



Análise Espaço-Temporal do Uso e da Ocupação Associada à Impermeabilização do Solo na Microbacia do Rio Granjeiro, CE

Laura Gomes Girão PAIVA¹, Jefferson Lima dos SANTOS¹, Luís Carlos Bastos FREITAS^{1,2}, César Ulisses Vieira VERÍSSIMO³, Sônia Maria Silva VASCONCELOS³

RESUMO: A microbacia do rio Granjeiro abrange quase toda sede municipal do Crato e suas características de ocupação combinadas com relevos do entorno oeste da Chapada do Araripe e regimes pluviométricos superiores aos do semiárido favorecem a geração de enxurradas e inundações. Este trabalho procurou relacionar o uso e a ocupação do solo com níveis de impermeabilização do terreno, analisando a distribuição e as mudanças espaciais desses fatores para os anos de 2006 e 2014. Os critérios que definiram os padrões de uso e ocupação incluíram a densidade de edificações, áreas livres de revestimento (área urbana), tipo de vegetação e exposição do solo (áreas rurais ou sem ocupação). Assim, foram atribuídos níveis de impermeabilização para cada classe. A principal mudança identificada foi a urbanização, com crescimento de parcelas mais impermeáveis avançando para sul da área. Houve crescimento de 4% e 0,8% dos setores urbanos de alta e média densidade e das áreas de baixa densidade, respectivamente. A classe de uso correspondente a infiltração alta teve retração de 4,3%, enquanto o nível de máxima infiltração manteve-se praticamente inalterado. Tem-se a perspectiva da expansão de classes de baixa a moderada infiltração para montante, ao longo de estradas, a partir do núcleo urbano.

Palavra-chave: Urbanização, Inundação, Infiltração, Fotomapeamento.

ABSTRACT: *The watershed of the Granjeiro river covers almost the entire municipal seat of Crato. Their occupational characteristics combined with reliefs of the surroundings west of Chapada do Araripe and rainfall regimes higher than the semiarid, promote the generation of floods. This work tried to relate the use and land occupation with the land impermeabilization levels and analyze the spatial distribution and changes of these factors in 2006 and 2014, in that area. The criteria that defined the use and occupancy patterns involved the density of construction and uncoated areas (urban) and type of vegetation and exposure of soil (rural or unoccupied land). Thus, were defined impermeabilization levels for each class. The main change was identified in urbanization, which generated growth of more impermeable portions who have advanced south of the area. There was growth of 4% and 0.8% of the urban sectors of high and medium density and low-density areas, respectively. The use class corresponding to high infiltration retreated 4.3%, while*

¹ Programa de Pós-graduação em Geologia - Universidade Federal do Ceará

² Serviço Geológico do Brasil - CPRM - Residência de Fortaleza

³ Universidade Federal do Ceará - Departamento de Geologia

Autor para correspondência: Laura Gomes Girão Paiva. Endereço: Av. Humberto Monte, s/n, Campus do Pici - Blocos 912/913, CEP 60440-554 – Fortaleza – Ceará E-mail: laura_gomesgirao@hotmail.com

Recebido em 02 de Novembro de 2016 / Aceito em 26 de Fevereiro de 2017.

the level of maximum infiltration remained virtually unchanged. It was concluded from the perspective of the low to moderate infiltration upstream, along roads, from the urban center.

Keywords: *Urbanization, Flooding, Infiltration, Photomapping.*

1. INTRODUÇÃO

A ocupação antrópica no meio físico natural e as modificações causadas por ela na paisagem podem interferir consideravelmente nos processos dinâmicos do sistema ambiental em que está inserido. À medida que a sociedade necessita do espaço e recursos advindos deste meio físico, a gestão do território torna-se imprescindível para que a troca de energia e matéria das partes sociedade/natureza não resulte em desequilíbrio (e.g. Bertalanffy, 1972; Tricart, 1977; Guerra *et. al*, 1998).

As preocupações da sociedade relacionadas ao espaço geográfico estão ligadas aos aspectos ambientais e socioeconômicos, que por sua vez são afetados pelos impactos ambientais negativos decorrentes da má gestão da ocupação. Por isso, desastres naturais resultando em perdas e danos ao homem instigam a busca pelo entendimento da dinâmica da transformação ambiental inserida no processo de urbanização das cidades (Bispo & Levino, 2011).

Deste modo, reconhecendo o espaço físico estratégico que represente a interação das ações antropogênicas com seu ambiente, foi consolidada como célula de planejamento territorial a bacia hidrográfica (Brasil, 1997). As bacias hidrográficas representam uma unidade ideal de uso do solo por terem sua delimitação baseada em critérios geomorfológicos e integrarem uma visão conjunta do comportamento do meio uma vez que mudanças significativas, em resposta as atividades antrópicas, podem gerar alterações e/ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída

(descarga, cargas sólidas e dissolvida) (Guerra *et. al*, 1998, 1999).

O adensamento e a expansão urbana desordenada são formas de ocupação que alteram as condições naturais dos terrenos, afetando o ciclo hidrológico local e promovendo a impermeabilização. Mudanças na impermeabilização da superfície modificam os movimentos das águas pluviais, que ficam mais restritos aos caminhos de fluxo específico, onde a quantidade de escoamento é amplificada e a erosão acelerada, surgindo também problemas de inundação (Shikangalah *et. al*, 2016).

Adicionalmente, as atividades agrícolas e de extração dos recursos naturais, sem práticas conservacionistas apropriadas, também modificam a resposta do solo quanto a infiltração. A remoção da cobertura vegetal altera a concentração da matéria orgânica e a porosidade do solo, expondo os solos à ação do impacto direto da gota da chuva, promovendo, conseqüentemente, o microsselamento superficial.

Tais fenômenos são observados na sede municipal do Crato, inserida na microbacia do rio Granjeiro. A conformidade do vale do Granjeiro relacionada a canalização do rio e ocupação urbana têm sido as principais causas de fenômenos de inundação em períodos de chuvas excepcionais, como ocorridos no início dos anos de 2011 e 2015. As inundações são comumente acompanhadas de movimentos gravitacionais de massa: escorregamentos e processos correlatos,

como corrida de lama, de detritos, etc.

Problemas de voçorocamento em áreas de morro na região têm recebido atenção do governo do Estado para a implantação de uma obra de contenção de encostas orçada de R\$ 33 milhões, financiado pelo Banco Mundial. A infraestrutura admite o replanejamento das galerias pluviais e a reposição da vegetação da encosta afim de minimizar os ricos deslizamento e de cheias no canal (Diário do Nordeste, 2015).

Diante desse cenário, este trabalho executa, para a microbacia do rio Granjeiro, o estudo da associação do uso e ocupação do solo com níveis de impermeabilização do terreno, avaliando quais e como os elementos do uso e da ocupação, representativos da área, influenciam na sua impermeabilização, e

analisar sua distribuição e mudança espacial entre os anos de 2006 e 2014.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Aspectos Fisiográficos

O município do Crato faz parte da região caririense, no extremo sul do Estado do Ceará. A sede municipal localiza-se a sudeste do município e quase que sua totalidade está inserida na microbacia do rio Granjeiro, definida como a área de estudo (Figura 1). O rio Granjeiro é o principal afluente, originado de ressurgências na encosta da Chapada do Araripe, aproximadamente no contato da Formação Araripina com a Formação Santana, com exutório no encontro com o rio Batateiras, ambos parte da bacia do rio Salgado.

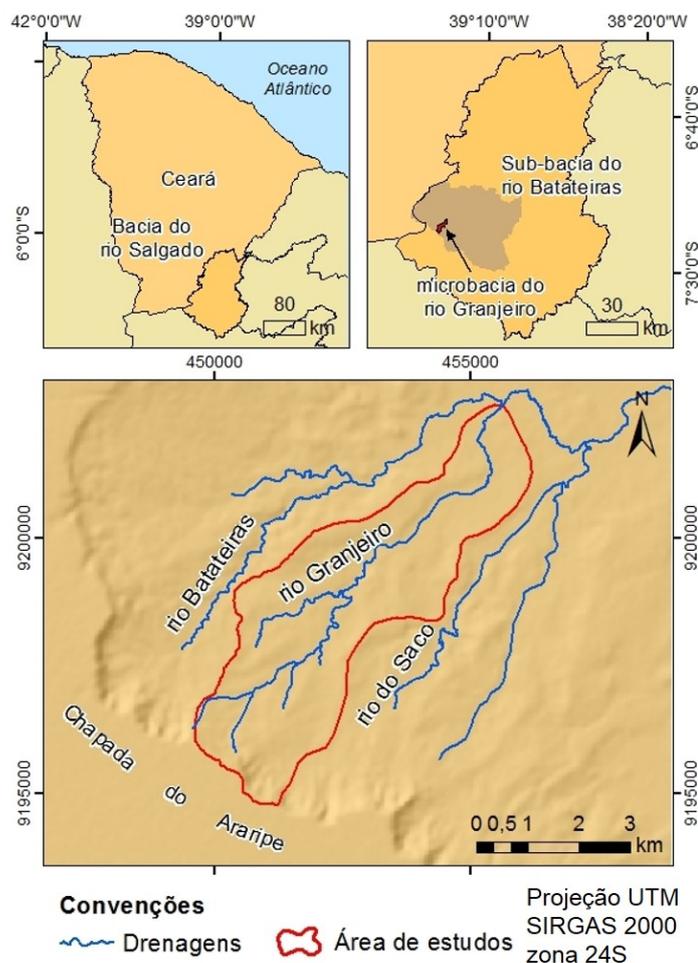


Figura 1: Localização da área de estudo, segundo geografia política e hidrográfica. Ref. ANA (2014), INPE (2016).

A geologia do local está relacionada à porção pós-rifte Cretácea, Aptiano-Cenomaniana da bacia sedimentar do Araripe, representada pelas Formações Barbalha, Santana, Araripina e Exu. A Formação Barbalha é composta na área por arenitos friáveis variando de médios a conglomeráticos, contendo intercalações de argilitos e folhelhos (Assine, 1992). Na sequência ocorre a Formação Santana, conhecida por sua finalidade econômica-mineral e fossilífera. É dividida na sua base em um fácies carbonatado que Beurlen (1962) chamou de Membro Crato e por níveis de folhelhos betuminosos, logo acima, contendo concreções carbonáticas fossilíferas denominados de Membro Romualdo (Beurlen, 1971).

Em seguida estão os litotipos de natureza terrígena, representados pelas Formação Araripina e Formação Exu. A Formação Araripina é restrita à borda oeste da bacia, sendo constituída por associação de fácies heterolíticas e ritmitos argilo-siltosos. Na área de estudo esta Formação não é evidenciada. A Formação Exu, porém, é bem marcada e composta por arenitos quartzosos e caulíníficos de granulometria média a grossa, friáveis, por vezes com níveis conglomeráticos e com estratificações cruzadas planares e/ou acanaladas (Assine, 2007).

Uma característica marcante na área são os depósitos de tálus e lentes coluvionares, encontrados tanto em cotas inferiores da Formação Barbalha, como em encaixes nos Pedimentos sobre a Formação Santana. Esse material é oriundo dos fragmentos de arenitos silicificados do topo estratigráfico, possuindo arcaibouço mal selecionado em uma matriz rica em ferro.

A microbacia do Granjeiro localiza-se no setor leste da Chapada do Araripe, compondo um relevo com topo aplainado

que chega a 950m de altitude, rodeado por escarpas erosivas íngremes e pedimentos. A forma da vertente tem aspecto de um anfiteatro convergente côncavo voltado para nordeste. A adaptação da compartimentação geomorfológica proposta por Lima *et al.* (2010) resultou na compartimentação de cinco unidades geomorfológicas principais na área da microbacia: Platô, Escarpa, Rampa Pedimentada, Depressão Periférica e Planície Fluvial (Figura 2).

A permeabilidade dos arenitos da Formação Exu possibilita a ausência de rede de drenagem superficial e consequente instalação do chamado aquífero superior, que possui uma espessura média de em 320 metros (Veríssimo *et al.*, 2007). Na área, pela ausência da Formação Araripina, o aquífero superior aflora ao entrar em contato com a litologia impermeável (folhelhos e calcários de menor permeabilidade), dando origem ao rio Granjeiro, através de fontes difusas.

O Levantamento de média intensidade dos solos, produzido pela FUNCEME (2012) na escala de 1:200.000, permitiu o reconhecimento de Latossolos amarelos com Argissolos amarelos e Latossolos vermelho-amarelos, instalados no topo da Chapada. Na Escarpa erosiva estão presentes associações de Neossolos e Argissolos, assim como rocha exposta.

Nos Pedimentos estão Neossolos e relevos de ondulado a montanhoso, com Argissolos e Latossolos nos setores de relevo suave a fortemente ondulado. Os solos presentes na Depressão Periférica têm associação de Argissolos Vermelho-amarelos com inclusões de Neossolos Litólicos nas porções centro-leste da microbacia e Neossolos flúvicos com Vertissolos nos relevos planos da Planície Fluvial.

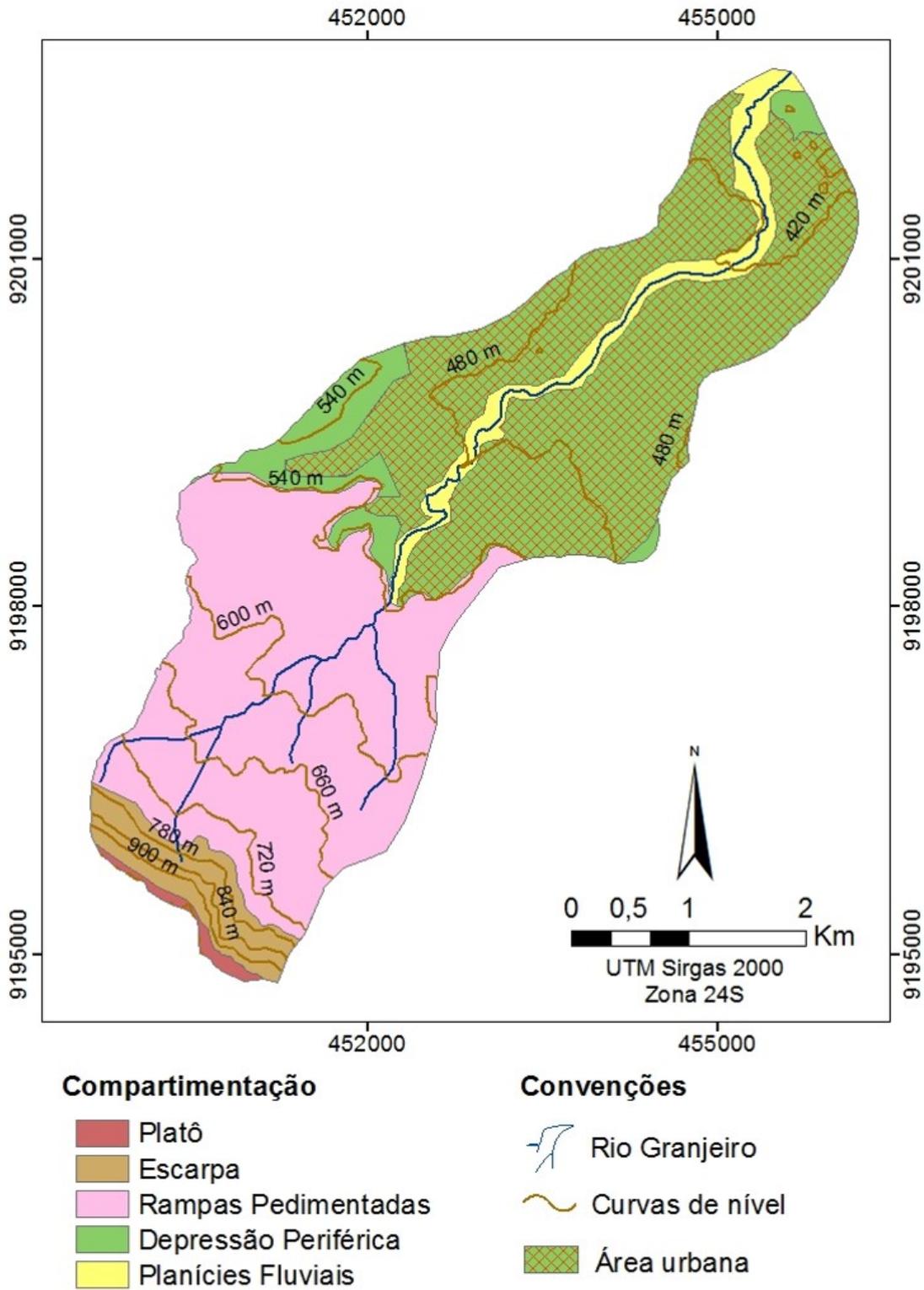


Figura 2: Compartimentação Geomorfológica da microbacia do rio Granjeiro. Referência: FUNCEME (2012), INPE (2016).

Quanto a vegetação, nas cotas superiores se estabelece a floresta subperenifólia tropical pluvio nebulosa, significativa em função do Parque Nacional do Araripe. Nos paredões escarpados há presença de xerófilas e samambaias esparsas. Nos Pedimentos, as condições de águas superficiais e pedodiversidade permite o estabelecimento da floresta subcaducifólia tropical pluvial de mata seca. Na Depressão Periférica é dominante a floresta caducifólia espinhosa. Nas Planícies há o desenvolvimento da mata ciliar, comumente degradada (IPECE, 2007).

Os aspectos climáticos são distintos do semiárido cearense. A porção relativa a Depressão Sertaneja tem clima tropical quente semi-árido e, pelas mudanças de altitude, o domínio da Chapada do Araripe apresenta clima tropical quente sub-úmido, possibilitando um regime pluviométrico superior e temperatura amena (IPECE, 2012; Lima, 2008).

Com base no IPECE (2012) as temperaturas médias anuais no município do Crato variam de 24° a 26°C, a pluviometria média anual é de 1090,9mm e evapotranspiração potencial de 7,6mm. O período chuvoso vai de janeiro a maio, onde são registradas as principais ocorrências de processos de erosão, movimentos de massa e inundações.

2.2 Problemas relacionados à urbanização

A sede municipal do Crato, que coincide com a área de influência (aproximadamente 18.592.000 m²) da microbacia do rio Granjeiro, apresenta diversos fatores naturais que contribuem para que a área seja palco de expressivos processos morfodinâmicos, dentre eles

estão a relação altitude/amplitude dos compartimentos do relevo, os episódios de chuvas extraordinárias e as características texturais das camadas sedimentares da bacia do Araripe.

Esses fatores somados à configuração da zona de ocupação urbana contribuem para eventos de inundação, erosão e movimentos de massa em encostas de morro. O rio Granjeiro é canalizado em um trecho que percorre o núcleo urbano com a presença de arruamentos cerrados. Tais elementos explicam episódios de inundação e intensa erosão que ocorreram em janeiro de 2011, onde a enchente provocou a destruição parcial do canal interurbano, com uma precipitação de 162mm. Além de outros registros menores ocorridos em março e abril de 2015, respectivamente com precipitações de 105mm e 140mm, segundo dados da FUNCEME (2014) (Figura 3).

Desde a década de 70 com o crescimento da especulação imobiliária na região do Cariri, as antigas áreas rurais transformaram-se em espaços urbanos, e conseqüentemente os elementos naturais da paisagem tornaram-se fatores secundários e susceptíveis a exploração desordenada (Ribeiro, 1997; Magalhães *et al.*, 2010). A ocupação no município do Crato teve reflexos negativos para o meio ambiente, principalmente no tocante a urbanização das suas planícies fluviais, interflúvios, antigos degraus de terraços fluviais etc. (Magalhães & Oliveira, 2009).

A zona urbana se concentra principalmente ao entorno do canal, com características centro-comerciais e residenciais, nas cotas inferiores e planas, atingindo também os morros interfluviais, onde há ocupação desordenada, falta de vegetação protegendo o solo e má dimensionamento



Figura 3: Trechos do canal do rio Granjeiro. a) parcialmente destruído com fluxo turbulento d'água. Fonte: website Diário do Nordeste, acessado em 29/02/2012. b) Sedimentos carreados pela erosão hídrica atuando na da vertente lese do morro do Seminário através de galerias de drenagem.

do sistema de drenagens e esgoto. Também é observada um tipo distinto de ocupação em altitudes elevadas da vertente da chapada, onde se instalam residenciais de famílias abastadas, sítios, chácaras, clubes recreativos e balneários. Descasos como poluição de nascentes e aterramento de córregos são correntes.

As atividades agrícolas predominam nas áreas de Pedimentos e nas cotas mais elevadas da Depressão periférica, com agropecuária de sequeiro, agricultura de subsistência (milho, feijão, arroz e fava), plantio de frutíferas perenes em áreas onde há água de ressurgência (banana, seriguela, macaúba, caju e manga), exploração de água mineral, extrativismo de biomassa, mineração de calcário laminado e matéria-prima para material de revestimento (Lima, 2010). No topo de cimeira, a Floresta Nacional permite a preservação e o turismo científico e de lazer, assim também como o Geoparque do Araripe.

Relacionados à problemas de risco urbano está a predisposição de colapso de solo e rocha dos arenitos das Formações Exu e Barbalha, devido as lentes coluvionares em paleovales encontrados em diversas altitudes.

Chuvas intensas carregam material sedimentar da encosta da Chapada, gerando um fluxo viscoso e de alta rapidez o suficiente para transportar blocos rochosos drenagem abaixo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise de uso e ocupação foi feita através do fotomapeamento de imagens orbitais de alta resolução espacial em composição colorida verdadeira cor, disponibilizadas pela empresa DigitalGlobe no programa Google Earth Pro. Foram selecionadas imagens de dois anos distintos - 27 de julho de 2006 e 23 de agosto de 2014, que foram comparadas por análise visual conforme procedimento descrito através do fluxograma apresentado na Figura 4.

As imagens dos meses de julho e agosto foram escolhidas por representarem o mesmo período pós chuvas do ano, pois os elementos da paisagem objetos de interesse da pesquisa, como áreas degradadas, a exposição de solo e a distinção do porte da vegetação, seriam mascarados pela vegetação exuberante do período

chuvoso. Portanto, as imagens do período selecionado obtiveram uma melhor resposta espectral de distinção dos alvos na composição colorida verdadeira.

A caracterização de uso e ocupação da área seguiu uma metodologia específica para poder atender a finalidade da pesquisa. Desta forma, deve-se destacar que a referida pesquisa não teve como finalidade segmentar as classes segundo os aspectos socioeconômicos, considerando seu valor industrial, comercial, residencial ou tipo de plantio e cultura em um meio rural, entre outros. Estes aspectos, apesar de presentes na área, não foram definidos como os parâmetros basilares, mas estão incorporados como propriedades de cada classe.

As classes foram definidas

considerando características como: ausência de verticalização das edificações, variados padrões de arruamento, tamanho dos loteamentos (de acordo com diferentes setores e características do meio urbano e do meio rural). A partir daí, foram estabelecidos os padrões que assinalavam as classes típicas e pertinentes ao estudo de impermeabilização.

Para as localidades com características de ocupação urbana, os padrões foram a densidade das edificações e as áreas livres permeáveis dos terrenos. A densidade das edificações é representada pela proporção de áreas livres no quarteirão. As áreas livres foram definidas como parcelas de terreno sem revestimento impermeabilizante (quintais) e áreas verdes (gramas, jardins, arbustos e árvores).

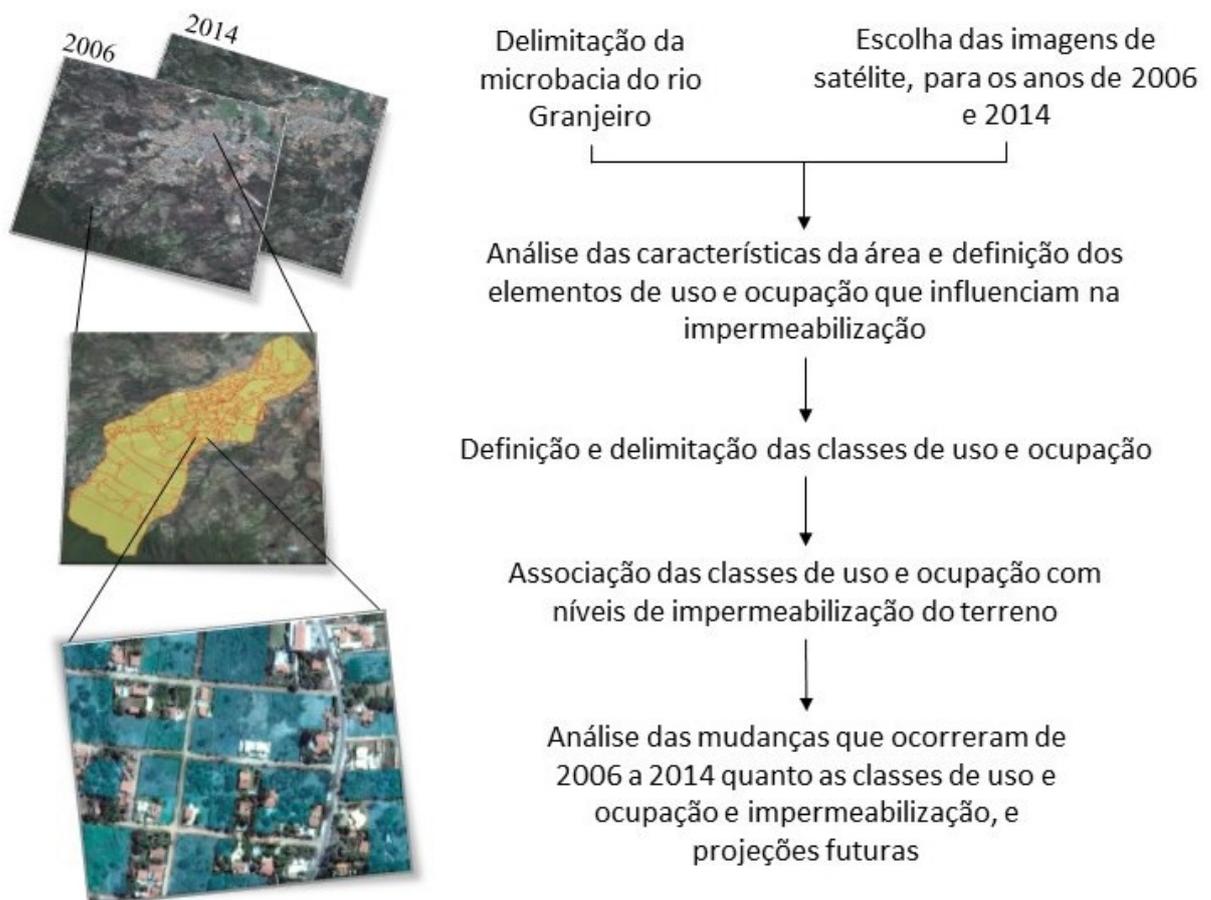


Figura 4: Fluxograma das etapas metodológicas.

Associado aos parâmetros citados está o tipo de revestimento do arruamento. As ruas asfaltadas foram atribuídas como elementos equivalentes ao maior nível de adensamento. Já ruas sem pavimentação, revestidas de pedra tosca ou de piçarra, estão associadas às áreas livres, presentes em classes de menor adensamento, e às classes rurais.

No caso de locais não ocupados e/ou de uso rural, foram considerados o porte da vegetação a presença de solo exposto e a preservação. O porte da vegetação foi classificado em dois tipos: vegetação secundária, representada pela vegetação degradada da mata nativa e cultivo agrícola, e vegetação robusta, representada por porte arbustivo médio e arbóreo da mata preservada definida como a Floresta Nacional do Araripe (FLONA do Araripe).

Estes elementos da paisagem foram encontrados nas classificações de uso e ocupação de Wilken (1978) e Valério Filho *et al.* (2003), os quais tornaram-se referência a este trabalho por considerarem os fatores que influenciam no coeficiente de escoamento superficial

das águas pluviais e por correlacionarem a impermeabilização com a densidade das urbanizações. As classificações dos autores acima citados não se adequam totalmente a realidade local, por isto, foram feitas as adaptações necessárias.

Os padrões da área foram aferidos numa escala de 1:4.000 e vetorizados manualmente em ambiente SIG. Especificamente na área urbana e nas áreas de transição urbana para rural, o quarteirão foi estabelecido como a menor unidade de referência para a definição das classes. Em casos que os arruamentos não tinham o formato de quarteirões bem definidos ou as residências se alocavam ao longo de uma estrada, foram feitos recortes.

Dessa forma, para se estabelecer a diferença entre as classes hierárquicas, foi atribuído que o quarteirão contivesse uma determinada proporção entre edificações e áreas livres, como demonstrado na Figura 5 que evidencia as parcelas de terreno não revestido dos quarteirões. Já em áreas rurais que não apresentavam quarteirões, foram usados os limites das classes circunvizinhas.



Figura 5: Comparação das parcelas de áreas livres (azul), por quarteirão, demonstrando a diferença entre as classes de ocupação. a) setor de média densidade. Fonte: Google Earth (07/2006). b) Setor de baixa densidade. Fonte: Google Earth (08/2014). As áreas livres são do tipo terrenos sem revestimento: jardins, quintais, campos de futebol.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram definidas as seguintes classes de uso e ocupação para a microbacia do rio Granjeiro:

Setor urbano de alta densidade

Apresenta edificações cerradas e conjugadas, por vezes com lajes e edificações com mais de dois andares correspondendo, principalmente, ao núcleo central da cidade e aos setores contíguos a ele. Esta parcela espacial

expõe pouca ou nenhuma arborização e possui ruas asfaltadas. Quando há parques ou praças estão extensamente revestidos com pedra portuguesa, blocos intertravados ou concreto e ruas asfaltadas (Figura 6).

Neste setor, são encontrados quarteirões com diversas formas, apresentando áreas médias de 7.000 m², onde se instalam aproximadamente de 28 a 68 edificações por quarteirão.

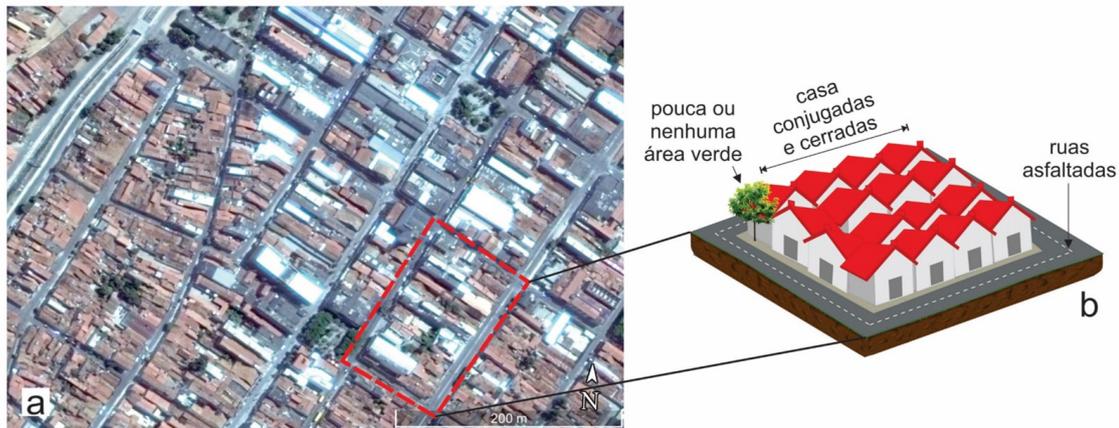


Figura 6: a) Área tipo do Setor urbano de alta densidade. Porção do centro comercial da cidade e áreas residenciais sem quintais. Fonte: Google Earth (08/2014). b) Representação ilustrativa dos elementos do quarteirão (sem escala).

Setor urbano de média densidade

Abrange setores do tecido urbano que podem estar próximos às margens do centro da cidade (Figura 7). Esta classe possui casas conjugadas, porém, é definida quando áreas livres, caracterizadas por quintais, terrenos sem

revestimento e árvores (núcleo verdejante) recobrem uma área menor que 50% do quarteirão (Verificar Figura 5). O tipo de pavimentação das ruas é diversificado, podendo ser asfáltico ou em pedra tosca.



Figura 7: Área tipo do Setor urbano de média densidade. Observar alguns terrenos sem construção e núcleos arbóreos. Fonte: Google Earth (08/2014). b) Representação ilustrativa dos elementos do quarteirão (sem escala).

Setor urbano de baixa densidade

São ajuntamentos em consolidação, com residências em arruamentos espaçados, circundadas por quintais com árvores, gramas e/ou piscina e normalmente distantes da concentração urbana (Figura 8). As ruas podem conter ou não pavimentação asfáltica, mas a maioria encontra-se em pedra tosca. Estas áreas apresentam arruamento definido, que cresce a partir de uma rodovia principal, mas a malha de edificações dos loteamentos não está

consolidada. Por isso, são identificadas por apresentarem área livre igual ou maior que 50% da área de um quarteirão (Figura 5b).

Neste setor é comum a presença de chácara com características de propriedade rural, mas que se destinam como recreação e lazer, ou mesmo residências de famílias mais abastardas que representam a concepção de isolamento do núcleo urbano em busca de qualidade de vida.



Figura 8: Área tipo do Setor urbano de baixa densidade. Fonte: Google Earth (08/2014). b) Representação ilustrativa dos elementos do quarteirão (sem escala).

Solo exposto e vegetação secundária

Correspondem as áreas onde houve intenso desmatamento para fins agrícolas e abertura de loteamentos, o que fomentou a exposição dos solos e, posteriormente, o desenvolvimento de vegetação secundária de porte herbáceo a arbustivo (Figura 9). Na maioria dos casos esta porção espacial não pode ser dimensionada por quarteirão, sendo demarcada por polígonos de tamanhos variados.

Apresenta parcelas espaciais geométricas com alguns traçados irregulares tipo de feições de cultivo ou abertura de lotes inconsolidados, onde também atravessam estruturas lineares como ruas ou acessos sem

pavimentação. A mata ciliar, tanto ao longo da extensão não canalizada do rio Granjeiro como em córregos nas periferias da zona urbana, fica associada a esta classe por apresentar degradação.

Vegetação robusta da Chapada e Pedimento

É encontrada no extremo sul da microbacia hidrográfica, onde estão os relevos de platô, escarpados e côncavos, compostos por materiais litológicos porosos e solos profundos (Latossolos e Argissolos) (Figura 10). Possui uma vegetação densa de mata úmida até as escarpas e mata seca nos pedimentos. Acima da cota 900m é definida a Floresta

Nacional do Araripe, uma cobertura florestal nativa, com baixa densidade de

drenagens, formadas por riachos e nascentes de pequeno porte.



Figura 9: Área tipo Solo exposto e campos com vegetação secundária. Fonte: Google Earth (08/2014). b) Representação ilustrativa dos elementos do quarteirão (sem escala).



Figura 10: Vegetação robusta da Chapada e Pedimento. Fonte: Google Earth (08/2014). b) Representação ilustrativa dos elementos do quarteirão (sem escala).

Definidas as classes de uso do solo, para cada uma delas foi associado um nível relativo de impermeabilização. Os níveis se adequam às classes segundo os critérios de adensamento, revestimento do solo e vegetação. Todavia, para a análise completa de infiltração das águas pluviais em áreas não urbanas existem a influência dos parâmetros morfopedogênicos, como o tipo de litologia e solo, a declividade e comprimento de rampa, os tipos de culturas e práticas agrícolas, entre outros.

A resposta das características litopedológicas à impermeabilização vai se tornando significativa à medida que os terrenos apresentam pouca ou nenhuma ocupação urbana. Ou seja, o setor Solo exposto e campos com vegetação secundária e o setor vegetação robusta da Chapada e Pedimento estão mais sujeitos às respostas de infiltração em decorrência das variações litopedológicas do que os demais setores urbanos.

Apesar dos parâmetros supracitados, o contraste de impermea-

bilização entre as classes propostas neste trabalho está vinculado com o tipo de uso e ocupação da terra. Na pesquisa, portanto, não foi discorrido sobre os demais critérios morfopedogênicos, apesar de serem parcialmente considerados quando feitas algumas considerações após a descrição dos níveis de impermeabilização dos setores não urbanos.

Desta forma, considerando as classes de uso e ocupação, foram diferenciados os seguintes níveis de impermeabilização:

Área Impermeável

Corresponde ao *setor urbano* de alta densidade, que possui pouquíssima ou nenhuma área de infiltração, as chamadas áreas livres. Os principais tipos de revestimentos (edificações, calçadas e asfalto) compõem quase que totalmente o solo na dimensão do quarteirão (Figura 6), produzindo uma alta taxa de escoamento superficial.

Área de Infiltração baixa

Corresponde ao *setor urbano de média densidade* (Figura 7). É possível identificar elementos que facilitam a infiltração das águas pluviais no solo, como os núcleos verdejantes e quintais de fundo, os terrenos sem revestimento e algumas ruas ainda em pedra tosca. Essas características compõem uma parcela inferior a 50% do quarteirão, indicativo que algumas superfícies ocasionam escoamento superficial considerado.

Área de infiltração moderada

Corresponde ao *setor urbano de baixa densidade* (Figura 8). Possui parcelas de terreno sem construções ou revestimento, áreas verdes com gramíneas e árvores e ruas com pavimentação em pedra tosca ou piçarra, que representam área igual ou maior que 50% do quarteirão.

Área de Infiltração alta

Corresponde a classe *solo exposto e campos com vegetação secundária*. O desmatamento e tipos de manejos agrícolas expõem o solo ao feito do *splash* das gotas da chuva e tornam a sua superfície micro selada e aumenta o escoamento superficial, o primeiro com mais intensidade que o segundo. Apesar disto, a permeabilidade é superior nessas áreas que em terrenos revestidos de construções urbanas. Pode haver algum acesso de estrada sem pavimentação ou uma divisão de terrenos para loteamento.

Área de Infiltração muito alta

Corresponde a classe *vegetação robusta da Chapada e Pedimento*. Esta unidade contém os elementos que mais contribuem para a infiltração das águas pluviais. A principal característica é o porte arbóreo e a densidade da mata, que ocasiona a proteção do solo contra o micro selamento e a quantidade de matéria orgânica com a porosidade das raízes induz o aumento da infiltração.

As unidades de *solo exposto e campos com vegetação secundária* localizam-se predominantemente na porção sul, desde a cota 550m, coexistindo em proporções equivalentes a partir da cota aproximada de 480m. As partes de *vegetação robusta da Chapada e Pedimento* aparecem aproximadamente a partir de 690m. Como essas classes possibilitam que as características físicas do solo sejam mais coadjuvantes, algumas considerações serão dadas sobre os aspectos litopedológicos.

A quarta classe de uso e ocupação, referente a *área de infiltração alta*, coincide com a área dos calcários e folhelhos da Formação Santana, quando nas cotas em que sua extensão predomina. A priori, os solos residuais dessas litologias possuem baixa permeabilidade se considerando a granu-

lometria, mas é possível que sedimentos oriundos do escarpamento das litologias areníticas do topo da Chapada tenham contribuído na formação de solos bem porosos.

Já a área de *infiltração muito alta* recebe a contribuição dos arenitos permoporosos das Formações Exu e Araripina. Os Latossolos instalados no platô podem possuir um teor de argilominerais e sesquióxidos no horizonte A que dificulte a permeabilidade no nível superficial, porém, a porosidade produzida pela quantidade de matéria orgânica e raízes da mata exuberante garante que esta classe seja definida como o maior nível de infiltração da microbacia.

Na distribuição geral nos anos estudados, os setores urbanos de alta e média densidade estão predominan-

-temente instalados na porção norte/nordeste da área da bacia, tendo uma disposição espacial em alinhamento com o canal do rio Granjeiro. À medida que a ocupação se aproxima da Chapada, para altitudes mais elevadas, há transição do setor de média densidade para baixa densidade, no entanto, o predomínio da classe *solo exposto e vegetação secundária* é evidente. Logo ao sul, a vegetação robusta da Chapada e Pedimento é bem marcada.

A análise espaço-temporal do mapa de uso e ocupação elaborado para os anos de 2006 e 2014 (Figura 11) possibilitou observar duas principais mudanças: o deslocamento expansivo urbano, do centro para o sul da área, e as mudanças de classes para níveis de maior impermeabilização.

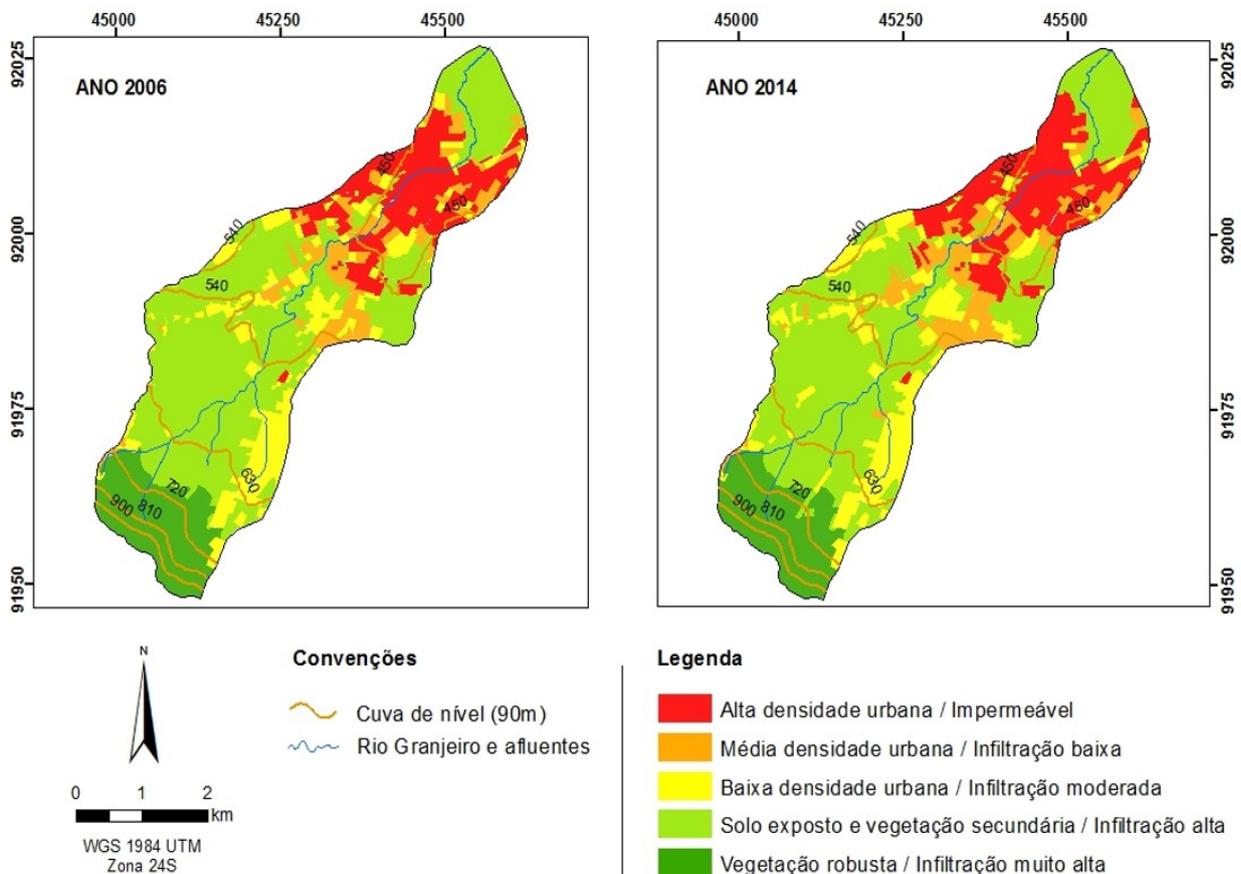


Figura 11: Uso e ocupação e impermeabilização do solo da microbacia do Rio Granjeiro para os anos 2006 e 2014.

Tanto no ano 2006 como em 2014 foi visto que a situação da ocupação referente ao *setor urbano de alta densidade* se apresenta mais nucleada e conjugada que as outras duas ocupações urbanas. Desta forma, neste intervalo de oito anos, este setor foi se consolidando internamente, onde alguns espaços dentro da mancha urbana de alta densidade foram preenchidos.

Áreas de *alta densidade* cresceram se alargando e substituindo classes de níveis inferiores, se estendendo preferencialmente para a margem leste do canal. As três classes urbanas também cresceram substituindo das áreas de Solo exposto e campos de vegetação secundária e expandindo em direção preferencial para montante, através de arruamentos perpendiculares a uma rodovia principal N-S. O setor urbano de média densidade cresceu preferencialmente para centro/oeste da área, substituindo os setores de baixa densidade nas periferias do núcleo urbano.

Já a *vegetação robusta da Chapada e Pedimento*, permaneceu

quase que inalterada no intervalo de tempo estudado. Parte da área envolve a FLONA do Araripe, delimitada a partir da cota 800m, mantendo essa porção protegida. A zona das Rampas Pedimentadas que abrange essa classe possui algumas poucas ocupações próximas, como clubes, hotéis e sítios, mas algumas porções de terreno bem acidentado dificulta a instalação de edificações.

A Tabela 1 e a Figura 12 demonstram a porcentagem de área de cada classe, nos anos 2006 e 2014, inserida na área da microbacia do rio Granjeiro. Em oito anos os setores urbanos de alta e média densidade cresceram aproximadamente 2% cada um, enquanto o setor de baixa densidade cresceu cerca de 0,8% de área total. Esse desenvolvimento foi comedido pela redução de um pouco mais de 4% de área composta por solo exposto e vegetação secundária. A vegetação da Chapada e Pedimento sofreu a supressão de 35.869m² de área, uma mudança irrisória de 0,2%.

Tabela 1: Dados das áreas das classes de uso e ocupação com relação a área total (aproximadamente 18.592.000m²) dos anos de 2006 e 2014 e a diferença ao longo dos anos.

Classe	Área da microbacia do rio Granjeiro			
	2006		2014	
	m ²	%	m ²	%
1	2.751.788	14,7	3.109.228	16,6
2	1.535.433	8,3	1.872.015	10,1
3	2.580.138	13,9	2.723.767	14,7
4	9.438.185	50,8	8.634.225	46,5
5	2.278.660	12,3	2.245.795	12,1

1 - Setor urbano de alta densidade; 2 - Setor urbano de média densidade; 3 - Setor urbano de baixa densidade; 4 - Solo exposto e vegetação secundária; 5 - Vegetação robusta da Chapada e Pedimento.

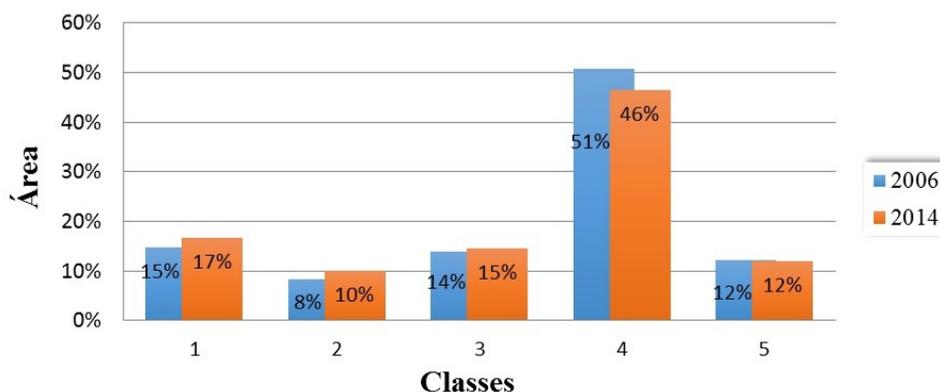


Figura 12: Gráfico da porcentagem da área das classes de uso e ocupação do solo em relação a área total da microbacia do rio Granjeiro, equivalente a aproximadamente 18.592.000 m². Comparação entre os anos de 2006 e 2014.

Analisando a distribuição dos níveis de impermeabilização do terreno em cada compartimento geomorfológico da microbacia, as áreas impermeáveis estão ocupando uma considerável porção da Planície fluvial e Depressão periférica. A área de infiltração baixa está bastante disseminada, mas se limita na Depressão periférica. As áreas de infiltração moderada e alta permanecem distribuídas tanto na depressão periférica como nos Pedimentos, enquanto a área de infiltração muito alta está concentrada da borda do Platô e na Escarpa, incluindo uma parte dos Pedimentos.

É notável que a área mais problemática quanto a impermeabilização do terreno envolve os arredores da canalização do rio Granjeiro. Com base na delimitação geomorfológica demonstrada na Figura 2, uma área de aproximadamente 380 m² da Planície fluvial indica não haver infiltração. Ou seja, a alta densidade de ocupação está em um ambiente seriamente vulnerável a cheias.

Além desse ambiente de risco, a oeste do canal se estende o morro do Seminário, uma região de interflúvio de até 500 m de altitude. Ali há alguma área de infiltração alta devido à vegetação

pouco preservada da encosta. Essa distinção de níveis de permeabilidade incorre em problemas na estabilidade da encosta, através da erosão concentrada e desenvolvimento de sulcos e voçorocas.

Caracterizando as mudanças dos setores de permeabilidade, houve o aumento das áreas impermeáveis em detrimento das parcelas de alta infiltração. Da mesma forma que nas classes de ocupação, a ascensão de níveis de infiltração baixa e moderada acontece preferencialmente a montante do rio Granjeiro. No setor a leste do rio é expressiva a expansão das áreas de infiltração baixa e moderada. No setor oeste a ampliação das áreas impermeáveis e áreas de infiltração baixa são mais significativas. Em contraponto a esse crescimento houve a supressão de 4% de área de infiltração alta até 2014, não deixando, portanto, que esta classe ainda represente quase metade da área da microbacia.

De acordo com os resultados, observa-se que a expansão urbana ocorrida na sede municipal do Crato é acompanhada pelo acréscimo populacional de 10.230 habitantes em todo município, dos anos de 2007 a 2010

(IBGE, 2016). Dessa forma é coerente que as ocupações urbanas estejam se consolidando.

Lima & Carvalho Neta (2014) desenvolveram o mapeamento do uso e ocupação da microbacia do rio Granjeiro para o ano de 2013. As semelhanças no contraste das áreas de ocupação antrópica com a vegetação e solo exposto são notáveis, porém é importante ressaltar que há distinções metodológicas que justificam demais diferenças, como a data e período do ano da imagem analisada, a diferença dos critérios de interpretação das classes e a acurácia da delimitação da microbacia.

É possível perceber a relação entre o desenvolvimento da ocupação e a tendência de impermeabilização do terreno. Se a urbanização se consolida ao longo do tempo, as áreas de impermeabilização crescem proporcionalmente. Portanto, o nível área impermeável tende a nuclear ainda mais, assim como expandir. Também há perspectiva da diminuição dos níveis permeáveis preferencialmente para montante do rio Granjeiro devido à expansão dos setores de média e baixa densidade nessa direção.

5. CONCLUSÕES

O escopo da pesquisa foi determinado pela aferição das classes de uso e ocupação, onde as três primeiras classes foram elaboradas segundo a densidade da ocupação (Setor urbano de alta, média e baixa densidade) e as duas seguintes pelo tipo de cobertura vegetal (Solo exposto com vegetação secundária e Vegetação robusta da Chapada e Pedimento).

A densidade urbana foi definida pelo adensamento das casas e a quantidade de superfície livre no quarteirão, enquanto o tipo de vegetação

foi diferenciado pela preservação e porte. Essas características possibilitaram a diferenciação de níveis de permeabilidade para cada área de uso e ocupação, os quais são: Área Impermeável, infiltração baixa, infiltração moderada, infiltração alta, infiltração muito alta.

Dessa forma, o mapeamento demonstrou que os setores de alta densidade associados às áreas impermeáveis se concentravam na zona da Depressão periférica à Chapada, englobando a maior parte da canalização do rio Granjeiro e sendo referência de uma área problemática. Os setores de Infiltração baixa e moderada encontram-se mais disseminados, alinhados principalmente ao longo de rodovias, quando se distanciando do núcleo urbano. Já as áreas de vegetação, consideradas de alto e muito alto valor de infiltração, estão mais presentes a montante do sopé, nas áreas de pedimento, escarpa e platô.

A pesquisa também identificou que as mudanças ao longo de oito anos ocorreram através do deslocamento espacial expansivo urbano e da substituição de algumas classes em detrimento de outras. O crescimento dos setores urbanos de alta e média densidade atingiu quase 4% da área total da microbacia e as áreas de baixa densidade cresceram tímidos 0,8%. Por outro lado, houve a retração de 4,3% da classe solo exposto e vegetação secundária e quase nenhuma supressão da vegetação robusta.

A delimitação das classes possibilitou a espacialização de informações importantes para o estudo de risco à inundações e enxurradas, dando respaldo ao planejamento de ocupação e manejo, havendo ciência dos vetores de expansão antrópica e de

áreas de impermeabilização na microbacia do rio Grangeiro. Assim, é possível diagnosticar em projeções futuras que a supressão de vegetação secundária tende a acontecer para montante a partir de rodovias que dão acesso ao da área.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). Unidades Estaduais de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UEPGRH), 2014. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwo rk/srv/pt/main.home>. Acesso em: ago.2015.
- ASSINE, M. L.. Análise estratigráfica da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 22, n. 3, p. 289-300, 1992.
- ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15, p. 371-389, 2007.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: um esboço metodológico. *IGEOG/USP. Caderno de Ciências da Terra*, n. 13, p. 1-27, 1971.
- BEURLEN, K. A geologia da Chapada do Araripe. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 34, n. 3, p. 365-370, 1962.
- BEURLEN, K.. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 43, p. 411-415, 1971.
- BISPO, T. C., & LEVINO, N. D. Impactos ambientais decorrentes do uso e ocupação desordenada do solo: um estudo da região da periferia de Maceió/AL. *Anais do XXXI Encontro Nacional De Engenharia De Produção*, 2011.
- BRASIL. Lei Federal 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo*, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
- BRAUN, O. P. Estratigrafia dos sedimentos da parte interior da região nordeste do Brasil: Bacias de Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe. Rio de Janeiro: Divisão de Geologia e Mineralogia/ Departamento Nacional da Produção Mineral, Boletim, n. 236, 75 p. 1966.
- CHAGAS, D. B., ASSINE, M. L., & FREITAS, F. I. Facies sedimentares e ambientes deposicionais da Formação Barbalha no vale do Cariri, bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Geociências UNESP*, 26(4): 313-322.
- DIÁRIO DO NORDESTE. Diário Cariri - Canal do Rio Grangeiro em debate: famílias poderão ser retiradas de áreas de risco, (Publicado em 29/02/2012). Disponível em Diário do Nordeste: <http://blogs.diariodonordeste.com.br/cariri/cidades/canal-do-rio-grangeiro-em-debate-familias-poderao-ser-retiradas-de-areas-de-riscos/>. Acesso em: ago.2015.
- DIÁRIO DO NORDESTE. Regional - Crato recebe projetos de infraestrutura, urbanização e saneamento, (Publicado em 10/07/2015). Disponível em <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/online/crato-recebe-projetos-de-infraestrutura-urbanizacao-e-saneamento-1.1335728>. Acesso em: fev. 2017.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Projeto avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe. Recife: Programa nacional de estudos dos distritos mineiros, 1996
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa, 1999.

- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). Atlas eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará. Disponível em Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará: http://atlas.srh.ce.gov.br/gestao/postos-pluviometricos/pluviometriaAnual.php?cd_postopluiometricos=11158. Acesso em: 30 mar 2015.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos - Mesorregião do Sul Cearense. Escala 1:100.000. Fortaleza: FUNCEME, 2012.
- GOOGLE EARTH. Versão Pro 7.1.2.2041. Imagens de satélite da DigitalGlobe. Datas de aquisição: 27 de julho de 2006 e 23 de agosto de 2014.
- GUERRA, A. J., & CUNHA, S. B. (Organizadores). Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 396 p., 1998.
- GUERRA, A. J., SILVA, A. S., & BOTELHO, R. M. Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 344 p., 1999.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. CIDADES (IBGE) - Evolução Populacional. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?lang=&codmun=230420&search=ceara|crato|infogr%E1ficos:-evolu%E7%E3o-populacional-e-pir%E2mide-et%E1ria>. Acesso em ago.2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil – TOPODATA. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em ago.2015
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). (2007) Mapa das unidades fitoecológicas do Ceará. Disponível em: http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/images3x/Unidades_Fitoecologicas.jpg. Acesso em 10 de junho de 2014
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). Perfil Básico Municipal do Crato. Secretaria de Planejamento e Gestão do Ceará, 2012.
- LIMA, F. J., CESTARO, L. A., & ARAÚJO, P. C. Sistemas geoambientais do município do Crato/CE. Mercator, v. 9, n. 19, p. 129-142, 2010.
- LIMA, M. R., & PERINOTTO, J. A. Palinologia de sedimentos da parte superior da formação Missão Velha, Bacia do Araripipe. Geociências, v. 3, n.1, p. 67-76. 1984.
- LIMA, M. T., & CARVALHO NETA, M. D. As geotecnologias na representação cartográfica dos padrões de uso e ocupação do solo na área da microbacia do rio Granjeiro, Crato/CE. Anais VI Congreso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales. São Paulo, p. 1645-1662, 2014.
- MABESOONE, J. M., & TINOCO, I. M. Palaeoecology of the Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 14, n. 2, p. 97-118, 1973.
- MAGALHÃES, A. O., & OLIVEIRA, V. P. V. (2009). Uso e ocupação da terra no alto curso do Rio da Batateira-município do Crato/CE: impactos ambientais, potencialidades e limitações. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13.
- MAGALHÃES, A. O., PEULVAST, J. P., & BÉTARD, F. (2010, May). Geodinâmica, perigos e riscos ambientais nas margens úmidas de

- planaltos tropicais: levantamento preliminar na região do Cariri oriental (Ceará, Brasil). In IV Seminário Latino-Americano de Geografia Física.
- MORAES, J. F., SANTOS, J. S., & MASCARENHAS, J. D. Projeto Santana: Relatório final da etapa I. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Superintendencia Regional de Recife, 1976.
- PONTE, F. C., & APPI, C. J. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. Anais Congresso Brasileiro de Geologia, 36. Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, p. 211-226, 1990.
- SHIKANGALAH, R.N., JELTSCH, F., BLAUM, N., MUELLER, E.N. A Review on Urban Water Erosion. J. Stud. Humanit. Soc. Sci. v. 5, p. 163-178, 2016.
- TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria técnica SUPREM, 1997.
- VALÉRIO FILHO, M., ALVES, M., GARCIA, R., & FANTIN, M. Caracterização de bacias hidrográficas impermeabilizadas pelo processo de urbanização com o suporte de geotecnologias. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, p. 1977-1983, 2003. Disponível em: <http://www.ltid.inpe.br/sbsr2003/biblioteca/>. Acesso em: 20 set 2016.
- VERÍSSIMO, L. S., CAVALCANTE, I. N., AGUIAR, R. B., & THIAGO, J. Recursos Hídricos subterrâneos da bacia sedimentar do Araripe - Zona leste, Estado do Ceará. XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste, 2007. Disponível em: <http://aguassubterraneas.abas.org/assubterraneas/article/view/22202/14553>. Acesso em: set.2016.
- WILKEN, P. S. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 87p., 1978.