO, 2004). A Figura 2.6 ilustra uma calha para coleta de água.

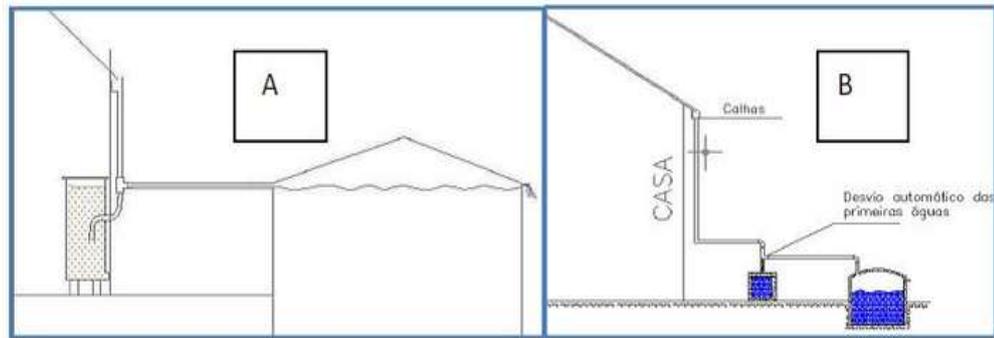
Figura 2.6-Calha para coleta de água.



Fonte: May (2004).

Desvio das primeiras águas: dispositivo hidráulico responsável pela remoção da sujeira do telhado, nos primeiros minutos de chuva, podendo ser acionado de forma manual ou automaticamente (TOMAZ, 2003). A Figura 2.7 apresenta os dois principais tipos de dispositivos encontrados na literatura, que se diferenciam pelo princípio de funcionamento: a) Fecho hídrico e b) Vasos comunicantes.

Figura 2.7-Tipos de dispositivos para desvio das primeiras águas de chuva.



Fonte: Projeto Cisternas/UFCG (2015).

Reservatório ou cisterna: espaço responsável por armazenar a água coletada, podendo ser construído em polietileno, alvenaria, fibra de vidro, aço carbono, entre outros (JAQUES, 2005); quanto ao posicionamento eles podem ser do tipo enterrado, apoiado sob o solo e elevado. A Figura 2.8 apresenta uma cisterna semienterrada construída de alvenaria.

Figura 2.8-Cisterna de alvenaria.



Fonte: Xavier (2010).

Tratamento: O tratamento da água coletada da chuva depende do uso que será destinado. Para os fins não potáveis, o uso de técnicas simples como filtração, sedimentação e cloração podem ser suficientes; entretanto, usos que exigem padrão de potabilidade podem ser utilizados no tratamento, como desinfecção por ultravioleta ou osmose reversa (MAY, 2004).

2.5 Dimensionamento dos SAAC

No dimensionamento de um SAAC, o reservatório do SAAC, em sua grande maioria, é o componente mais caro do projeto, portanto o seu dimensionamento deve compatibilizar os custos, um dos grandes entraves para sua implantação, com a garantia no fornecimento de água, dada em dias, meses ou anos. Para o dimensionamento, é essencial o conhecimento das

variáveis envolvidas nos métodos, como a precipitação local, demandas, área de captação e coeficiente de escoamento.

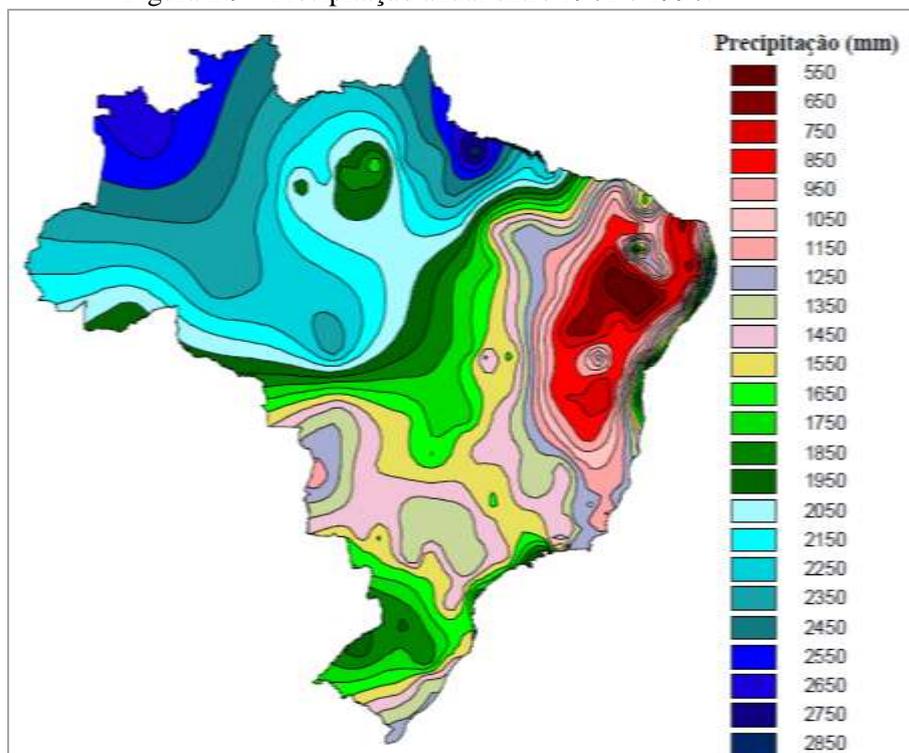
2.5.1 Precipitação

Para ROCHA (2009) a quantidade e a distribuição das precipitações influenciam diretamente o dimensionamento dos reservatórios ou cisternas. Quanto mais regulares e mais distribuídas as chuvas, menores os reservatórios de armazenamento das águas pluviais, pois à medida que água é consumida há uma reposição em um dado intervalo de tempo.

Existem vários métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais, que fazem uso de períodos chuvosos e não chuvosos, bem como uma longa série histórica de precipitação para bem representar a variabilidade local (ROCHA, 2009; GIACCHINI, 2010). Os dados podem ser utilizados em intervalos de tempo diário ou mensal, dependendo do modelo adotado.

A Figura 2.9 apresenta as precipitações médias anuais em todas as regiões do país, onde pode ser verificada a baixa magnitude das chuvas na região semiárida do Nordeste, com média inferior a 800 mm, e superior a 2.500 mm na região da Amazônia (ANA, 2005).

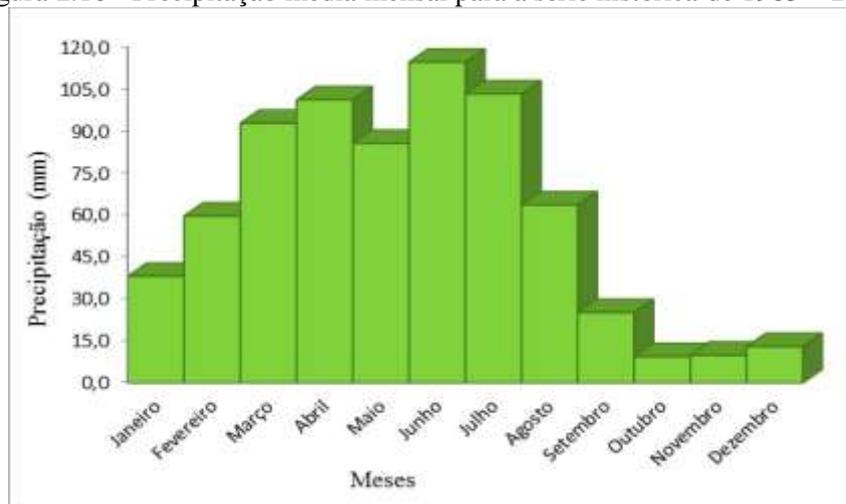
Figura 2.9 - Precipitação anual entre 1961 e 1990.



Fonte: ANA (2005).

Avaliando a precipitação média mensal da cidade de Campina Grande, através de série histórica que compreende os anos de 1983 a 2012 (Figura 2.10), os totais médios mensais variam de 9,0 mm no mês de outubro a 120,0 mm no mês de julho. Também é possível identificar que as precipitações estão mais concentradas entre os meses de março a julho, característica do clima semiárido do Nordeste, em especial da região do agreste, diferenciando-se das demais regiões do semiárido que geralmente tem período de chuvas entre os meses de novembro a fevereiro ou de fevereiro a maio.

Figura 2.10 - Precipitação média mensal para a série histórica de 1983 – 2012.



Fonte: AESA (2014).

2.5.2 Área de captação

A área de captação é uma variável que apresenta muitos erros de estimativas, pois sua determinação muitas vezes é inviabilizada por métodos ineficientes, embutindo muitos erros ou incertezas.

Entre os métodos e ferramentas utilizados para estimativas de área de captação podem ser citados o visualizador de dados espaciais *Google Earth*, para determinação da área de captação por meio da vetorização dos telhados e consequentemente o cálculo das áreas, porém limitado pelas condições de nitidez e resolução espacial das imagens disponíveis (Flores *et al.*, 2012), o uso de dados de área projetada de edificações para estimar a área de captação além de medições *in loco* (Ghisi e Oliveira, 2007). As geotecnologias como, por exemplo, o SIG, podem ser aplicadas para identificar áreas com potencial de captação de água de chuva em larga escala (Mbilinyi *et al.*, 2007).

2.5.3 Coeficiente de escoamento

O Coeficiente de escoamento, também conhecido como Coeficiente de *Runoff*, geralmente simbolizado pela letra “C”, representa a relação entre o volume de água escoado para o reservatório e o volume precipitado. Um valor muito utilizado de “C” é 0,8, ou seja, 20% de perdas no sistema, que correspondem à evaporação e infiltração na cobertura, transbordamento de condutos e calhas, entre outras (HAGEMANN, 2009). A Tabela 2.2 traz valores de “C” para diferentes tipos de materiais de cobertura.

Tabela 2.2 - Valores de “C” para diferentes tipos de coberturas.

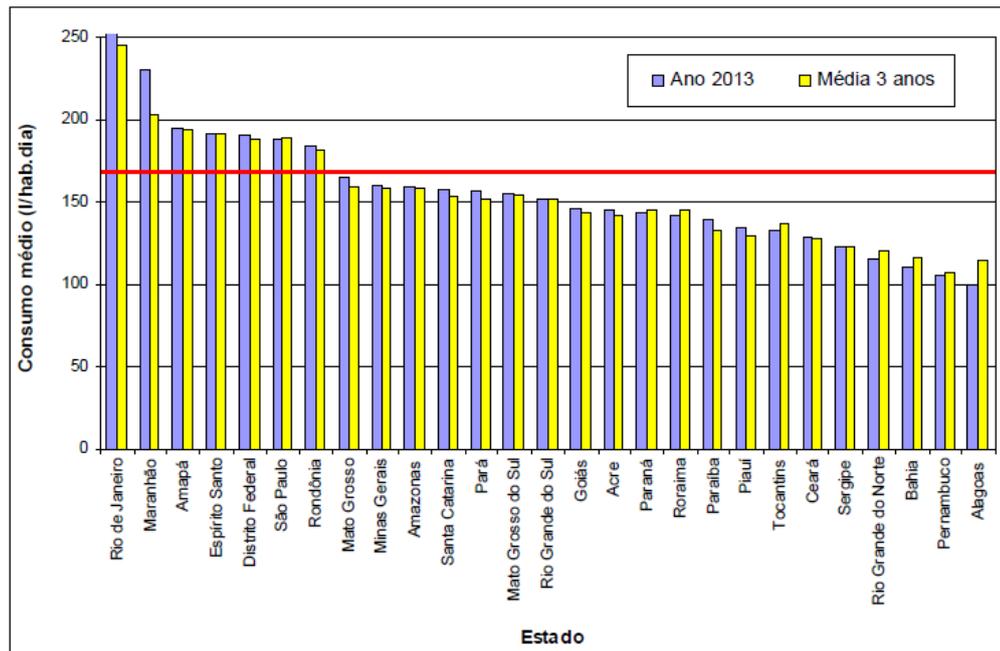
Tipo de cobertura	Coeficiente de escoamento	Fonte
Telha cerâmica	0,8 a 0,9	Hofkes e Frasier (1996) apud Tomaz (2003)
	0,8 a 0,9	Fendrich, 2002
Telha de cimento amianto	0,7 a 0,85	
Telha metálica corrugada	0,8 a 0,95	
Telhado verde	0,27	Khan (2001)
Superfície pavimentada	0,68	

2.5.4 Demanda

Outra variável muito importante para este estudo é a demanda de água para consumo residencial que, segundo Twort *et al.* (2000), pode ser influenciada pela cultura, religião, taxa de ocupação do solo, clima, padrão da habitação, capacidade de atendimento à demanda e valor da tarifa. Em nível mundial o consumo médio per capita de água é aproximadamente 170 litros por habitante (CLARKE, 2005; FLORES *et al.*, 2012), enquanto que no Brasil o consumo é de 166,5 l/habitantes/dia para o ano de 2013 (SNIS, 2013).

A Figura 2.11 apresenta o valor do consumo médio per capita nas regiões brasileiras, fornecidos pelos prestadores de serviços participante do SNIS, onde é possível observar, em 2013, que alguns Estados, como é o caso do Rio de Janeiro, tiveram valor superior à média dos últimos três (linha em vermelho), enquanto que os estados do Nordeste apresentaram valores inferiores à média.

Figura 2.11 - Consumo médio per capita dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em 2013, e a média dos anos 2011, 2012 e 2013.



Fonte: SNIS (2013).

2.5.5 Dimensionamento do reservatório

Muitos métodos para dimensionamento de reservatórios foram desenvolvidos, tais como iterativos, práticos, estatísticos, comportamentais, entre outros. Entretanto, existe uma grande divergência entre os resultados com a utilização do método adotado, como mostram várias pesquisas na literatura (DORNELLES *et al.*, 2010). Dessa forma, fica a critério do projetista a escolha do método ideal para o dimensionamento da cisterna.

A seguir são abordados os métodos de dimensionamento mencionados na NBR 15527 de 2007, que traz os requisitos para o aproveitamento de água de chuva no meio urbano através da captação em projeções horizontais para fins não potáveis.

2.5.5.1 Método de Rippl

Este método consiste basicamente em determinar a capacidade do reservatório com base na área de captação e na precipitação local (AMORIM e PEREIRA, 2008). Vale salientar que quanto menor o intervalo de tempo da série de precipitação (diário) maior a precisão no dimensionamento (ABNT, 2007). Através da combinação entre variáveis supracitadas têm-se as equações 2.1 e 2.2, onde o $V = \sum S_{(t)}$ para valores de $S_{(t)} > 0$ e $\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$.

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (2.1)$$

$$Q_{(t)} = C \times P_{(t)} \times A \quad (2.2)$$

Onde,

$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ; $Q_{(t)}$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t ; $D_{(t)}$ é a demanda no tempo t ; V é o volume do reservatório; C é o coeficiente de escoamento superficial; $P_{(t)}$ é a precipitação.

2.5.5.2 Método da simulação

O método da simulação utiliza o balanço hídrico com base na área de captação, demandas e série de precipitação para dimensionar o reservatório, como mostram as equações 2.3 e 2.4. Em alguns casos, os volumes do dimensionamento são pré-definidos pelo usuário ou indicados pelo método, dando melhor confiabilidade ao sistema (COHIM *et al.*, 2009). Este método é muito utilizado em estudos de aproveitamento de água de chuva na zona rural e urbana, como por exemplo, o trabalho de Ghisi e Oliveira (2007), que estima o potencial de economia de água em residências utilizando água de chuva na região Sudeste do país.

$$Q = P_{(t)} * A * C \quad (2.3)$$

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (2.4)$$

Onde:

$P_{(t)}$ é a precipitação ocorrida entre os dias $t-1$ e t (mm); A é a área de captação (m^2); C é o coeficiente de escoamento; $Q_{(t)}$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t ; $V_{(t)}$ é volume de

água no reservatório; $V_{(t-1)}$ o volume de água no reservatório no tempo $t-1$ (l); $D_{(t)}$ é a demanda no tempo t (l); $S_{(t)} \geq 0$ e $S_{(t)} \leq V$.

2.5.5.3 Método Azevedo Neto

Trata-se de um método prático, onde o valor da capacidade do reservatório está em função das viáveis envolvidas na Equação 2.5 (ABNT, 2007). Dornelles *et al.* (2010) fez uso deste método como uma das técnicas de dimensionamento de reservatório de SAAC.

$$V = 0,042 \times B \times A \times T \quad (2.5)$$

Onde,

B é o valor da precipitação média anual (mm); T é o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca; A é a área de captação (m^2); V é volume do reservatório (l).

2.5.5.4 Método prático alemão

Este é um método simplificado, ainda hoje utilizado para determinar o volume de reservatório, admitindo como valor mínimo 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável (ABNT, 2007; COHIM *et al.*, 2007), como mostra Equação 2.6.

$$S = \min(V, D) \times 0,06 \quad (2.6)$$

Onde:

S é o volume do reservatório (l); D é a demanda anual em valor numérico (l) e V é o volume anual de água aproveitável (l).

2.5.5.5 Método prático inglês

Consiste em determinar o volume do reservatório através da combinação das variáveis de precipitação, área e uma porcentagem de 5%, que corresponde ao volume de água coletada, como apresentam a NBR 155527/2007 e Bezerra *et al.* (2005), Equação 2.7.

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (2.7)$$

Onde:

P é a precipitação (mm); A é a área de captação (m²); V é o volume do reservatório (l).

2.5.5.6 Método prático australiano

Também é um modelo empírico, em que o volume do reservatório é selecionado por tentativas até encontrar valores otimizados de confiança e volume do reservatório, considerando $V_{(t)}=0$ para o primeiro mês em análise (ABNT, 2007; AMORIM E PEREIRA, 2008). Através da Equação 2.8 associada à Equação 2.9 tem-se o valor do reservatório, que é selecionado de acordo com nível de confiança expresso na Equação 2.10.

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (2.8)$$

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (2.9)$$

$$P_r = N_r/N \quad (2.10)$$

Onde:

C é coeficiente de escoamento; P é a precipitação média mensal; A é a área de captação; Q é o volume mensal de chuva; $V_{(t)}$ é o volume do reservatório no final do mês t; $V_{(t-1)}$ é o volume de água no tanque no início do mês t; D é a demanda mensal (m³); P_r é o número relativo de falhas; N_r é o número de meses que o reservatório não atende à demanda; N é o número total de meses.

2.6 Aspectos legais do aproveitamento da água de chuva

Muitos são os estudos no tocante ao aproveitamento de água de chuva no país, bem como as legislações que o norteiam, dando ênfase aos aspectos de retenção das águas pluviais e seu destino para usos secundários. A seguir, são apresentadas algumas leis municipais e

estaduais, a Política Estadual de Captação, armazenamento e aproveitamento de água de chuva da Paraíba e um Projeto de lei em âmbito nacional.

LEI N° 10.785/2003: Lei municipal do Paraná que visa o uso racional da água, conservação, conscientização dos usuários e adoção de fontes alternativas como, por exemplo, a captação de água de chuva nas novas edificações, como também a utilização de mecanismos poupadores (descarga com volume reduzido, torneiras com arejadores, entre outros). Ainda segundo a lei, a água coletada e armazenada em cisternas deve ser utilizada em atividades que não exijam o padrão de potabilidade da água fornecida pelo abastecimento público, tais como, rega de jardins, lavagem de veículos, etc.

LEI N° 4393/2004: Esta é uma Lei do Estado do Rio de Janeiro que estabelece a obrigatoriedade de empresas da construção civil a realizarem projetos que contemplem coletores, caixa armazenadora e de distribuição de água de chuva em conjuntos residenciais com mais de cinquenta famílias e em empreendimentos comerciais com mais de 50 m² de área construída. Ainda segundo esta lei, esses coletores devem ser separados das caixas de água potável e as águas coletadas devem ser destinadas aos usos secundários.

LEI N° 12.526/2007: A Lei Estadual de São Paulo torna pública a obrigatoriedade da captação da água de chuva e retenção de águas pluviais em telhados, terraços e lotes, que possuam edificações ou não e apresentem área impermeabilizada superior a 500 m², visando o planejamento e controle de águas urbanas, redução do consumo e o uso adequado da água potável.

LEI N° 10.033/2013: A Política Estadual de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Água de Chuva da Paraíba. Esta lei busca a regularidade e suficiência no abastecimento na zona rural e urbana, objetivando o melhor uso dos recursos hídricos no tocante à captação de águas pluviais, contribuir com o desenvolvimento sustentável, redução de problemas relacionados a enchentes e inundações e redução dos efeitos de períodos de estiagem. A Política, nos incisos I a XII do Art. 5, apresenta os instrumentos para incentivar o AAC, dos quais vale salientar:

II - utilização das diretrizes desta Lei como condição para acesso a programas públicos de financiamento imobiliário, habitação popular, e assentamento, humano, e apoio ao setor da construção civil;
V- utilização de formas de incentivos econômicos e não econômicos para captação, armazenamento e aproveitamento da água da chuva para edificações residenciais individuais e condomínios, industriais, comerciais, rurais, de lazer e recreação.

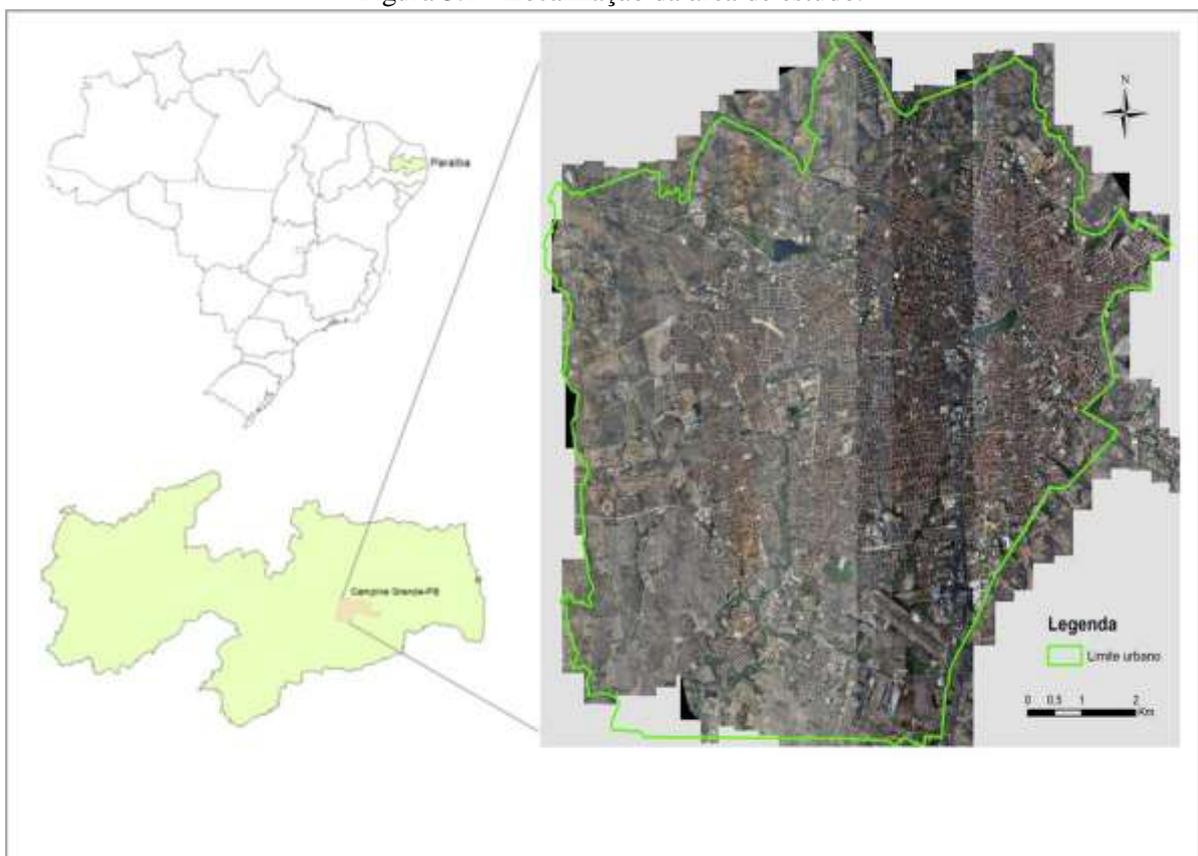
Projeto de Lei 7818/2014: O Projeto de Lei da Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais define normas para captação, incentivos financeiros e reuso de água de chuva nos municípios. Estão sujeitos às normas: *empreendimentos cuja a área de impermeabilização do solo seja superior a 1.000 m², parcelamento no solo com finalidade urbana e condomínios construídos em município de mais de 100 mil habitantes; municípios com históricos de secas ou enchentes; empreendimentos públicos; condomínios com consumo igual ou superior a 20.000 m³ de água por dia, entre outros.* A política também estabelece a criação do plano de manejo e drenagem das águas pluviais para cidades com mais de 100 mil habitantes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A cidade de Campina Grande está localizada no estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil, mais especificamente na bacia hidrográfica do rio Paraíba, na latitude sul de $7^{\circ}13'11''$ e latitude oeste de $35^{\circ}52'31''$. A Figura 3.1 apresenta a sua localização e o seu limite urbano, que representa o contorno da zona urbana estabelecida pelo IBGE.

Figura 3.1 - Localização da área de estudo.



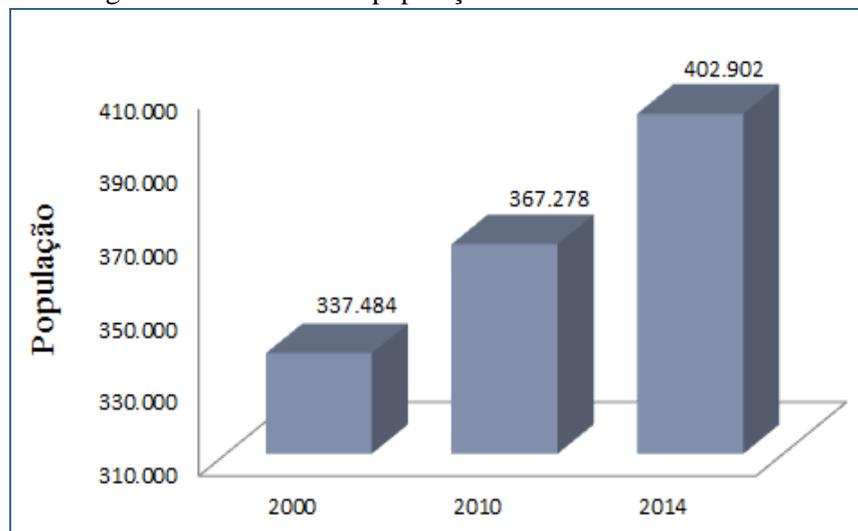
Fonte: IBGE (2104); SEPLAN/PMCG (2014).

O clima predominante é o semiárido, com temperatura máxima anual de $28,6^{\circ}\text{C}$, mínima de $19,5^{\circ}\text{C}$ e a média de $22,9^{\circ}\text{C}$. Também apresenta baixos índices pluviométricos com precipitações mais intensas entre os meses de abril a julho (ALBUQUERQUE, 2004).

A área de estudo é o perímetro urbano, que engloba uma área territorial de 90 km^2 e população urbana de 385.213 habitantes (IBGE, 2010), representando aproximadamente 95% da população total do município, distribuída em 440 setores censitários.

Uma característica marcante da cidade de Campina Grande é o crescimento da população urbana, como pode ser verificado na Figura 3.2, pois em apenas uma década ocorreu um aumento de aproximadamente 8,0%. O crescimento pode ocasionar mudanças na organização urbana (CORDÃO, 2009) e, conseqüentemente, problemas na estrutura urbana, que na maioria das vezes não consegue acompanhar a expansão dos núcleos urbanos. Um exemplo é o sistema de abastecimento, que tem como finalidade o fornecimento de água contínuo, mas apresenta dificuldades para alcançar todos os usuários, em especial os que vivem em áreas de conflitos sociais e econômicos.

Figura 3.2- Aumento da população nos últimos anos.



Fonte: IBGE (2014).

São muitos os atrativos que promovem o contínuo aumento da população na maior cidade do interior do Paraíba, dos quais têm destaque: localização geográfica, que permite o fácil acesso a outros centros; desenvolvimento nos aspectos econômico, educacional e tecnológico, entre outros (CORDÃO, 2009). Entretanto, a continuidade do crescimento urbano pode estar ameaçada por sua localização em zona de transição físico-climática, um dos fatores que contribui para sérios transtornos no abastecimento de água da cidade (RÊGO *et al.*, 2001).

Campina Grande é marcada por problemas no abastecimento de água em seus diferentes setores (comercial, industrial, irrigação e residencial), pois seu crescimento se deu ao longo de pequenos cursos d'água que perderam sua capacidade abastecedora (RÊGO *et al.*, 2000). Passou, então, a ser abastecida pelo manancial Epitácio Pessoa, mais conhecido como Boqueirão, assim como as demais cidades, distritos e povoados do denominado "Compartimento da Borborema".

O reservatório Eptácio Pessoa foi construído por volta do ano de 1957 pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, na cidade de Boqueirão de Cabeceiras, a cerca de 45 Km de Campina Grande, para atender principalmente o abastecimento humano, irrigação e perenização da calha do rio. Este formou um lago com área de 2.680 ha e volume máximo de projeto de 535.680.000 m³ (DNOCS, 2014). No entanto, o reservatório passou por levantamentos batimétricos que apontaram redução no volume e, hoje, o volume máximo do reservatório é de 411.686.287 m³ (AESAs, 2014). Para Rêgo *et al.* (2000) algumas hipóteses para a redução do volume são o assoreamento da bacia hidráulica e/ou erro de projeto maior que os detectados na primeira correção da relação cota-área-volume.

O reservatório Eptácio Pessoa desempenhou efetivamente sua função abastecedora até o início do primeiro ciclo de anos secos 1998-2002, impondo à sociedade a primeira crise no sistema de abastecimento (RÊGO *et al.*, 2012). Segundo Galvão *et al.* (2002), os agravantes foram os usos descontrolados da água, que foram estimados na fase que antecede à crise em 2,25 m³/s (“1m³/s para irrigação a montante, 1m³/s para abastecimento de Campina Grande e 0,25 para agricultura e abastecimento das cidades a jusante do manancial”). Para enfrentar o grave problema nesse período e evitar o colapso do manancial, tiveram início as primeiras iniciativas pelos órgãos gestores.

A primeira medida adotada, em 1998, foi o racionamento de água do sistema de abastecimento, quando a cidade foi dividida em duas zonas, norte e sul, e foi iniciada a suspensão da água de forma escalonada (BRITO e VIANNA, 2008). Porém, os anos vindouros (1999 e 2000) também tiveram aporte hídrico insuficiente e, conseqüentemente, dois novos racionamentos foram iniciados. Durante a efetivação dos três racionamentos ocorreu a suspensão de água fornecida pelo sistema de distribuição, iniciado com dois dias na semana e aumentado progressivamente até alcançar quatro dias na semana (RÊGO *et al.*, 2001). Nesse período o reservatório reduziu seu armazenamento a volumes críticos, chegando a valores alarmantes de 100.000.000 m³ e 75.000.000 m³ (RÊGO *et al.*, 2012).

Com o racionamento de água já efetivado no sistema de abastecimento, outro grupo de usuários, os irrigantes, continuavam a realizar suas atividades às margens do reservatório (bacia hidráulica) com grandes retiradas para manter a agricultura de subsistência, mesmo que de forma irregular e ilegal. No entanto, a suspensão da irrigação só aconteceu após alguns meses do início do racionamento de água, através de intervenções do Ministério Público - MP, que instaurou um inquérito para verificar a verdadeira situação do reservatório (RÊGO *et al.*, 2000). Um dos entraves nos estudos do manancial foi a falta de informações, pois não havia estações fluviométricas para medir as vazões afluentes ao manancial e a falta de

medidores para informar o real volume destinado ao abastecimento e os volumes retirados pelos irrigantes.

Ao término dos anos de crise, ocorreu novo ciclo de anos chuvosos, quando o manancial recuperou sua capacidade, chegando ao extravasamento em alguns anos. Entretanto, em 2012 iniciou-se um novo período de anos com baixa precipitação, onde os mesmos problemas enfrentados na crise passada se repetem, pois as medidas de gerenciamento não foram efetivamente aplicadas. Por exemplo, a soma das retiradas de água é superior à vazão de regularização do manancial, $1,23\text{m}^3/\text{s}$, estabelecida pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos-PERH, como mostra-se a seguir:

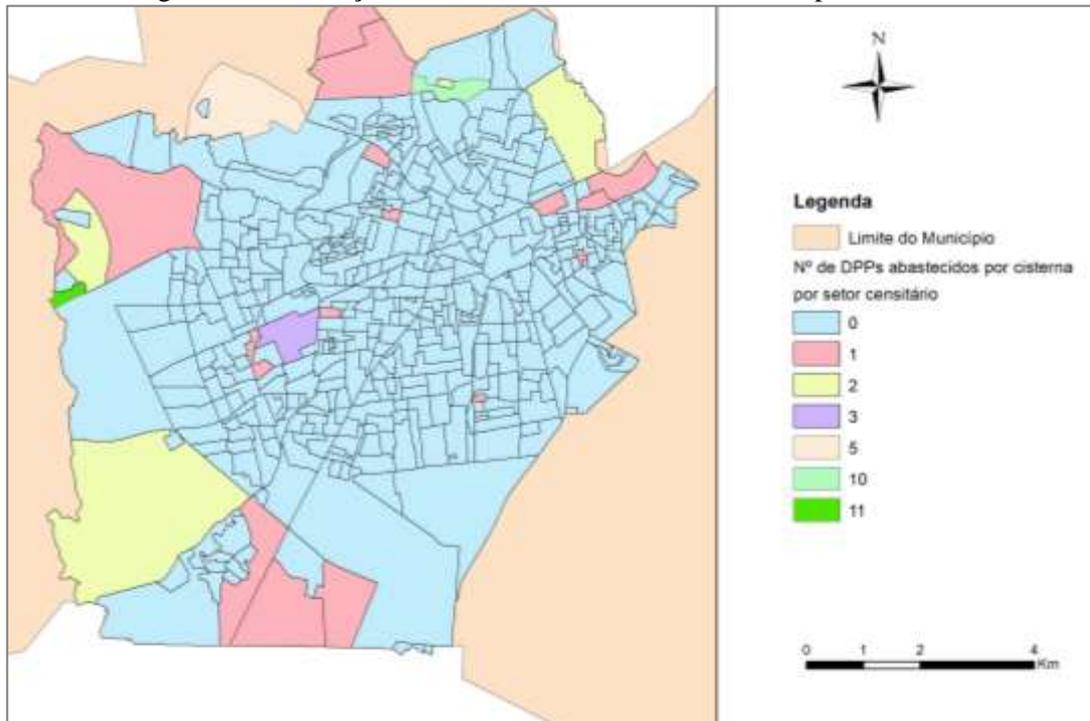
- Vazão outorgada à CAGEPA de $1,301\text{m}^3/\text{s}$ pela Agência Nacional de Água (RÊGO *et al.*, 2013);
- Vazão estimada da CAGEPA para o abastecimento de $1,5\text{m}^3/\text{s}$;
- Estimativa indireta do consumo de água na irrigação através do balanço hídrico de $0,95\text{m}^3/\text{s}$ (RÊGO *et al.*, 2012).

Diante desse novo período de crise (2012-actual), o Ministério Público do Estado da Paraíba, através da Procuradoria de Justiça de Defesa do Consumidor de Campina Grande, acionou a CAGEPA para elaboração do plano de contingência do uso da água, para evitar o colapso no SAA (MPPB, 2015), resultando em algumas medidas, tais como suspensão do abastecimento de água aos finais de semana, iniciado no mês de dezembro de 2014, e suspensão do uso da água para irrigação. Vale salientar que até o momento da escrita deste trabalho, o manancial apresentava apenas 21,68% do volume máximo (AESA, 2015).

Diante da problemática apresentada, surge a necessidade de propor o uso de fontes alternativas para aumentar a oferta no setor residencial, tendo destaque o aproveitamento de água de chuva, por ser uma técnica de fácil aplicação, utilizada em várias regiões no mundo como forma de reduzir as demandas sobre o SAA ou para aliviar as pressões sobre o sistema de drenagem pluvial.

Na zona urbana do município de Campina Grande, o aproveitamento de água de chuva ainda é pouco utilizado. São poucas as unidades domiciliares com a presença de cisternas, como verificado na Figura 3.3. Assim, estudos nessa área podem incentivar a captação e o armazenamento de água de chuva, principalmente para usos não potáveis, como fonte complementar ao sistema de distribuição, poupando as águas do manancial abastecedor, o Açude Boqueirão.

Figura 3.3- Utilização de cisternas na área urbana de Campina Grande.



Fonte: IBGE (2010).

3.2 Dados

Para estimar o potencial de oferta de água de chuva e a redução no sistema de abastecimento convencional no setor residencial da área estudo, se faz necessária a aquisição e tratamento dos dados de precipitação local, área edificada, coeficiente de escoamento, demandas, capacidade da cisterna, volume de chuva coletado, entre outros.

3.2.1 Dados pluviométricos

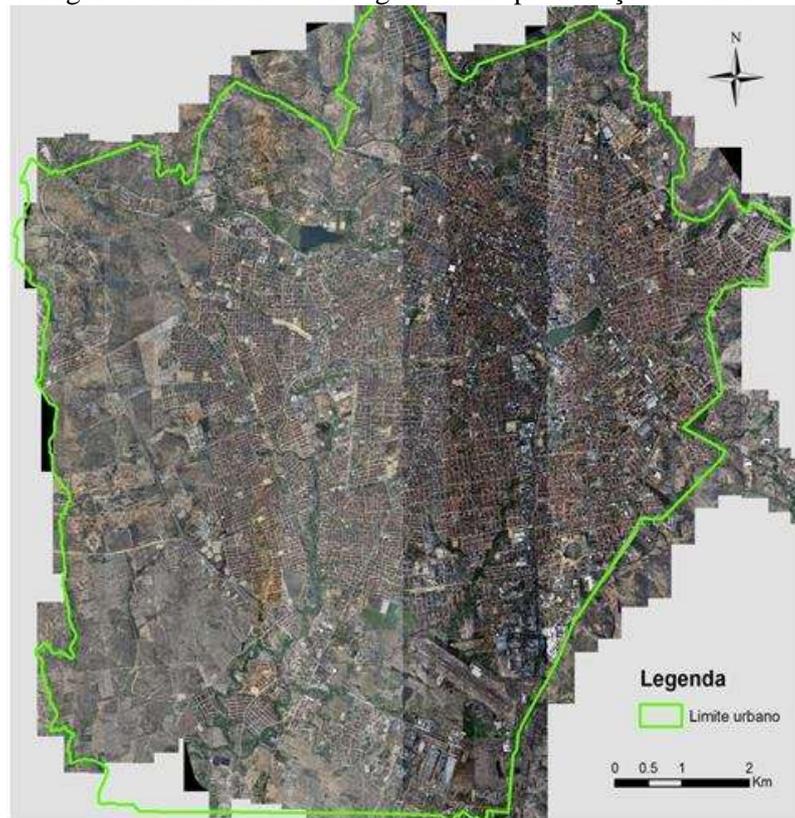
Os dados de precipitação foram fornecidos pela Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba – AESA. Foi utilizado um período de 30 anos (1983-2012), com dados diários, para melhor representação da variabilidade da precipitação local.

3.2.2 Unidade de aproveitamento de água de chuva

Para determinar as projeções horizontais das edificações, aqui denominadas Unidades de Aproveitamento de Água de Chuva (UAAC), consideradas como as áreas de captação, foi utilizado um mosaico de imagens aéreas de alta resolução espacial (10x10 cm) e sua

respectiva representação vetorial em forma de mapa digital (Figura 3.4), com informações de delimitações do lote, uso do solo e de edificações do meio urbano (SOUZA *et al.*, 2014). Estas informações foram cedidas pela Secretaria de Planejamento – SEPLAN – da Prefeitura Municipal de Campina Grande (PMCG), através de parceria com o Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG, para elaboração de estudos no meio urbano da cidade.

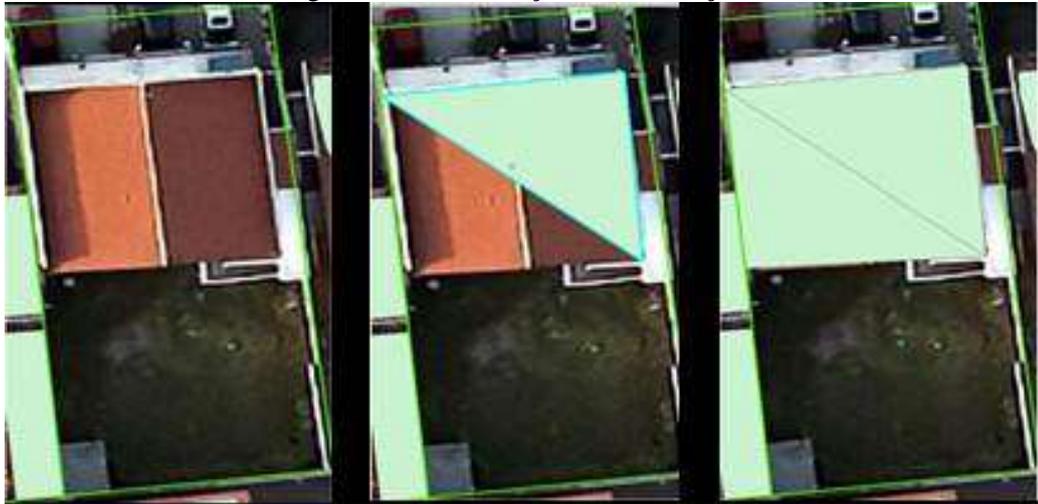
Figura 3.4 - Mosaico de imagem com representação vetorial.



Fonte: SEPLAN/PMCG (2014).

O mapa de coberturas fornecido pela SEPLAN/PMCG, com 108.000 edificações vetorizadas, entretanto, ainda apresentava inconsistências. Devido à incompletude destas informações, as projeções inexistentes foram vetorizadas utilizando um Sistema de Informação Geográfica (ArcGIS® 10.1), fazendo uso da interpretação visual das imagens como critério para as edições e digitalizações dos polígonos referentes às projeções horizontais das edificações. Para complementar as informações, foram vetorizadas mais de 28.000 edificações individualizadas, ou seja, foram desenhados polígonos sobre a imagem da edificação com uso da ferramenta *creat features*, totalizando um mapa de coberta com 136.000 UAAC (Figura 3.5).

Figura 3.5 - Vetorização das edificações.



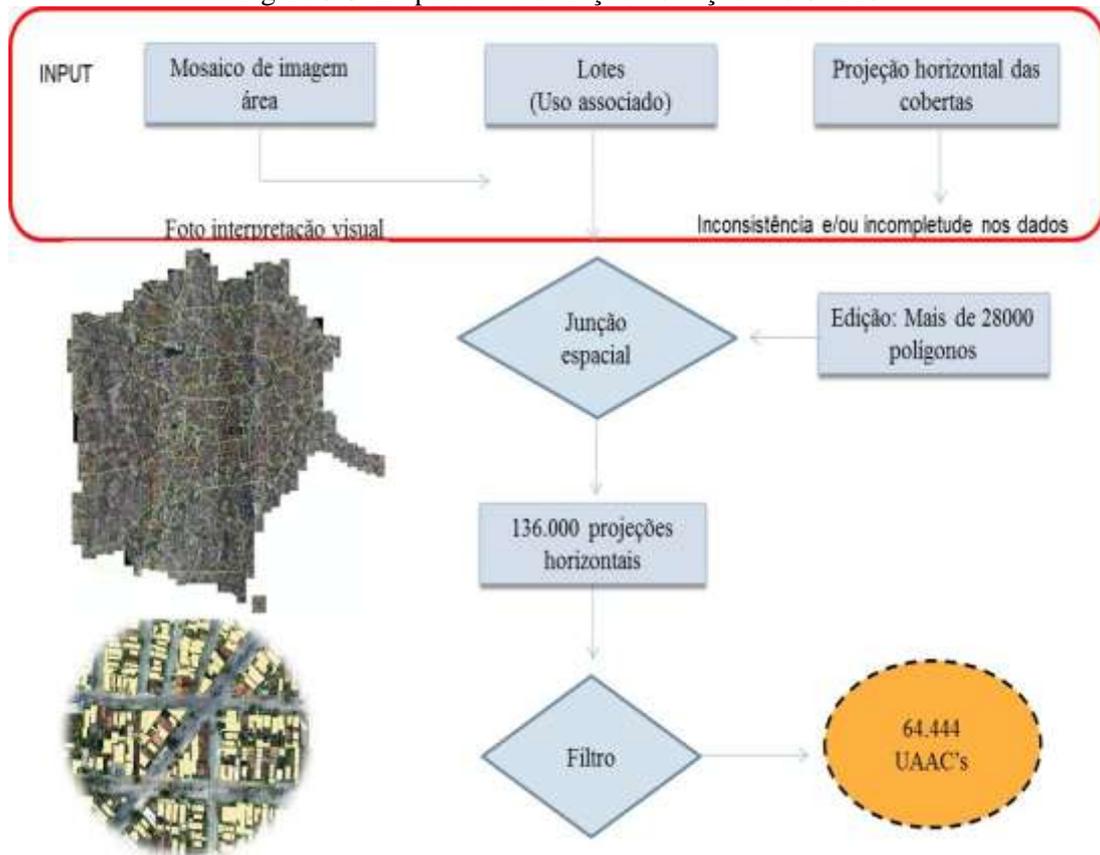
Apesar da incompletude dos dados, a base digital da SEPLAN/PMCG apresenta todas as informações de um cadastro multifinalitário urbano, dentre estes dados, a condição de ocupação e uso de cada lote. Para este trabalho a informação de uso e ocupação torna-se necessária no cálculo da área de captação (para a seleção de áreas residenciais, por exemplo). Após o processo de vetorização, os polígonos (*Features*) pertencentes ao mesmo lote foram somados utilizando a função *Summary Statistics* e, em seguida, transformados em ponto contendo todas as informações (*Feature to point*). Posteriormente foi utilizada a função de junção espacial, onde todas as informações do cadastro foram transferidas da base de “lotes” para a base de “projeções de cobertura (ou edificações)” através de variável comum.

Por fim, foram selecionadas as edificações através de um filtro (*Select attributes*) para identificar as UAAC com uso residencial e com área superior a 30 m², para excluir edificações que não são domicílios, tais como “puxadinhos”, casas de animais, entre outros, totalizando 64.444 UAAC.

Este tipo de análise espacial utiliza a capacidade dos SIG de reconhecer as relações topológicas entre os objetos gráficos. Os dados foram transferidos de uma camada de informação para outra através da relação de contiguidade existente entre as edificações (projeções) e os lotes.

A Figura 3.6 apresenta de forma resumida os passos supracitados para determinação das projeções horizontais das edificações, para completude das informações dos mapas fornecidos pela SEPLAN/PMCG. Este procedimento permite a acurácia das áreas de captação, pois as áreas são calculadas individualmente, representando seu tamanho real.

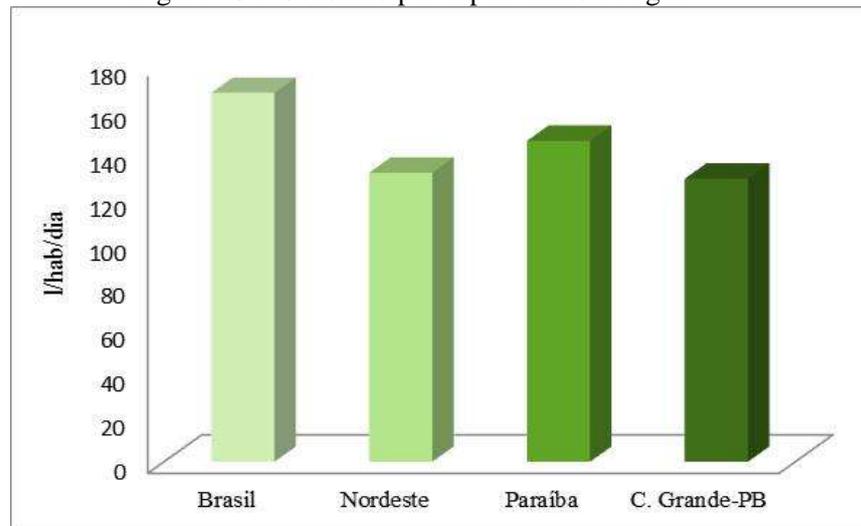
Figura 3.6- Etapas de vetorização e seleção das UAAC.



3.2.3 Demandas

Para estimar as demandas de água do sistema de distribuição convencional, foi realizada uma revisão na literatura, buscando os valores diários necessários para suprir as demandas de uma unidade habitacional, que leva em consideração o número de pessoas, classe social e nível de conscientização dos moradores. Entre as fontes, destacam-se o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, que traz valores estimados em nível nacional e estadual do consumo diário de água por habitante e a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA (Figura - 3.7). A CAGEPA forneceu esta informação à equipe da UFCG responsável pela elaboração do Plano Municipal de Saneamento de Campina Grande. Para o cálculo da demanda *per capita* foram utilizadas da CAGEPA, retirando-se as perdas físicas estimadas, ou seja, o consumo estimado representa o volume de água necessário para suprir toda a demanda diária por UAAC.

Figura - 3.7 Consumo per capita diário de água.



Fonte: SNIS (2010); CAGEPA (2014).

Com o consumo *per capita* estimado pela concessionária regional e o mapa de setores censitários, que corresponde à unidade de coleta de informações do IBGE respeitando os limites políticos e administrativos do município (Figura 3.8), foi possível estimar as demandas residenciais. Para o caso de Campina Grande, a área urbana é constituída por 440 setores censitários. Inicialmente, foi determinado o número médio de pessoas por domicílio em cada um dos setores censitários e, em seguida, esse valor foi associado ao número de edificações pertencentes à UAAC pelo consumo *per capita* de água na cidade, de 128,5 l/hab/dia, como mostram as equações 3.1 e 3.2.

$$y = x * n * 128,5 \quad (3.1)$$

Onde,

y= Demanda por UAAC

n= Número de domicílios por unidade de aproveitamento.

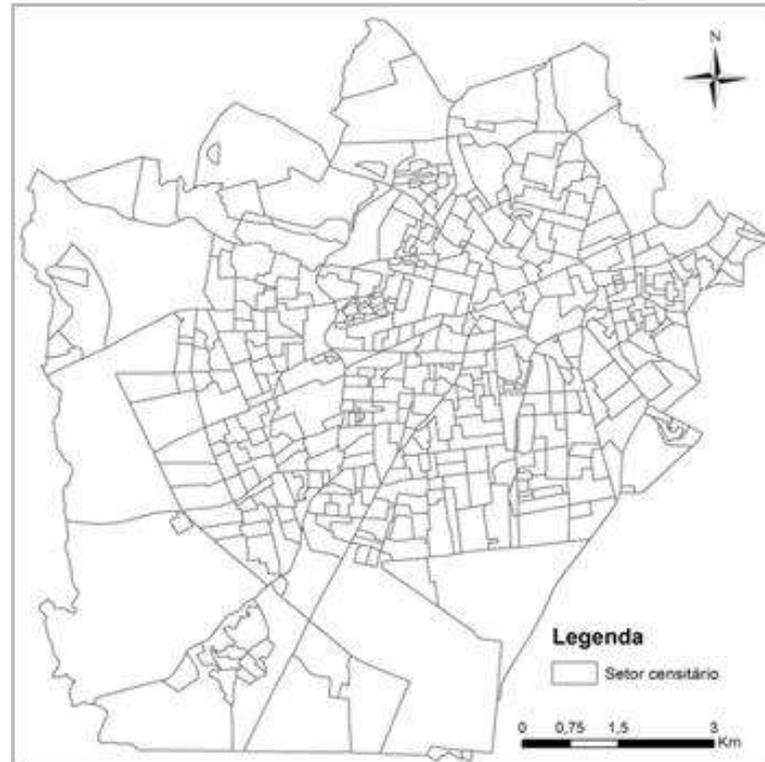
$$x = \frac{P}{D} \quad (3.2)$$

x= Número médio de pessoas por domicílio no setor censitário;

P= Número de pessoas por setor censitário;

D= Número de domicílios particulares permanentes – DPP;

Figura 3.8- Setores censitários do distrito sede de Campina Grande.



Fonte: IBGE, 2014.

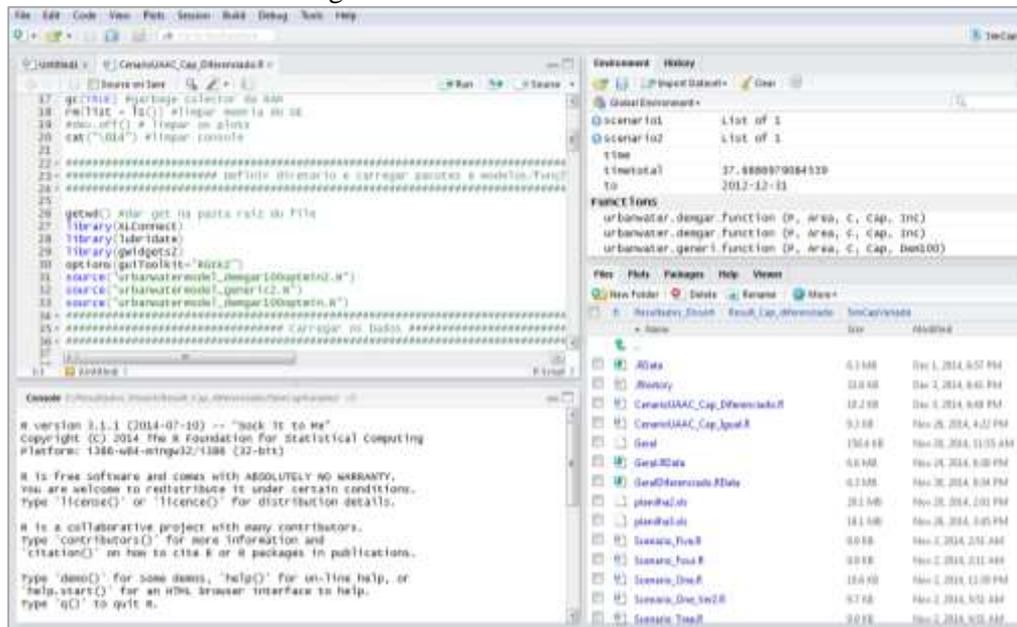
3.3 Simulação do balanço hídrico da UAAC

Para a realização da simulação do balanço hídrico das cisternas foi criado um código na linguagem computacional R. O software é uma linguagem e ambiente de desenvolvimento integrado que permite a realização de cálculos estatísticos e gráficos. Em seu estado original, o R é constituído basicamente por oito pacotes ou bibliotecas constituídas de um conjunto de rotinas e funções de ampla utilização (LOURENÇO *et al.*, 2014a), com possibilidade de expandir suas funcionalidades mediante a criação de pacotes, muitos deles disponíveis na rede de distribuição do R através do CRAN, repositório oficial do R, que vão desde ferramentas de análise de dados até conjunto de funções complexas.

O R vem sendo largamente utilizado para executar diferentes atividades, pois apresenta uma linguagem relativamente simples, interface amigável, distribuição gratuita e pode ser aplicado a diferentes áreas do conhecimento. Nesse contexto, alguns pacotes foram desenvolvidos e estão em desenvolvimento na área de recursos hídricos que perpassam os estudos da hidrologia estatística, pois os usos das ferramentas do software permitem a realização de estudos de gestão e gerenciamento de recursos hídricos através de modelos

hidrológicos, mudanças climáticas, dispersão de poluentes, operação de reservatórios, entre outros (LOURENÇO *et al.*, 2014b). A Figura 3.9 apresenta a interface do software.

Figura 3.9- Interface do software R.



Com o código do balanço hídrico implementado no software R, foram definidos diferentes cenários de capacidades do tanque (cisterna) para simulação. Dessa forma, foram estabelecidos seis cenários que correspondem às cisternas com dimensões facilmente encontradas no comércio local (Figura 3.10).

Figura 3.10- Dimensões dos reservatórios.

Cenário	Dimensões (m)				
	A	B	C	D	E
500 l	0,72	0,58	1,24	1,22	0,95
1.000 l	0,97	0,76	1,52	1,51	1,16
5.000 l	2,00	1,63	2,45	2,37	1,85
10.000 l	2,31	2,00	2,82	2,70	2,38
15.000 l	2,94	2,59	3,09	2,95	2,50
20.000 l	3,67	3,26	3,25	3,08	2,41

The diagram shows a trapezoidal reservoir with a curved top. Dimension A is the total height. Dimension B is the height from the bottom to the start of the curved top. Dimension C is the top width. Dimension D is the width of the straight section of the top. Dimension E is the bottom width.

Fonte: Fortlev (2015).

Para a aplicação deste método se fez uso das restrições estabelecidas na NBR 15527 de 2007 (ABNT, 2007):

- ✓ A simulação teve início com o reservatório cheio;
- ✓ A evaporação foi desprezada;
- ✓ Série histórica longa para representação da variabilidade climática.

Para os cálculos, se faz uso das equações 3.3 e 3.4, onde se tem $V_{(t)} \geq 0$ e $V_{(t)} \leq CR$.

$$V_{(t)} = Q_{(t)} + V_{(t-1)} - DemGar100 \quad (3.3)$$

$$Q = P(t) \times A \times C \quad (3.4)$$

Onde:

$V_{(t)}$ é volume de água no reservatório no tempo t (l); $Q_{(t)}$ é volume de chuva captado no tempo t (l); $V_{(t-1)}$ o volume de água no reservatório no tempo $t-1$ (l); $P_{(t)}$ é a precipitação ocorrida entre os dias $t-1$ e t (mm); $DemGar100$ é a retirada máxima diária t (l), ou seja, volume de água que poderia ser retirado sem oferecer falhas ao sistema; A é a área da UAAC (m^2); C é o coeficiente de escoamento; CR é o volume fixo do reservatório.

Para melhor entendimento, a demanda utilizada na simulação corresponde ao volume máximo diário, que neste caso é igual ao potencial máximo diário, que pode ser retirado da cisterna sem falhas em qualquer dia da simulação, ou seja, com garantia de 100%. Com relação ao coeficiente de escoamento foi estabelecido o valor fixo de 0,8. Os 20% restantes correspondem ao desvio das primeiras chuvas e às perdas embutidas na lavagem do telhado, evaporação, perdas nos condutos verticais e horizontais e calhas. Esta parcela da chuva permite a eliminação de grande parte dos materiais que estão sobre a superfície de captação como galhos de árvore, poeira e animais mortos que dificultam o tratamento da água, dependendo do uso ao qual se destina.

Com o código no software R implementado, foram elaborados dois grupos de simulações (Sem restrição e com Restrição), cada um, com seis cenários de capacidade definidos (Figura 3.11).

Figura 3.11 - Cenários de capacidade de cisternas.

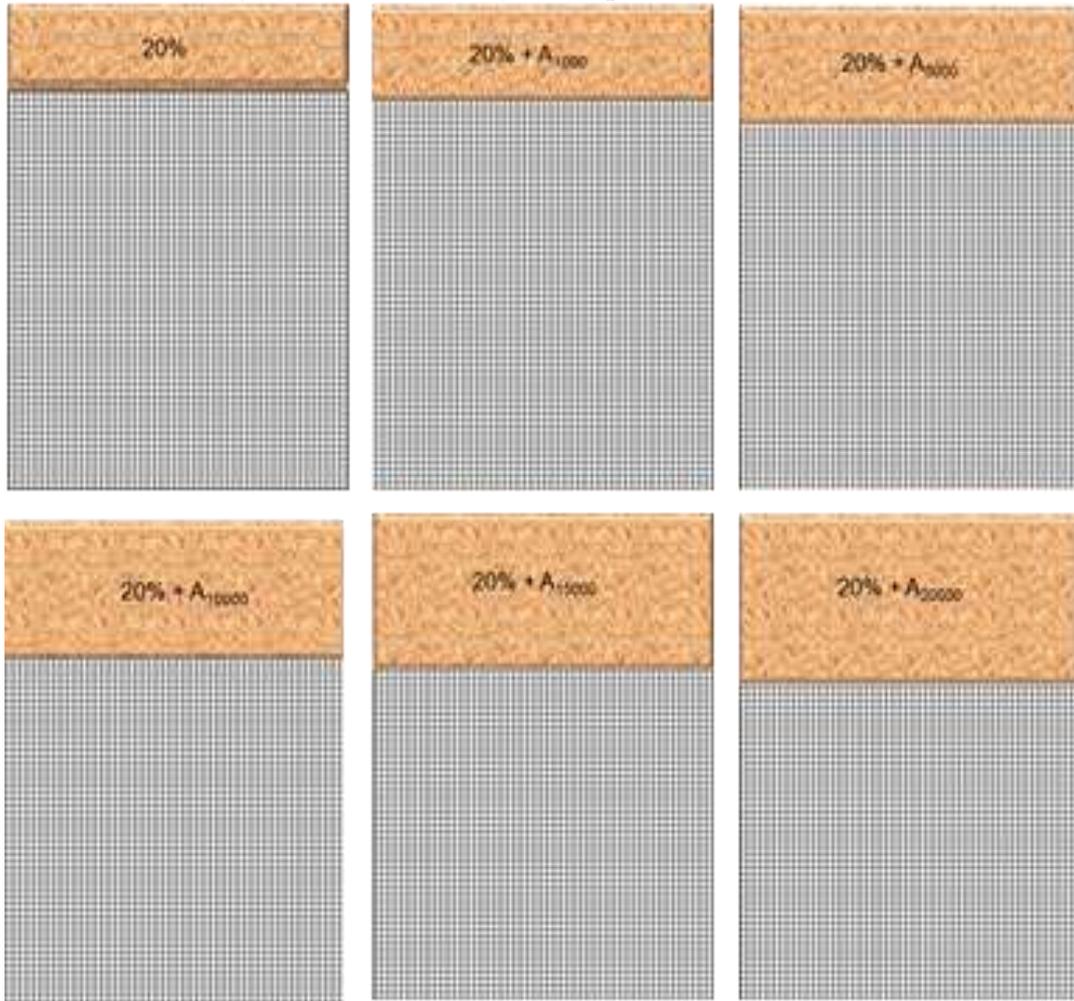
Cenários	Sem restrição	Com restrição
Cenário I	500 l	500 l
Cenário II	1.000 l	500 e 1.000 l
Cenário III	5.000 l	500, 1.000 e 5.000 l
Cenário IV	10.000 l	500, 1.000, 5.000 e 10.000 l
Cenário V	15.000 l	500, 1.000, 5.000, 10.000 e 15.000 l
Cenário VI	20.000 l	500, 1.000, 5.000, 10.000, 15.000 e 20.000 l

Grupo I - Sem restrição da área livre na UAAC: cada cenário é constituído por uma capacidade fixa de reservatório que poderia vir a ser implantado em cada uma das UAAC;

Grupo II - A implantação da cisterna fica condicionada à restrição urbanística de manter uma parcela permeável de 20% do total do lote para estabelecer conformidade com o Código de Obras do município, Lei nº 4130/2003, exceto para o Cenário I, onde os dois grupos têm capacidade fixa de 500 l independente da área livre. Este cenário decorre da pouca área necessária à implantação de um tanque de 500 l em qualquer área livre. A partir do Cenário II, as cisternas são selecionadas individualmente para cada uma das UAAC mediante a disponibilidade da área permeável. Assim, uma simulação onde só ocorreria implantação de cisternas com uma única capacidade, como acontece nos diferentes cenários do Grupo I, serão simuladas diferentes possíveis capacidades de cisternas a depender do espaço livre, sempre obedecendo a legislação municipal (Figura 3.12).

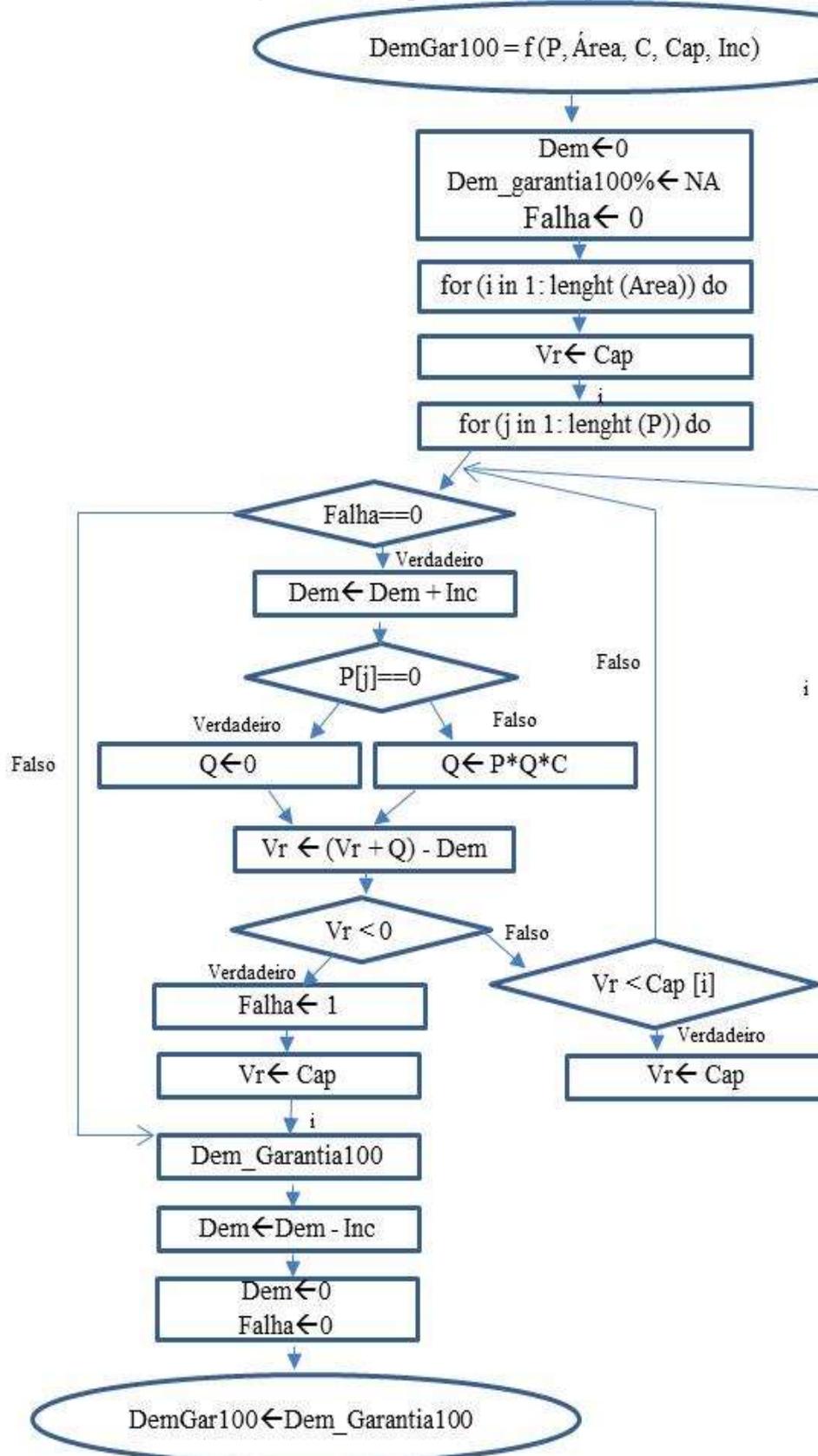
Utilizando o Cenário II de ambos os grupos para exemplificação, tem-se uma simulação com uma única capacidade para todas as UAAC (Grupo I), enquanto que no Grupo II as UAAC podem receber cisternas com capacidade de 500 l (independente da área permeável) e de 1.000 l (desde que tenha 20% da área permeável mais a área da cisterna). Para os demais cenários segue-se o mesmo raciocínio.

Figura 3.12 - Determinação da capacidade das cisternas.



Após a apresentação da escolha da capacidade das cisternas, a seguir é exposta a determinação da retirada máxima diária, ou potencial máximo diário, denominada aqui como “DemGar100”, para cada uma das UAAC, em função das variáveis da série de precipitação ($P_{[j]}$), área de captação em cada uma das UAAC ($\text{Área}_{[i]}$), coeficiente de escoamento (C) e capacidade do reservatório ($\text{Cap} = \text{CR}$). O incremento (Inc) entre rodadas foi de 3 litros. A Figura 3.13 apresenta as etapas do algoritmo para determinar a “DemGar100” para os cenários do Grupo I, não admitindo falha diferente de zero.

Figura 3.13 - Etapas do algoritmo para determinação da “DemGar”.



3.4 Volume de chuva aproveitável

O volume anual de água de chuva representa quantidade de água coletada através dos telhados das UAAC, desconsiderando as perdas por evaporação, nos dutos e calhas e a limpeza do telhado da área de captação. Dessa forma, o volume aproveitável corresponde à soma de toda a retirada máxima diária ou potencial máximo diário que cada cisterna pode oferecer, diante das variáveis utilizadas na simulação. O volume aproveitável foi obtido através da equação 3.5:

$$V = \sum_{i=m}^n (\text{DemGar}100)_{Ai} \quad (3.5)$$

Onde:

V= Volume anual aproveitável;

D= Retirada máxima diária ou potencial diário máximo.

3.5 Potencial de economia de água potável

Para estimar o potencial anual de economia de água potável com a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva, é necessário o conhecimento do volume anual coletado através das áreas de captação das UAAC, bem como das demandas anuais. Ressalta-se que a água de chuva pode substituir de forma parcial ou total o uso da água potável. O potencial anual de economia de água potável do sistema convencional de abastecimento foi obtido através da equação 3.6:

$$PEAP = \frac{\sum V}{\sum D} \times 100 \quad (3.6)$$

Onde,

PEAP = Potencial de economia de água potável;

V= Volume anual aproveitável;

D= Demanda anual das UAAC.

3.6 Espacialização dos resultados

Após as simulações dos seis cenários de capacidade de cisternas realizadas no software R, os resultados foram analisados em planilhas do Excel, no formato csv, e importados pelo ArcGis 10.1[®]. Para unir essas as tabelas às feições (lotes) no ambiente SIG, utilizou-se o campo que contém atributos em comum, nesse caso específico através do código identificador do imóvel, denominado de LoteID. Após a integração dos dados, tornou-se possível a espacialização das informações e melhor visualização dos resultados através de mapas gerados de área de cobertura das UAAC, demandas e potencial anual de aproveitamento de água de chuva definidos em classes, como forma de evidenciar as áreas com maior potencial e possibilidade de implantação de SAAC.

Dessa forma, pode-se apresentar, aos órgãos públicos municipais, ao comitê de bacia e à população em geral, as áreas ou zonas com maior importância no tocante ao potencial de aproveitamento de água na cidade de Campina Grande, que devem ser alvo de incentivos financeiros ou conscientização ambiental para fazer uso de cisternas e seus benefícios para os sistemas de abastecimento e drenagem urbana.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Unidades de aproveitamento

Como descrito no Capítulo da Metodologia, o processo de vetorização das edificações foi realizado com o auxílio do ArcGIS através de um procedimento simples que permitiu identificar as áreas edificadas (área de captação) de forma individualizada, chegando ao valor de área mais próximo do real, diferenciando de outras metodologias que estimam a área de captação média do telhado para toda a cidade, como as propostas por Ghisi *et al.* (2006) e Lima *et al.* (2011). A complementação das informações de áreas de cobertura consistiu basicamente em desenhar polígonos sobre as projeções inexistentes dos mapas digitais fornecidos pela SEPLAN/PMCG. A seguir, foi extraído um mapa com as áreas referentes ao setor residencial. Os lotes com uso comercial e industrial foram descartados por não fazer parte deste estudo, bem como as unidades multifamiliares, pela falta de informações consistentes, e UAAC com área edificada inferior a 30m², pois possivelmente não são domicílios residenciais. Com as áreas definidas, foi realizada uma união entre as áreas de cobertas pertencentes ao mesmo lote – UAAC.

A Figura 4.1 destaca as principais etapas do processo de vetorização das edificações por UAAC, partindo do conhecimento da área de estudo através de imagens aéreas a determinação das áreas edificadas através do procedimento de vetorização - UAAC. Com este detalhamento é possível identificar no meio urbano as áreas com maior possibilidade de captação e, assim, priorizá-las em programas governamentais ou como alvo de campanhas de conscientização da sociedade para adoção espontânea do sistema de aproveitamento de água de chuva na zona urbana, como forma de aumentar a oferta de água na busca pela sustentabilidade hídrica.

Figura 4.1-Etapas da vetorização das áreas de coberta.

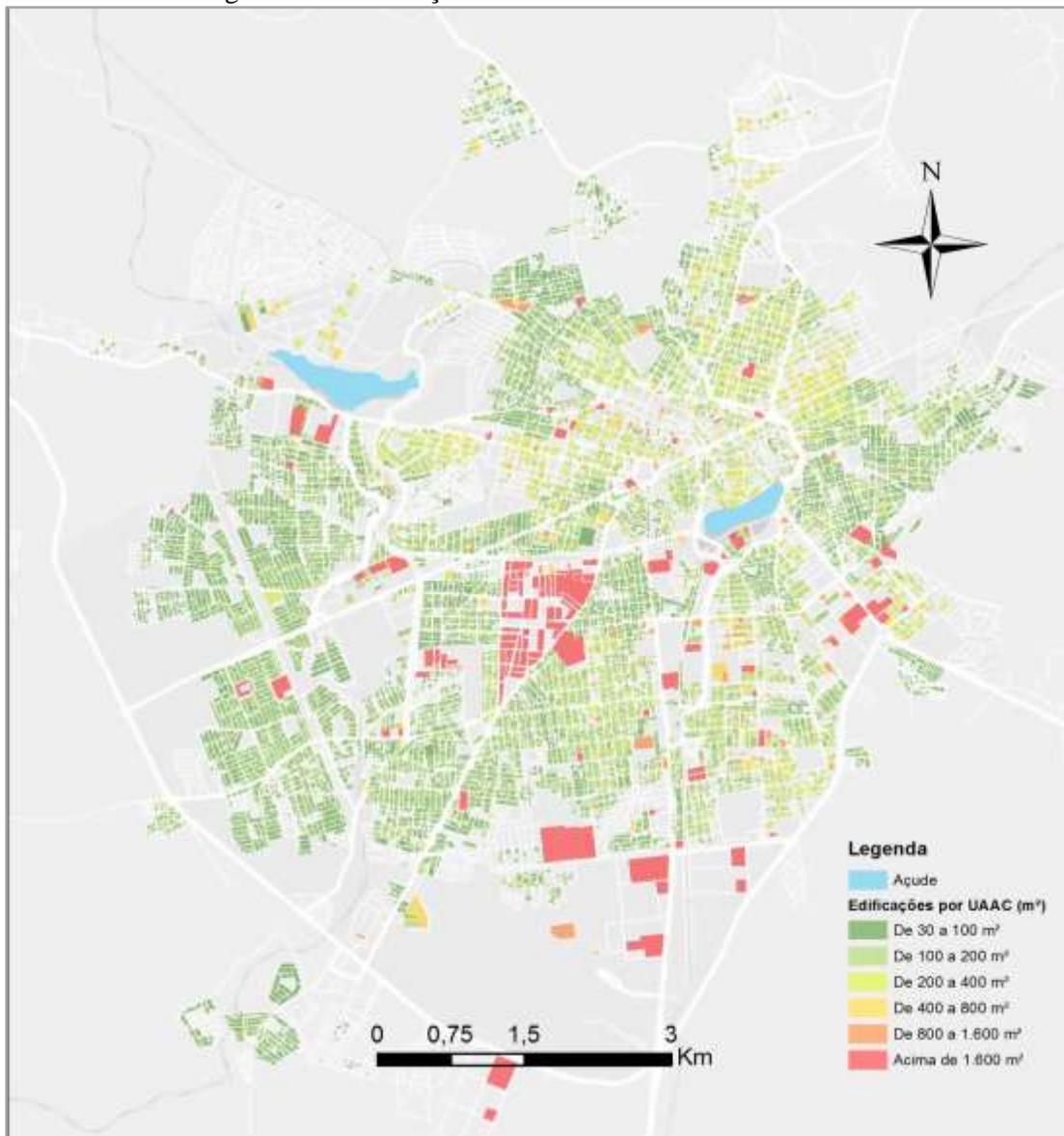


Fonte: Autor, a partir de dados da SEPLAN/UFCG (2014).

A - Imagem aérea de alta resolução; B - Imagem área com o mapa digital de projeções de cobertas desatualizada; C - Projeções das áreas edificadas com a delimitação do lote; D - Mapa atualizado do setor residencial.

A Figura 4.2 apresenta as edificações vetorizadas por unidades de aproveitamento de água de chuva, totalizando 64.444 UAAC, onde é possível verificar através da gradação de cores que as áreas edificadas por lote estão concentradas nas classes I e II, que possuem área edificada máxima de 200 m². Existem UAAC com grandes áreas edificadas, possivelmente pela não divisão dos lotes, o que geralmente acontece em bairros novos ou invasões, ou então erros de atualização do imóvel no mapa de uso do solo.

Figura 4.2-Distribuição das UAAC e suas áreas edificadas.

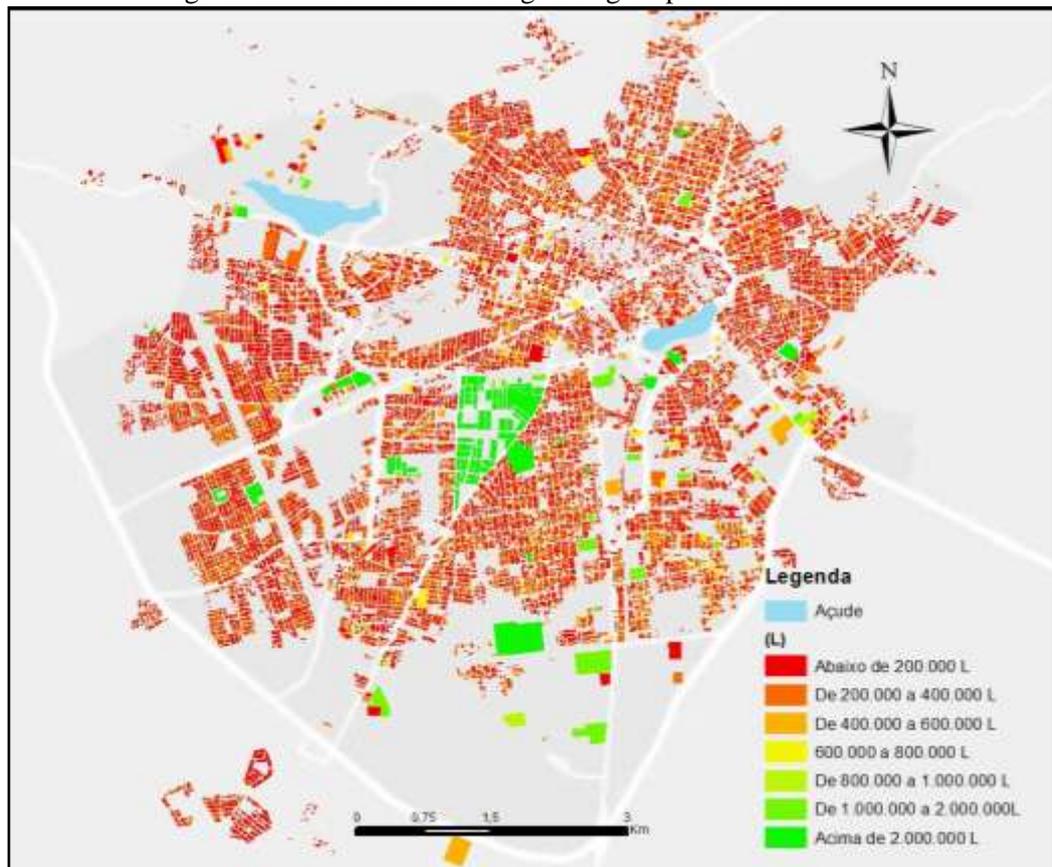


Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

4.2 Demandas

As demandas de água foram estimadas por UAAC com o intuito de determinar o volume de água necessário ao atendimento dos usos potáveis e não potáveis da forma mais realista possível com os dados disponíveis. A informação de demanda *per capita* aliada à informação do número médio de pessoas por DPP por setor censitário permite supor a distribuição da primeira variável espacialmente, apesar de haver outros fatores, como renda, interferindo nesse valor, não considerados explicitamente neste momento. A Figura 4.3 apresenta o volume anual necessário às UAAC para todos os usos, onde é possível notar a distribuição da variação no volume de água consumido pelos usuários na área urbana.

Figura 4.3- Volume anual de água exigido por UAAC.



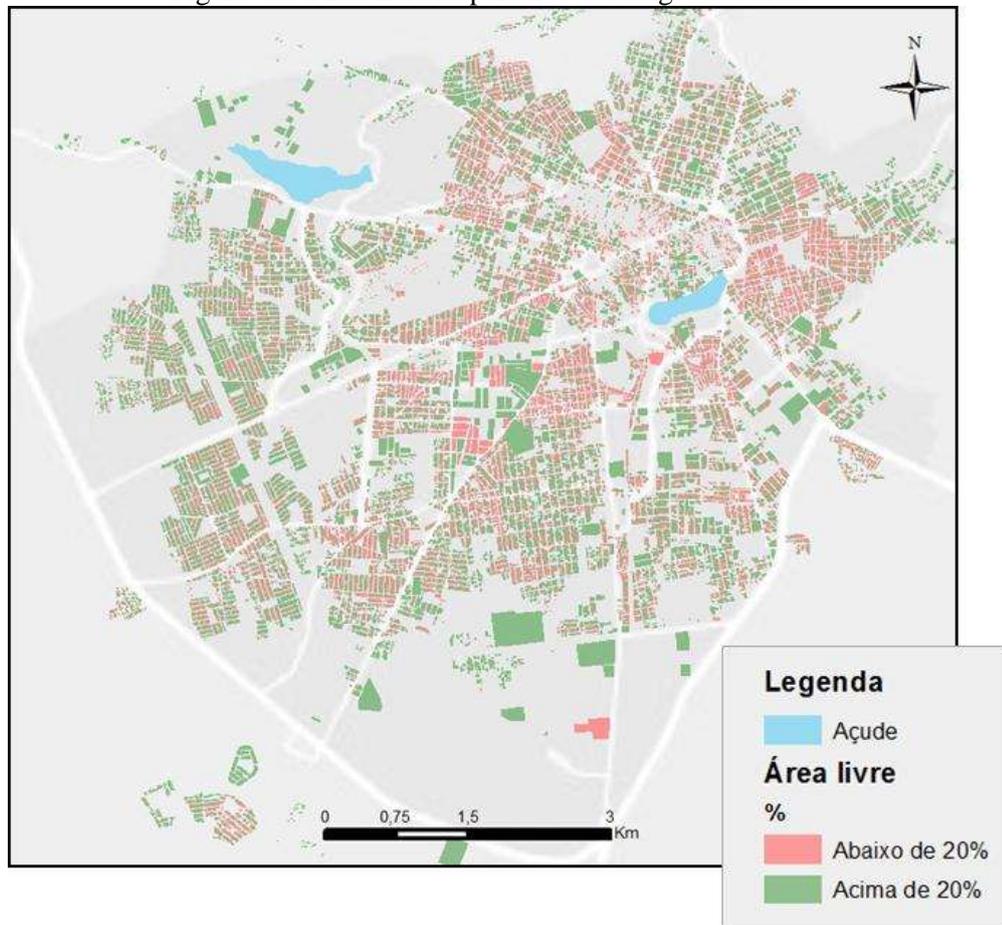
Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

4.3 Restrição urbanística

A área de implantação de cisterna em muitos casos é um grande condicionante, pois muitos terrenos não possuem área livre suficiente. Dessa forma, é essencial um estudo preliminar para identificar as áreas com possibilidade de alocação de cisternas, atendendo a restrição urbanística do Código de Obras municipal que destina uma parcela do solo para áreas permeáveis. Neste contexto, este tipo de trabalho permite dar maior visibilidade, à população e aos gestores públicos, para a identificação de áreas prioritárias para implantação dos SAAC sem comprometer a parcela do solo destinada à infiltração das águas de chuva. Também é possível salientar que a adoção desta restrição urbanística permite selecionar a melhor capacidade de cisterna para cada UAAC, assim evitando custos desnecessários para o usuário. Em se tratando de programas governamentais em nível de cidade de pequeno, médio e grande portes, permite a realização de simulações com resultados mais próximos do real, pois, como pode ser verificado nos resultados a seguir, existe uma diferença significativa quando atendida a restrição.

A Figura 4.4 apresenta as porcentagens de área livre por UAAC para implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva na malha urbana de Campina Grande.

Figura 4.4- Área livre respeitando o Código de Obras.



4.4 Potencial anual de aproveitamento

O volume anual de água de chuva coletado ou potencial de captação anual nas UAAC foi determinado através das simulações do balanço hídrico da cisterna com diferentes cenários de capacidade, como apresentado na Metodologia, ressaltando que as simulações foram realizadas de forma a oferecer garantia de 100% ao sistema, ou seja, ao longo do tempo ocorre uma retirada de água fixa não comprometendo os usos aos quais se destina essa água.

A Tabela 4.1 apresenta o volume anual de água de chuva aproveitável nos diferentes cenários para o setor residencial da área urbana de Campina Grande que podem ser utilizados para os usos não potáveis. Através dos resultados das simulações é possível verificar que o volume anual coletado aumenta com a variação da capacidade da cisterna, pois quanto maior

essa capacidade menor será a dependência do uso de água fornecida pelo sistema de abastecimento de água público.

Tabela 4.1- Potencial anual de captação de setor residencial.

Cenários	Sem restrição Volume anual (l/ano)	Com restrição Volume anual (l/ano)
Cenário I	106.856.670	106.856.670
Cenário II	202.785.240	188.536.005
Cenário III	737.251.455	640.153.425
Cenário IV	1.232.760.855	1.039.878.795
Cenário V	1.577.985.885	1.305.257.520
Cenário VI	1.833.556.695	1.520.681.250

Neste contexto, os dois grupos de simulações apresentaram aumento da oferta hídrica, em especial para os Cenários IV, V e VI, que permitem maiores capacidades de armazenamento. Entretanto, os cenários que corroboram com o Código de Obras apresentam potencial anual de captação mais realista, pois a capacidade da cisterna estabelece uma relação direta com a área de implantação, ou seja, quanto maior a área livre do lote, maior a capacidade da cisterna. Assim, é possível estimar o volume de água pluvial com maior precisão. Portanto, as simulações com restrição urbanística permitem a seleção da melhor capacidade da cisterna, contribuindo para o planejamento e programas de implantação de cisternas no meio urbano, diferindo dos métodos de implantação de cisternas no meio rural, onde a principal variável é o atendimento às demandas para usos domésticos.

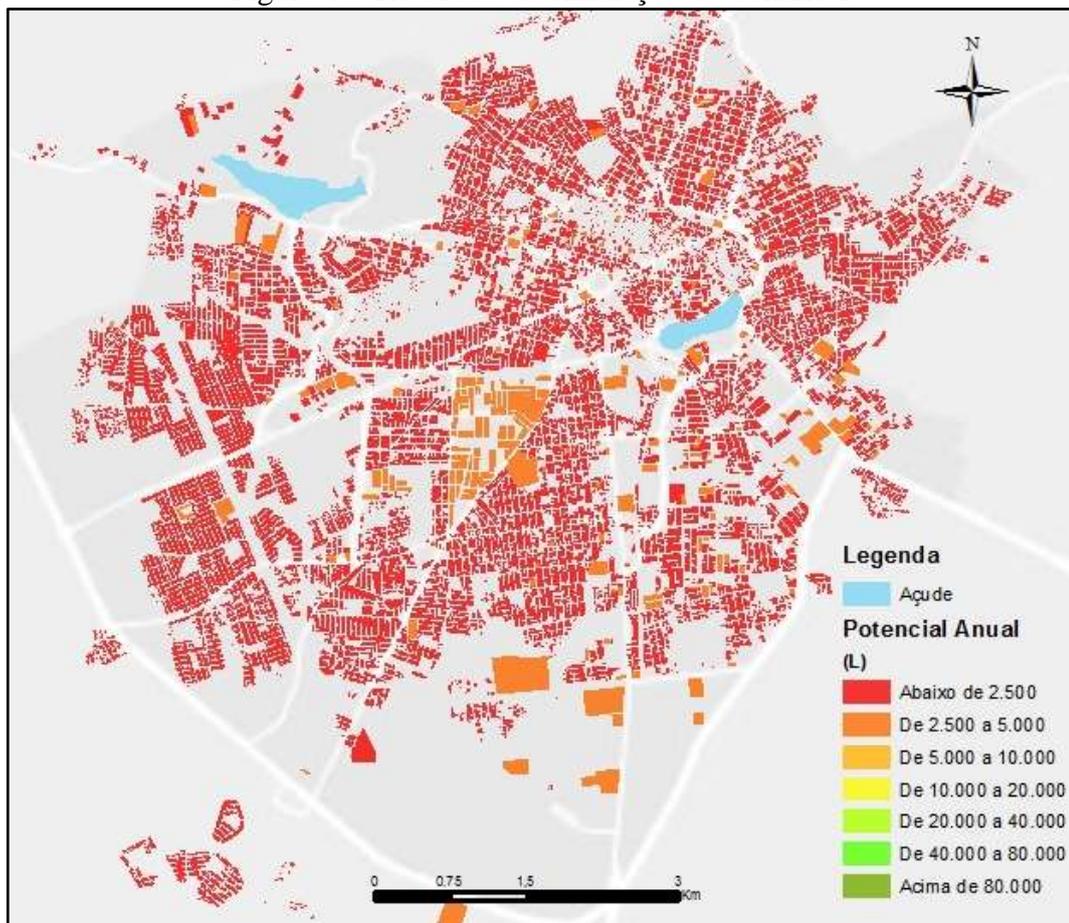
Os demais cenários (I, II e III) apresentaram resultados menos expressivos, porém não menos importantes, pois para uma região propensa a dificuldades com o abastecimento de água, todas as formas que minimizem os efeitos da sua falta são relevantes. Além disso, as cisternas nestes cenários, devido às suas menores capacidades, requerem menores áreas de instalação, podendo ocupar pequenas áreas livres do lote, ou até mesmo áreas cobertas da residência, como, garagem, edícula e outras.

Outro aspecto a se considerar na escolha da capacidade é o valor comercial da cisterna, pois este é o componente mais oneroso do SAAC. Dessa forma, a seleção deve ser feita de forma a otimizar a relação custo/benefício da implantação do sistema: se a diferença entre o potencial de acumulação de duas cisternas for insignificante, é mais recomendável a seleção da cisterna com menor valor. Segundo estudos de Gomes (2012), o custo de implantação de uma cisterna de placa de 16.000 litros na zona rural do semiárido de Minas

Gerais, está em torno de R\$ 1.600,00, porém na área urbana o valor é variável e possivelmente superior, devido ao tipo de material, capacidade, fabricante e formato.

A seguir serão apresentados de forma comparativa os mapas de potencial anual de captação de água de chuva, utilizando os dois grupos de simulações. A espacialização destes dados permite identificar as áreas com maior possibilidade de acumulação de água por UAAC. Os resultados da simulação do Cenário I, usando-se os dois grupos de simulações (Sem restrição e Com restrição), espacializados (Figura 4.5), mostram que o uso de cisternas de 500 l limita o potencial anual de aproveitamento de água de chuva em 5.000 l de água, no máximo, por UAAC. Dessa maneira, subestima o real potencial para áreas com a possibilidade de implantação de cisternas com maior capacidade de armazenamento, como apresentado nos resultados seguintes.

Figura 4.5-Resultado da simulação do Cenário I.

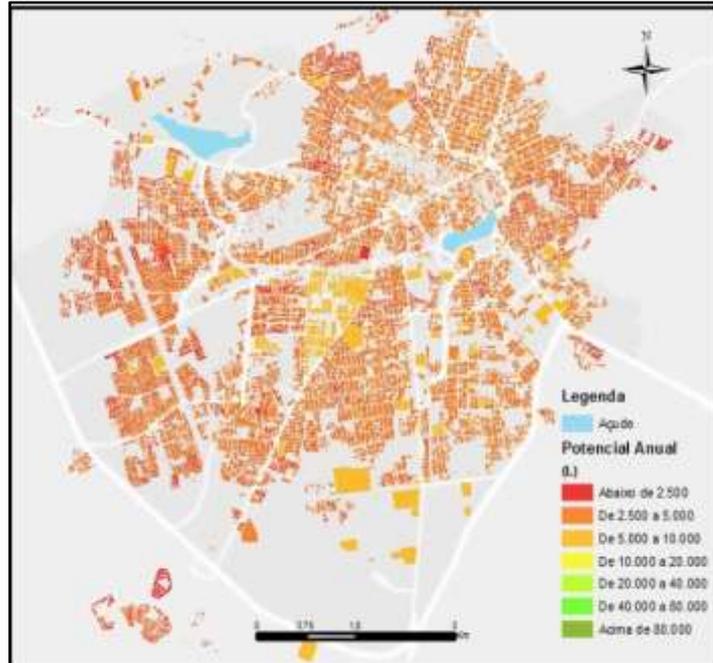


Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

Os resultados da simulação do Cenário II, apresentados nas Figuras 4.6 e 4.7, mostram que o uso de cisternas de 1.000 l permite um potencial anual de aproveitamento de água de chuva de até 10.000 l de água por UAAC, sendo que, na aplicação da metodologia com os

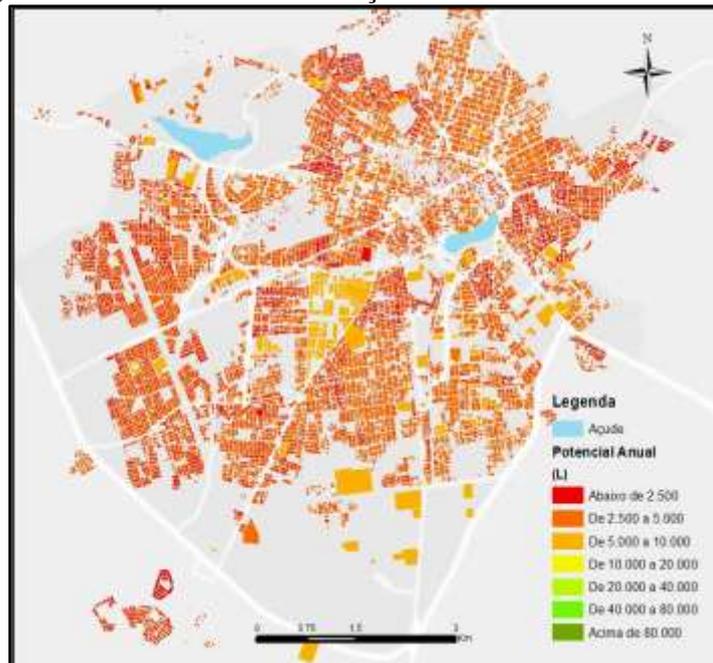
cenários com restrição de área livre (Figura 4.7), a quantidade de lotes com mesmo potencial anual de aproveitamento de água diminui em comparação aos cenários estimados sem restrição de área permeável (Figura 4.6), devido à manutenção de 20% da parcela do solo permeável, impedindo a implantação da cisterna com a mesma capacidade de reservação em todas as UAAC.

Figura 4.6- Resultado da simulação do cenário II sem restrição.



Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

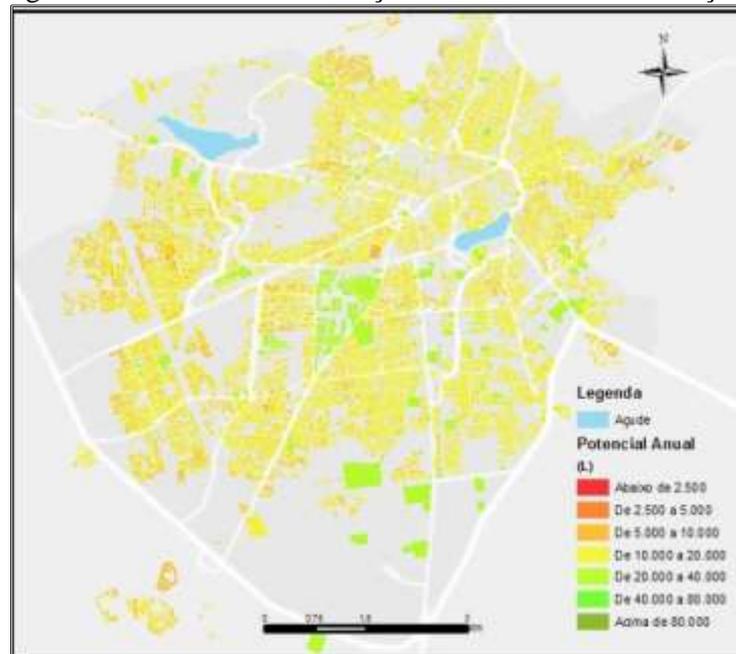
Figura 4.7-Resultado da simulação do cenário II com restrição.



Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

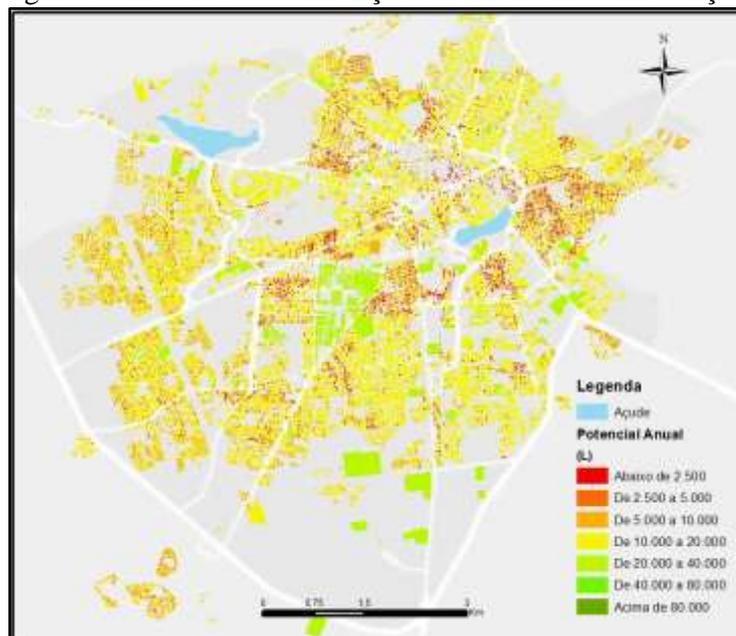
Com relação à simulação do Cenário III, apresentada nas Figuras 4.8 e 4.9, é possível verificar que o uso de cisternas com capacidade de 5.000 l permite um potencial anual de aproveitamento de água de chuva de até 40.000 l de água (Figura 4.8), enquanto que o grupo de simulações com a restrição urbanística (Figura 4.9) apresentou uma redução de potencial entre as UAAC em razão da capacidade da cisterna que poderia vir a ser implantada, com potencial mais baixo em menores áreas livres.

Figura 4.8-Resultado da simulação do cenário III sem restrição.



Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

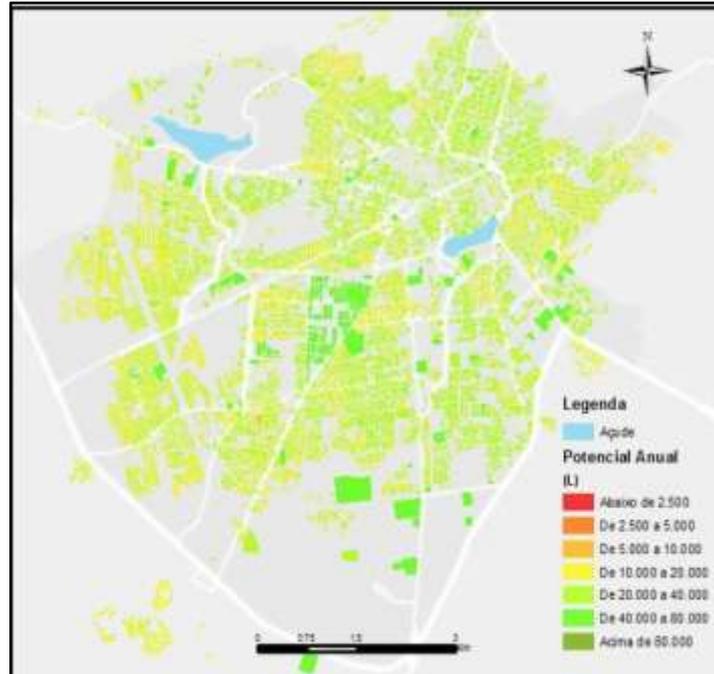
Figura 4.9-Resultado da simulação do cenário III com restrição.



Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

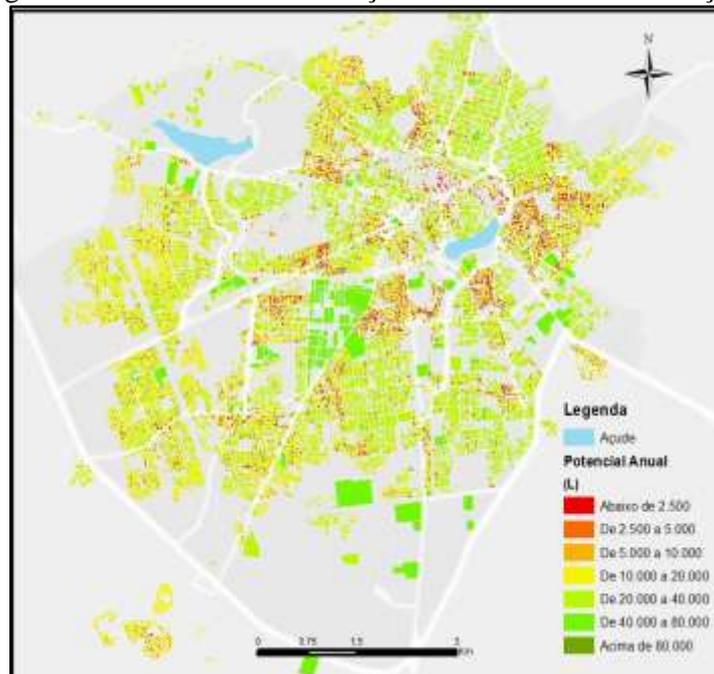
Os resultados da simulação do Cenário IV estão apresentados a seguir. Na Figura 4.10, cisternas de 10.000 litros promovem o aumento do potencial das UAAC, com valor mínimo anual de 10.000 l e máximo de 80.000 l, enquanto que na Figura 4.11 existe o aumento do potencial em áreas com maior disponibilidade de espaço para implantação de cisternas.

Figura 4.10-Resultado da simulação do cenário IV sem restrição



Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

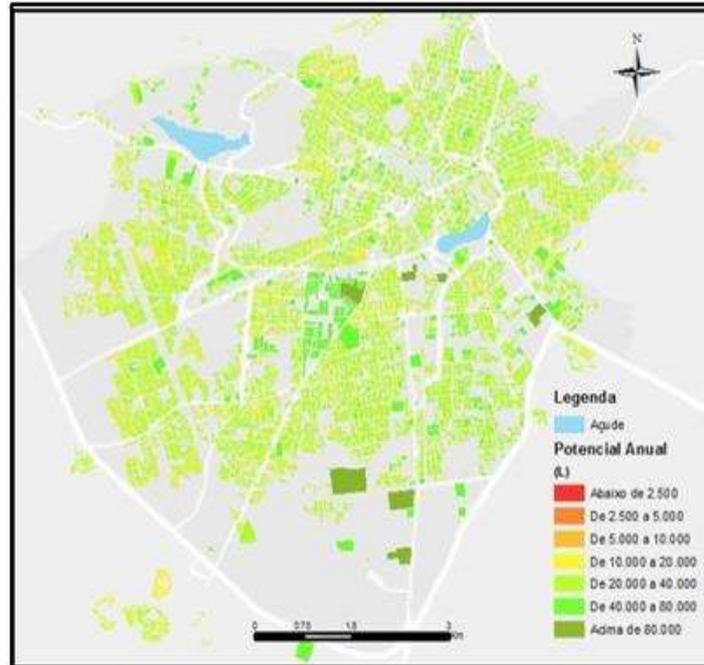
Figura 4.11-Resultado da simulação do cenário IV com restrição.



Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

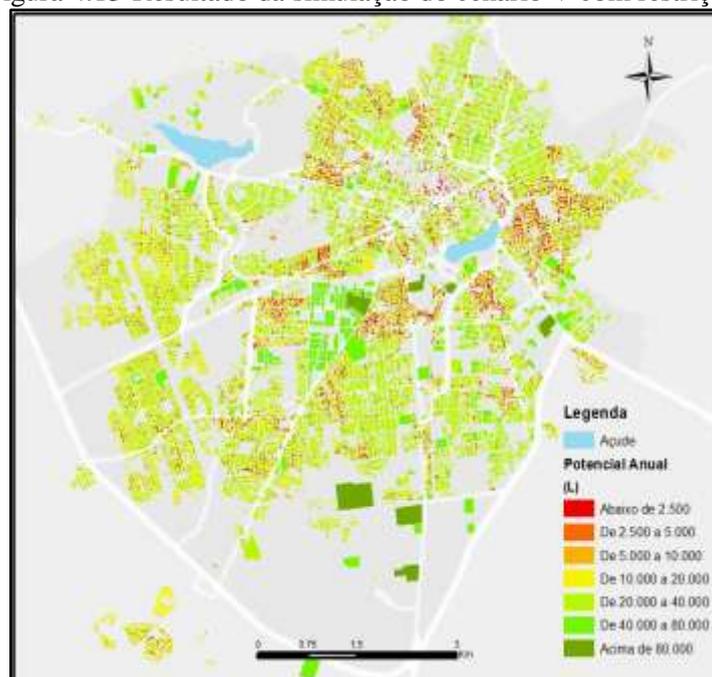
Com os resultados da simulação do Cenário V é possível verificar que o uso de cisternas com capacidade de *15.000 l* apresenta potencial de aproveitamento mínimo por UAAC de *10.000 l*, alcançando valor superior a *80.000 l*, dependendo da área de captação (Figura 4.12). A seleção do tamanho da cisterna, limitada pela área de implantação, configura uma grande variação do potencial de AAC entre as UAAC em estudo (Figura 4.13).

Figura 4.12-Resultado da simulação do cenário V sem restrição.



Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

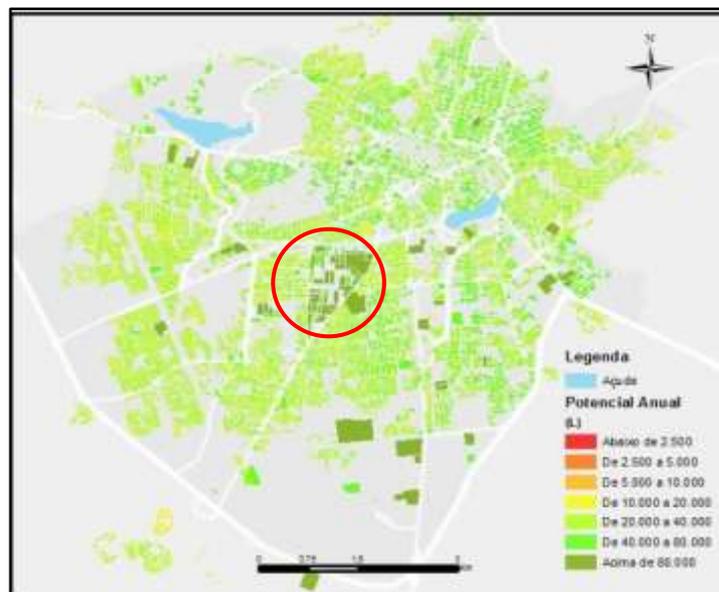
Figura 4.13-Resultado da simulação do cenário V com restrição.



Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

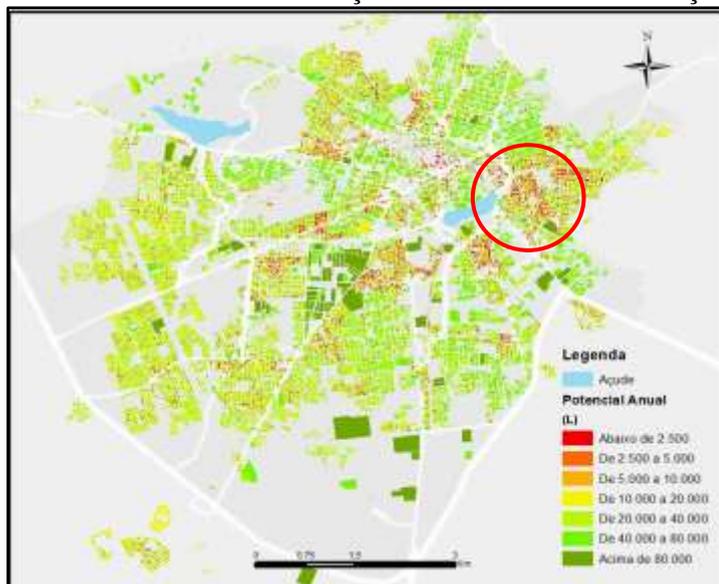
Através da visualização da Figura 4.14 é possível inferir um acréscimo no potencial em todas as UAAC, em especial nas edificações de maiores áreas de captação, como destacado na Figura, as quais apresentam potencial anual superior a 80.000 l. Quando adotada a restrição urbanística é possível verificar que as UAAC apresentam potencial de aproveitamento diferenciado, partindo de valores inferiores a 2.500 l em áreas mais centrais, onde praticamente não existe área livre no lote, pois todo o espaço é construído, apresentando alta valorização comercial e facilidade de acesso aos equipamentos urbanos. A Figura 4.15 destaca uma parcela da malha urbana que possui potencial inferior a 2.500 l.

Figura 4.14-Resultado da simulação do cenário VI sem restrição.



Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

Figura 4.15- Resultado da simulação do cenário VI com restrição.



Mapa base: SEPLAN/PMCG (2014). Elaboração: Autor.

A Tabela 4.2 apresenta o número de cisternas que podem vir a ser implantadas a partir da simulação do balanço hídrico com as capacidades definidas em cada um dos cenários que tem como restrição a parcela de 20% da área permeável do lote. Com esse tipo de estudo é possível identificar na área urbana de Campina Grande a ocorrência das capacidades de cisternas para possíveis projetos de aproveitamento de água de chuva em escala urbana a partir de programas governamentais em parceria com a sociedade.

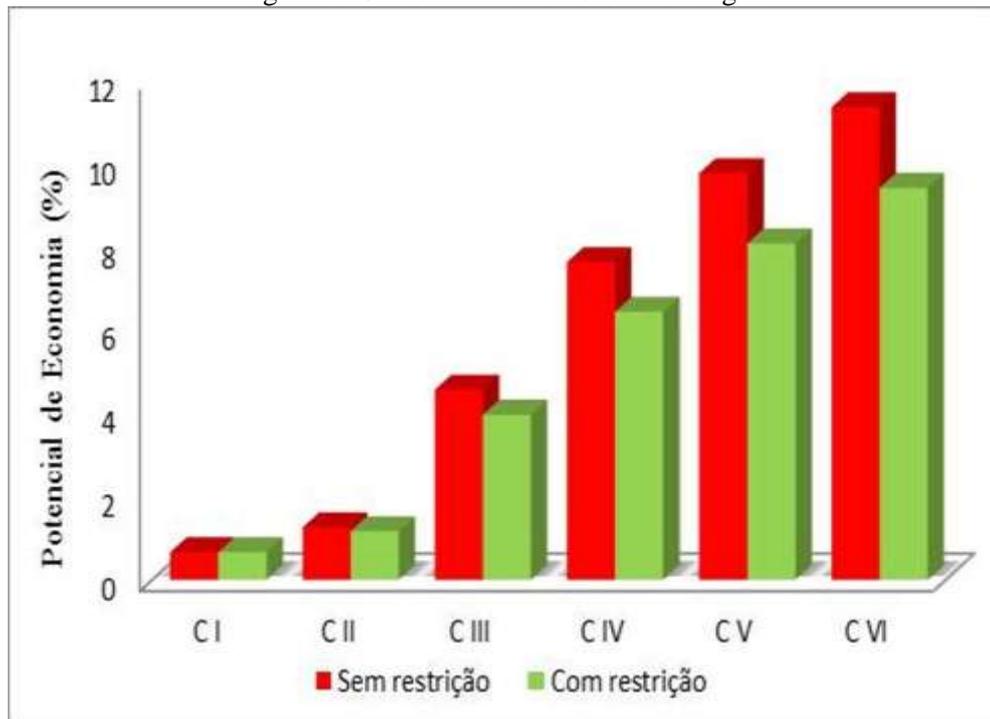
Tabela 4.2 - Número de cisternas em cada um dos cenários, com restrição.

Grupo II	500 l	1.000 l	5.000 l	10.000 l	15.000 l	20.000 l
Cenário I	64.444	-	-	-	-	-
Cenário II	9.692	54.752	-	-	-	-
Cenário III	9.692	364	54.388	-	-	-
Cenário IV	9.692	364	2.553	51.835	-	-
Cenário V	9.692	1.033	2.553	-	51.166	-
Cenário VI	9692	364	2.553	669	298	50.868

4.5 Potencial de Economia de água

A Figura 4.16 apresenta o resultado anual de economia de água proveniente do sistema de abastecimento público com a adoção do sistema de aproveitamento de água de chuva no meio urbano de Campina Grande, considerando as simulações e seus respectivos cenários de capacidade. Nota-se que o potencial de economia variou proporcionalmente com o aumento de capacidade da cisterna, pois partiu de uma economia de 0,66% para o primeiro cenário (mesma capacidade), alcançando os percentuais de 11,32% e 9,34% para o cenário mais otimista dos grupos de simulações, Sem restrição e Com restrição, respectivamente.

Figura 4.16 - Potencial de economia de água.



Fonte: Autor.

Considerando-se que o consumo de água em residências no Brasil para usos não potáveis geralmente é de até 50%, segundo Bressan e Martini (2005), é possível verificar que a água de chuva aproveitável pode suprir de forma parcial as demandas domésticas como, por exemplo, os usos externos às residências (rega do de jardim, lavagem de áreas externas, calçadas e etc.), assim reduzindo o consumo de usos de água em atividades que não exigem potabilidade.

Dessa forma, o aproveitamento de água de chuva mostra-se uma alternativa para aumentar a oferta de água na área de estudo, mesmo em condições de baixa precipitação, pois consegue aliviar as pressões sobre o sistema de abastecimento de água público; passa a ser uma solução em casos de descontinuidade no abastecimento e ocorrências de falta de água, e uma opção à água potável em parte dos usos domésticos.

Outra forma de apresentar o potencial de economia de água foi através de sua equivalência em número de dias. Verificou-se para os cenários simulados que o aproveitamento de água de chuva pode poupar anualmente ao sistema de abastecimento local proveniente do Reservatório Epitácio Pessoa o equivalente de dois a aproximadamente trinta e quatro ou quarenta e um dias (Tabela 4.3), dependendo do critério adotado (Com ou Sem restrição).

Tabela 4.3- Potencial equivalente em dias.

Cenários	Sem restrição	Com restrição
C I	2,41	2,41
C II	4,56	4,25
C III	16,61	14,43
C IV	27,77	23,43
C V	35,51	29,42
C VI	41,32	34,27

Assim, os resultados são animadores para a cidade de Campina Grande, que enfrenta um sério problema no abastecimento de água e pode ter no aproveitamento de água de chuva uma alternativa para oferta de água. Outro aspecto positivo são os custos de implantação do sistema, que podem ser inferiores quando comparados aos métodos de oferta de água ainda utilizados, que consistem em construção de novos mananciais para o abastecimento e/ou mesmo perenização de rios através de transposição. Para Gomes *et al.* (2014), as áreas urbanas necessitam de desenvolvimento de modelos que propiciem os incentivos financeiros à implantação de SAAC, como ocorre em países como Austrália e Alemanha (GOMES *et al.*, 2014).

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo do potencial de aproveitamento da água de chuva em área urbana, aplicado à cidade de Campina Grande, demonstrou a possibilidade de se reduzir às pressões sobre o SACG através da captação de água de chuva no setor residencial.

O uso de informações das áreas de projeção horizontal disponibilizadas pela SEPLAN/PMCG, informações de setores censitários pelo IBGE e da precipitação diária da série histórica de 1983 a 2012 como dados de entrada para as simulações dos cenários, permitiu a obtenção de resultados consistentes com a realidade local.

O uso de softwares apropriados e eficientes, como os utilizados neste trabalho, permite a ampliação de análise e confiabilidade dos resultados dos dados, além de reduzir esforços e tempo do operador, diante da grande complexidade que envolve as variáveis na área urbana.

A utilização do SIG possibilitou a determinação de áreas de captação de forma individualizada, evitando erros grosseiros de estimativas pela ausência de informações das projeções horizontais ou áreas edificadas. Também vale ressaltar que muitas prefeituras municipais possuem essas informações de forma detalhada, pois são utilizadas para cálculos de IPTU.

As estimativas de demanda de água foram determinadas com uso de setores censitários, o que permitiu a determinação do volume de água necessário ao atendimento por UAAC de forma mais realista, uma vez que os setores são agrupados com características semelhantes da população.

A partir das simulações realizadas foi possível verificar as estimativas do potencial de economia para a Campina Grande, onde se obteve melhores resultados para os cenários de capacidade IV, V e VI (10.000l, 15.000l e 20.000 l) com potencial de economia de 7,61%, 9,74% e 11,5% para o Grupo I, enquanto que no Grupo II, o potencial foi de 6,42%, 8,06% e 9,39% para os mesmos cenários. A análise das simulações do Grupo II fornece resultados mais realistas, pois permite a identificação de áreas livres para possível implantação de cisternas, contribuindo para o planejamento de programas governamentais, além de cumprir o Código de Obras Municipal, que estabelece uma restrição de 20% de área permeável da área do lote.

Este trabalho aponta a necessidade de estudos mais aprofundados sobre o aproveitamento de água de chuva no meio urbano, bem como formas de subsídios que incentivem a sua popularização nas cidades como, redução na conta de água, crédito na compra de imóveis e IPTU, incentivos fiscais aos construtores que implantarem sistemas de

captação em novos empreendimentos, selos verdes que agreguem valores a imóvel com SAAC, etc.

Neste contexto, sugere-se que a captação de água de chuva em áreas urbanas venha a ser considerada como uma das estratégias da gestão dos recursos hídricos e de saneamento, articulada com os setores usuários, em nível de planejamento de bacia, municipal, estadual e nacional, bem como, a criação de legislações e sua efetivação através dos órgãos gestores.

É interessante também um estudo mais detalhado das áreas de projeções horizontais do setor residencial da cidade de Campina Grande levando em consideração as unidades multifamiliares, diante da dificuldade em determinar o número de pavimentos e apartamentos.

Deve-se estender a avaliação do potencial de aproveitamento da água de chuva para todos os setores (residencial, comercial e industrial) como forma de promover o uso sustentável da água no meio urbano.

Recomenda-se também avaliar o potencial de captação e acumulação da água da chuva, em escala de cidade, como a proposta por este trabalho, para posterior reuso em sistemas potáveis e não potáveis, o que pode contribuir significativamente para a redução da carga nos sistemas de drenagens convencionais, durante a ocorrência de eventos extremos de chuvas.

É importante que os órgãos públicos municipais proponham incentivos financeiros aos interessados em aderir ao sistema de captação e aproveitamento de água de chuva, bem como, promovam campanhas de conscientização ambiental para despertar o interesse da população em buscar fontes alternativas de água em substituição ao sistema de abastecimento convencional.

6 REFERÊNCIAS

ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF, A.W. **Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan**. *Desalination*. v. 243. p.195–207. 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: **Água de Chuva - Aproveitamento de áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos** - Rio de Janeiro. p.8. 2007.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/>>. Acesso em 28 jan. 2015.

Agência Nacional de Água – ANA. **Atlas Brasil: Panorama de águas nacionais. Abastecimento urbano de água**. Brasília, DF. p. 72. 2010.

Agência Nacional de Água – ANA. **Cadernos de Recursos Hídricos: Disponibilidade e demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, DF. p. 134. 2005.

Agência Nacional de Água - ANA. **GEO Brasil Recursos Hídricos: Resumo Executivo**. Brasília, DF. p. 60. 2007.

ALBUQUERQUE, T. M. A. **Seleção multicriterial de alternativas para o gerenciamento de demanda de água na escala de bairro**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande. 2004.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D.J.A. **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66. 2008.

ANNECCHINI, K.P.V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. 2005.

APPAN, A. **Economic and water quality aspects of Rainwater catchment systems**. In: *International Symposium on efficient water use in urban areas, innovative ways of finding water for cities*. Kobe: IETC.1999.

ASA. **Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais**. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/>>. Acesso em 20 de jan. 2015.

BEZERRA, S.M.C.; CHRISTAN, P.; TEIXEIRA, C. A.; FARAHBAKHS, K. **Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR**. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 219-231. 2010.

BRASIL. **Projeto de lei nº 7818, 16 de julho de 2014.** Disponível em: <<http://www.camara.gov.br>>. Acesso em 24 jan. 2015.

BRESSAN, D.L.; MARTINI, M. **Avaliação do potencial de economia de água tratada no setor residencial da região Sudeste através do aproveitamento de água pluvial.** Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. p. 117p. 2005.

BRITO, F. B.; VIANNA, P. C. G. **Açude do Boqueirão, dez anos de desacertos (1998/2008), da crise de abastecimento ao afogamento do conflito.** In: Anais do II Seminário Luso-Brasileiro Agricultura Familiar e Desertificação – SEMILUSO. João Pessoa. 2008.

CARDOSO, M. **Viabilidade do aproveitamento de água de chuva em zonas urbanas: estudo de caso no município de Belo Horizonte -MG.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 2010.

Che-Ani, A.I; Shaari N; A. Sairi; M.F.M. Zain; M.M. Tahir. **Rainwater Harvesting an Alternative Water Supply in the Future.** European Journal of Scientific Research.v.34 n.1. p. 132-140. 2009.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. **Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios.** In: Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Salvador-BA. 2009.

CORDÃO, M. J. S. **Modelagem e otimização da disposição espacial de unidades de reservação em redes de distribuição de água utilizando geotecnologias.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande. 2009.

CURITIBA. **Lei Municipal Nº 10.785,** 18 de setembro de 2003. Disponível em: <<http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00086319.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2015.

Departamento Nacional de Combate á Seca - DNOCS. **Açude Boqueirão de Cabaceiras.** Disponível em: <<http://www.dnocs.gov.br/barragens/boqueirao/boqueirao.htm>>. Acesso em 12 Dez. 2014.

DORNELLES, F. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial.** Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto alegre. 2012.

DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 15 n. 2. p. 59-68. 2010.

ESRI. **ArcGIS 10.1.** Redlands, California, USA. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/arcgis/index.htmlS>>.

FLORES, R. A.; MENDES, R. L. R.; OLIVEIRA, D. R. C.; COSTA, T. C.D.; VELOSO, N. S.L. **Potencial de captação de água de chuva para abastecimento: o caso da cidade de Belém (PA, Brasil)**. Rev. Estudos Tecnológicos em Engenharia. v. 8.n.2. p.69-80. 2012.

GALVÃO, C. O.; RÊGO, J. C.; RIBEIRO, M. M.R.; ALBUQUERQUE, J.do P. T. **Sustentabilidade da oferta de água para abastecimento urbano no semiárido brasileiro: o caso Campina Grande**. In: Seminário Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento de Água: O Estado da Arte e Questões Avançadas. João Pessoa-PB. 2002.

GHANAYEM, M. **Environmental considerations with respect to rainwater harvesting**. In: **Rainwater International Systems**. v. 10. Manheim. Proceedings. Germany, 2001.

GHISI, E. **Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil**. Building and Environment. V.41. p.1544–1550, 2006.

GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R. W. **Potential for potable water savings by using rainwater: an analysis over 62 cities in southern Brazil**. Building and Environment, Inglaterra, v. 41, n.2, p. 204-210, 2006.

GHISI, E; OLIVEIRA, S. M. **Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil**. Building and Environment, Inglaterra, v. 42, p. 1731-1742, 2007.

GIACCHINI, M. **Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.

GOMES, U. A. F. G. **Água em situação de escassez: água de chuva para quem?** 369 f. Teses (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

GOMES, U. A. F.; DOMÈNECH, L.; PENA, J.L.; HELLER, L.; PALMIER, L. R. **Captação de Água de Chuva no Brasil: Novos Aportes a Partir de um Olhar Internacional**. Rev. ABRH. v. 19 n.1. p. 7-16. 2014.

INAMDAR, P.M.; COOK, S.; SHARMA, A.K.; CORBY, N. CONNOR, J.O.; PERERA, B.J.C.A **GIS based screening tool for locating and ranking of suitable stormwater harvesting sites in urban areas**. Journal of Environmental Management. v.128.p. 363-370. 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE (2010). Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

JAQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC. 2005.

JONES, M.P.; HUNT, W.F. **Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States**. Resources, Conservation and Recycling.v.54.p. 626-629. 2009.

- LIMA, J. A.; DAMBROS, M. V. R.; ANTONIO, M. A.P. M.; JANZEN, J. G.; MARCHETTO, M. **Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia.** Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.16, n.3, p. 291-298. 2011.
- LOURENÇO, A.M.G.; CHAVES, S.R.M.; DEL GRANDE, M.H.; GALVÃO, C.O.; FARIAS, C.A.S. **Análise e modelagem hidrológica no ambiente R.** In: Anais do XII simpósio de Recursos hídricos do Nordeste. Natal-RN: ABRH, 2014b.
- LOURENÇO, A.M.G.; FARIAS, C.A.S.; GALVÃO, C.O. **Desenvolvimento de um modelo para processamento e análise de dados hidrológicos no ambiente R.** In: Anais do XII simpósio de Recursos hídricos do Nordeste. Natal-RN: ABRH, 2014a.
- MAIA, A. G.; SANTOS, A. L.; OLIVEIRA FILHO, P. C. **Avaliação da economia de água potável com a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva: estudo de caso no município de Irati, Paraná.** Revista Ambiência Guarapuava. v.7.n.1.p51-63.2011.
- MANO, R. S. **A captação residencial de água da chuva para fins não potáveis em Porto Alegre: Aspectos básicos da viabilidade e benefícios do sistema.** Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre. 2004.
- MAOTDR – Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. **Plano Estratégico de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais: PEAASAR II: 2007-2009.**2007.
- MAY, S. **Estudo da viabilidade de aproveitamento de água para consumo para consumo não potáveis em edificação.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo. p.159. 2004.
- MBILINYI, B.P.; TUMBO, S.D.; MAHOO, H.F.; MKIRAMWINYI, F.O., **GIS-based decision support system for identifying potential sites for rainwater harvesting,** Phys. Chem. Earth. v. 32. p. 1074–1081. 2007.
- MMPB. **Abastecimento de água em Campina Grande.** Disponível em: <<http://www.mppb.mp.br/>>. Acesso em: 26 jan. 2015.
- PALMIER, L.R. **A necessidade das bacias experimentais para a avaliação da eficiência de técnicas alternativas de captação de água na região semiárida do Brasil.** In: 3º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva no Semiárido. Campina Grande-PB. 2001.
- PARAÍBA. **Lei Estadual nº 10.033,** 03 de julho de 2013. Disponível em: <http://alpb1.pb.gov.br:8082/sapl/sapl_documentos/norma_juridica/10743_texto_integral>. Acesso em 24 jan. 2015.
- PERH. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba.** AESA, João Pessoa. 2006.

R Core Team (2014). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Australia. URL < <http://www.R-project.org/>>.

RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J.do P. T.; RIBEIRO, M.M.R. **Uma análise da crise de 1998-2000 no abastecimento d'água de Campina Grande – PB**. In: Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal – RN: ABRH, 2000.

RÊGO, J. C.; GALVÃO, C. O.; ALBUQUERQUE, J.do P.T. **Considerações sobre a gestão dos recursos hídricos do açude Epitácio Pessoa – Boqueirão na bacia hidrográfica do rio Paraíba em cenário de vindouros anos secos**. In: Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa-PB, 2012.

RÊGO, J. C.; GALVÃO, C. O.; VIEIRA, Z. M. C.L.; RIBEIRO, M. M. R.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; SOUZA, J. A. **Atribuições e responsabilidades na gestão dos recursos hídricos – o caso do açude Epitácio Pessoa/Boqueirão no Cariri Paraibano**. In: Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves-RS.2013.

RÊGO, J. C.; RIBEIRO, M.M.R.; ALBUQUERQUE, J.do P.T.; GALVÃO, C. O. **Participação da sociedade na crise 1998-2000 no abastecimento d'água de Campina Grande-PB**. In: Anais do IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas. Foz do Iguaçu – XX: 2001.

RIO DE JANEIRO. **Lei Estadual nº 4.393**, 16 de setembro de 2004. Disponível em:<<http://www.alerjln1.alerj.rj.gov.br> r>. Acesso em: 24 jan. 2015.

ROCHA, V.L. **Validação do algoritmo do programa Netuno para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2010.

SÃO PAULO. **Lei Estadual nº 12.526**, 02 de janeiro de 2007. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2007/lei-12526-02.01.2007.html>>. Acesso em: 24 de Jan. 2015.

SHARMA, S. k.; VAIRAVAMOORTHY, K. **Urban water demand management: prospects and challenges for the developing countries**. Water and Environment Journal. v. 23 p. 210–218.2009.

SILVA, G.S. **Programas permanentes de uso racional da água em Campi Universitários: Programa de uso racional da água da Universidade de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2004.

Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento - SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2013**. Brasília: SNSA/MCIDADES. 181. p. 2014.

SOUZA, T. J.; GALVÃO, C. O.; RUFINO, I. A. **Estimativas de disponibilidade de água de chuva em edificações residenciais no meio urbano**. In: Anais do XII Simpósio de Recursos. Natal – RN, 2014.

Texas Water Development Board. **The Texas Manual on Rainwater Harvesting**. Third Edition. Published by: Texas Water Development Board. 2005.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. Ed. Navegar. ISBN: 85-87678-23-x. p. 180. São Paulo – SP. 2003.

UNEP (2002) - United Nations Environment Programme. In: PROSAB (2006). **Tecnologias de segregação e tratamento de esgotos domésticos na origem, visando à redução do consumo de água e da infraestrutura de coleta, especialmente nas periferias urbanas**. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/>. Acesso em: 02 de fev. 2015.

WALSH, T. C.; POMEROY, C. A.; BURIAN, Steven J. **Hydrologic modeling analysis of a passive, residential rainwater harvesting program in an urbanized, semi-arid watershed**. Journal of Hydrology. v. 508. p. 240–253. 2014.

WATERFALL, P.H. **Harvesting Rainwater of Landscape Use**. University of Arizona Cooperative. Disponível em: <http://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1344.pdf>. Acesso em: 02 de fev. 2015.

Xavier, R.P. **Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande, 2010.

ZHANG, Y.; CHEN, D.; CHEN, L.; ASHBOLT, S. **Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities**. Journal of Environmental Management, v. 91. p. 222–226. 2009.