



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA DE FEIRA DE SANTANA (BA) E POSSÍVEIS IMPACTOS NA RECARGA DE AQUÍFEROS POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT®

Lucas Camargo Marquezini^(a), Amilton de Castro Cardoso^(b)

^(a) CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Superintendência de Salvador, lucas.marquezini@cprm.gov.br

^(b) CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Superintendência de Salvador, amilton.cardoso@cprm.gov.br

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais

Resumo

As águas subterrâneas são um recurso de importância crescente nas cidades médias. Os aquíferos localizados sob centros urbanos, por sua vez sofrem com interferência antrópica acentuada. Teramoto (et al. 2015), observa a alteração da taxa de recarga de aquíferos pela impermeabilização como um tema importante e pouco conhecido. Foi analisado o caso do município de Feira de Santana, importante centro populacional e logístico do Nordeste.

A partir de imagens do projeto Landsat®, procurou-se mensurar a evolução da área urbana, com imagens dos anos 1984, 1993, 2007 e 2016. Os resultados indicam um adensamento e expansão da área impermeabilizada contínua e crescente. A cidade se expande sobre área de afloramento do Grupo Barreiras, cujo aquífero, segundo dados do SIAGAS/CPRM corresponde a 46,5% dos poços cadastrados no município.

Palavras chave: Aquíferos, Feira de Santana, Landsat, Uso da Terra

1. Introdução

A importância das águas subterrâneas no abastecimento de centros urbanos é crescente. Segundo a última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008), sistemas de abastecimentos por águas subterrâneas estão presentes em pelo menos 3545 municípios brasileiros, quase dois terços do total. Estimativas apresentadas em 2009 pela Agência Nacional de Águas, com base estudo de Rebouças (1988, apud ANA, 2009), indicam um crescimento médio no período de 1958 a 2008 de 10800 poços por ano. Segundo Borguetti (apud ABAS, 2018?) entre os importantes centros urbanos do Brasil que dependem parcial ou totalmente das águas subterrâneas estão: Ribeirão Preto (SP), Mossoró, Natal (RN), Maceió (AL), Região Metropolitana de Recife (PE) e Barreiras (BA). Conseqüentemente, a preocupação com hiperexploração de aquíferos aumenta.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Além da necessidade de consumo da população, de abastecimento das atividades econômicas, os aquíferos localizados sobre centros urbanos sofrem com a redução da área de recarga pela impermeabilização. Teramoto et al. (2015) avalia que a redução da taxa de recarga em áreas urbanas em aquíferos livres e rasos está entre os temas menos compreendidos no entendimento do fluxo de águas subterrâneas. Tendo em vista a complexidade deste meio e a importância de conhecê-lo, torna-se necessário a implantação de métodos de análise indiretos, com vistas à elaboração de estimativas que venham subsidiar estudos mais detalhados sobre o tema, e mesmo políticas públicas de proteção e aproveitamento dos recursos hídricos.

Na análise aqui proposta avaliaremos especificamente a impermeabilização do solo por meio da urbanização. Para isso selecionamos quatro cenários distintos, com intervalos de tempo de aproximadamente uma década. A evolução do crescimento da área edificada, avaliada por instrumentos de Sensoriamento Remoto é um elemento para avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos na cidade de Feira de Santana (BA).

2. Área de estudo: Feira de Santana

Com população estimada pelo IBGE em mais de 609 mil habitantes (2018), Feira de Santana é o segundo maior aglomerado urbano da Bahia e o maior entroncamento rodoviário do Norte-Nordeste do Brasil. A cidade está situada entre à margem direita do Rio Jacuípe, que compõe a bacia do Rio Paraguaçu. Segundo o INEMA, 67% da área da bacia do Rio Paraguaçu está em área de clima semiárido, com clima Subúmido em sua parte superior e Subúmido a Úmido na parte inferior. Ao sul da cidade de Feira de Santana, o Rio Paraguaçu é represado no município de Cachoeira e forma a Barragem Pedra do Cavalo.

Desde o século XIX o local se consolidou como principal base comercial do interior da Bahia. Santo (2003) destaca que de 1833 até a década de 1970 a cidade cresceu como uma cidade simples do interior do Nordeste, quando a implantação do Centro Industrial de Subaé, deu à cidade as ruas largas e modernidade que a caracteriza até hoje.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Até 1968 não houve um plano para urbanização da cidade, sendo que a ocupação do município sempre foi desordenada, com proporções ainda maiores a partir da década de 1970. A disponibilidade de água subterrânea foi um dos fatores de ocupação no início da cidade de Feira de Santana. (SANTO, 2003)

Dados levantado a partir do SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, desenvolvido pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil) endossam a importância desse recurso para a cidade. São 254 poços, excluindo aqueles declarados como parados ou inviáveis de exploração. A atividade agropecuária demanda parte desses recursos, mas a grande maioria atende o abastecimento urbano e industrial, conforme o gráfico abaixo:

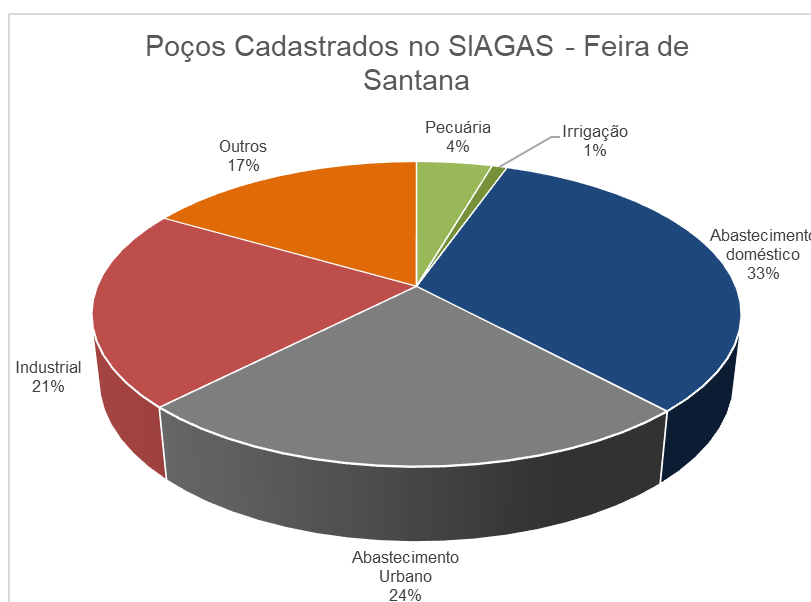


Figura 1 - Uso da água dos poços cadastrados no SIAGAS (CPRM) em Feira de Santana

Cabe destacar que quantificar a exploração de água subterrânea em um território é sempre uma tarefa imprecisa. Apesar de a legislação impor o cadastro das captações informando os índices de vazão e captação, a estrutura de fiscalização ainda é insipiente.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

2.1 Aquíferos de Feira de Santana

A CPRM (2005) classificou três tipos de domínios hidrogeológicos para o município de Feira de Santana:

- **Formações Superficiais Cenozoicas:** Localmente correspondem principalmente às rochas do Terciário do Grupo Barreiras. Segundo a CPRM, “em termos hidrogeológicos, têm um comportamento de ‘aquífero granular’, caracterizado por possuir uma porosidade primária, e nos terrenos arenosos uma elevada permeabilidade, o que lhe confere, no geral, excelentes condições de armazenamento e fornecimento d’água.” Por serem pacotes de rochas de superfície, sobrepostas às rochas mais antigas, são as formações aquíferas mais vulneráveis às alterações de cobertura do solo.
- **Metassedimentos/Metavulcanitos:** Formações formadas por rochas vulcânicas ou sedimentares submetidas a metamorfismo regional, sem porosidade primária. O armazenamento de água nessas rochas depende da existência de porosidades secundárias, correspondentes a fraturas ou fissuras, com armazenamento de água em fendas descontínuas, em geral de pequena extensão. A esse tipo de formação se dá o nome de “aquífero fissural”
- **Cristalino:** rochas vulcânicas de idade pré-cambriana, que também possuem um comportamento de “aquífero fissural”, ou seja, com potencial para abastecimento de água em pequenas quantidades.

As características dos três domínios sugerem que as Formações Superficiais Cenozoicas, correspondentes ao Grupo Barreiras, são a de maior potencial hidrogeológico para a cidade. É também sobre a área de afloramento do Grupo Barreiras que está mais da metade da ocupação urbana do município, tendo como base o Atlas Hidrogeológico da CPRM (2005).

Dos 254 poços encontrados para o município no SIAGAS/CPRM, 47 estão cadastrados tendo como “tipo de formação” o “Grupo Barreiras”. Um número que certamente é maior, pois, atualmente, 145 poços não têm essa informação cadastrada no banco de dados do SIAGAS, dos quais, 101 estão sobre a área e afloramento do Grupo Barreiras. É relevante destacar, ainda que dos 109 poços cadastrados com essa informação, 47 extraem água do Grupo Barreiras, um total de 46,5% do total.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

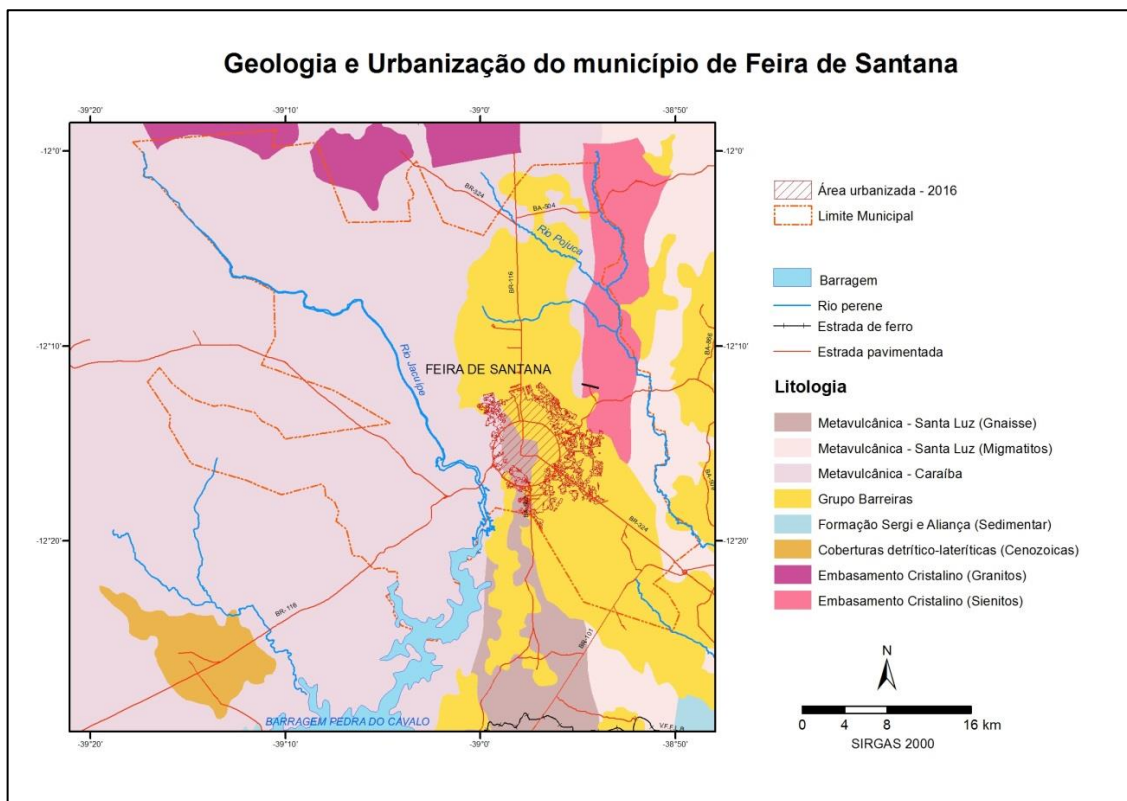


Figura 2: Litologia da área do município de Feira de Santana e localização da área urbanizada do município (2016) (Fonte: Litologia: CPRM, IBGE, elaborado pelo autor)

3. Sensoriamento Remoto: Imagens Landsat®

Buscando contemplar o maior intervalo temporal possível, com dados livres, utilizamos imagens fornecidas pelo projeto Landsat®, sendo imagens do satélite Landsat 5 para os cenários de 1984, 1993 e 2007 e Landsat 8 para o cenário de 2016. O intervalo de quase 30 anos de imagens coletadas busca analisar a urbanização de Feira de Santana pós-1970.

Segundo o INPE, o satélite Landsat 5 possui bandas de espectrais que refletem Intervalos das cores RGB, Infravermelho Próximo e Infravermelho Médio, com resolução



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

espacial máxima de 30 metros. O satélite Landsat 8, com cenários disponíveis a partir de 2013 fornece ainda imagens pancromáticas com resolução de até 15m.

Há considerável bibliografia de aplicações de imagens Landsat 5 no estudo de fenômenos urbanos. Teramoto et al (2015) alerta para as limitações dos produtos Landsat® para a detecção de alvos urbanos, tendo em vista que grande parte dos alvos dentro da área urbana são menores do que a resolução máxima de um pixel que esse instrumento fornece. Conforme Maktav (2006), as técnicas de mapeamento de áreas urbanas através de imagens por satélite não são homogêneas, mas complementares, podendo variar conforme a escala e os objetivos de um trabalho.

A área ocupada pela urbanização em Feira de Santana foi individualizada por meio de fotointerpretação da composição colorida das bandas 2 (associada ao azul), 4 (infravermelho próximo, associada à vegetação) e 7 (associado ao vermelho), uma vez que essa foi a melhor combinação entre outras testadas. É a mesma composição utilizada nas imagens do Mosaico *Geocover*, amplamente utilizado em análises de cobertura da terra. A imagem Landsat 08 apresentou um resultado melhor com a composição de imagens com cores reais, com a composição das bandas 2, 3, e 4. A delimitação da área urbanizada foi elaborada de forma não-automática.

Satélite	Instrumento	Data da coleta
Landsat 05	(TM) Thematic Mapper, bandas 2, 4 e 7	11/08/1984
Landsat 05	(TM) Thematic Mapper, bandas 2, 4 e 7	10/12/1993
Landsat 05	(TM) Thematic Mapper, bandas 2, 4 e 7	15/01/2007
Landsat 08	OLI (Operational Land Imager), bandas 2, 3 e 4	18/07/2016

Tabela 1: Imagens usadas para delimitação da área urbana nos diferentes períodos.

Para uma análise da expansão e adensamento da área impermeabilizada foi utilizado o software ArcMap 10.6 e a ferramenta de classificação não supervisionada *Isso Cluster Unsupervised Classification*. Por meio dela, buscou-se diferenciar dentro da área urbana de Feira de Santana áreas construídas das ocupadas por vegetação ou corpos d'água.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

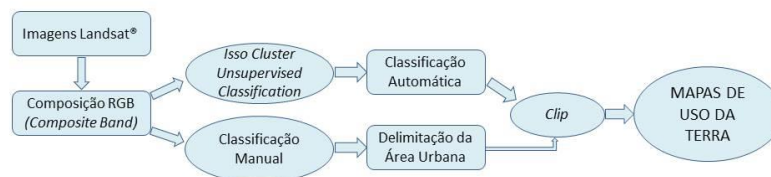


Figura 3: Fluxograma de realização do mapeamento de áreas urbanas, por imagens orbitais Landsat®

4. Resultados

As classificações geradas, apesar das limitações impostas pela resolução espacial e pela cobertura de nuvens, apresentaram cenários similares e contínuos em demonstrar um avanço da urbanização em Feira de Santana. Através da ferramenta *Calculate Geometry* do programa ArcGIS 10.6, foi possível calcular, em quilômetros quadrados, a área dos diferentes cenários mapeados.

No cenário de 1984, foi calculada uma área pouco superior a 30 km² de edificações para a cidade de Feira de Santana. Para a imagem de 1993 esse índice alcançou 35 km². Embora o mapa indique um imperceptível avanço da expansão urbana, a classificação automática sugere um adensamento da área construída no período.

O terceiro cenário obtido, para o ano de 2007 resultou em uma área construída de 45 km². Considerando o período maior de intervalo em relação ao intervalo entre as imagens anteriores, houve uma pequena intensificação no crescimento na área impermeabilizada: no período anterior o crescimento médio foi de 0,55 km²/ano e no segundo intervalo houve um aumento médio de 0,71 km²/ano.

O cenário de 2016 indicou um número consideravelmente superior: 67 km² de área edificada para a cidade de Feira de Santana. Neste período a média anual calculada chega a 2,44 km²/ano.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Observa-se nos mapas obtidos uma continuidade crescente do adensamento e da expansão da área edificada e, portanto impermeabilizada do município de Feira de Santana. De 1984 para 1993, observa-se um adensamento da urbanização em uma área que pouco se expandiu. Nos cenários de 2007 e 2016 é notável uma expansão da área ocupada por edificações, destacadamente ao nordeste da cidade, conforme observamos na figura 5.

A expansão da urbanização no último período avaliado é visível, todavia, a intensificação dos números podem representar uma questão metodológica, devido ao uso de imagens do satélite Landsat 8. Isso não descarta, todavia, uma real intensificação do processo.

Tomando os dados como reais, observaremos um crescimento da área edificada de 123,33% da área edificada, a uma taxa média de 3,85% ao ano, mas com uma aceleração na década final, conforme o gráfico da figura 4.

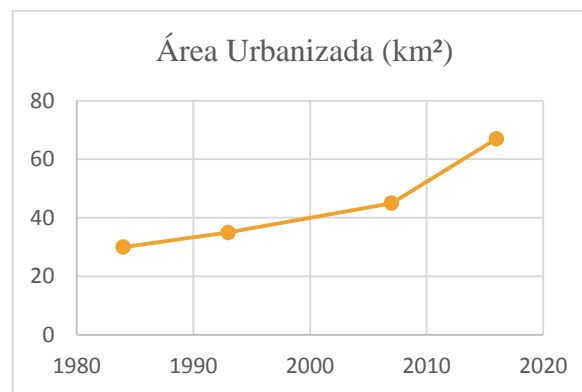


Figura 4: Evolução da área urbanizada em Feira de Santana

Comparando a expansão urbana com a base de poços cadastrada no SIAGAS/CPRM, observamos que a maior concentração de poços está inserida na área urbanizada no município. A área de concentração de poços cadastrados obedece a área de concentração urbana, havendo uma coincidência com as áreas onde aflora o Grupo Barreiras. Considerando o último cenário através das imagens, para o ano de 2016, 93 dos 254 poços cadastrados no SIAGAS estão dentro da área urbanizada ou em até 500m de distância da área mapeada,



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

totalizando 36,6% do total. Desses 93 poços, 78 estão localizados em área de afloramento do aquífero Barreiras.

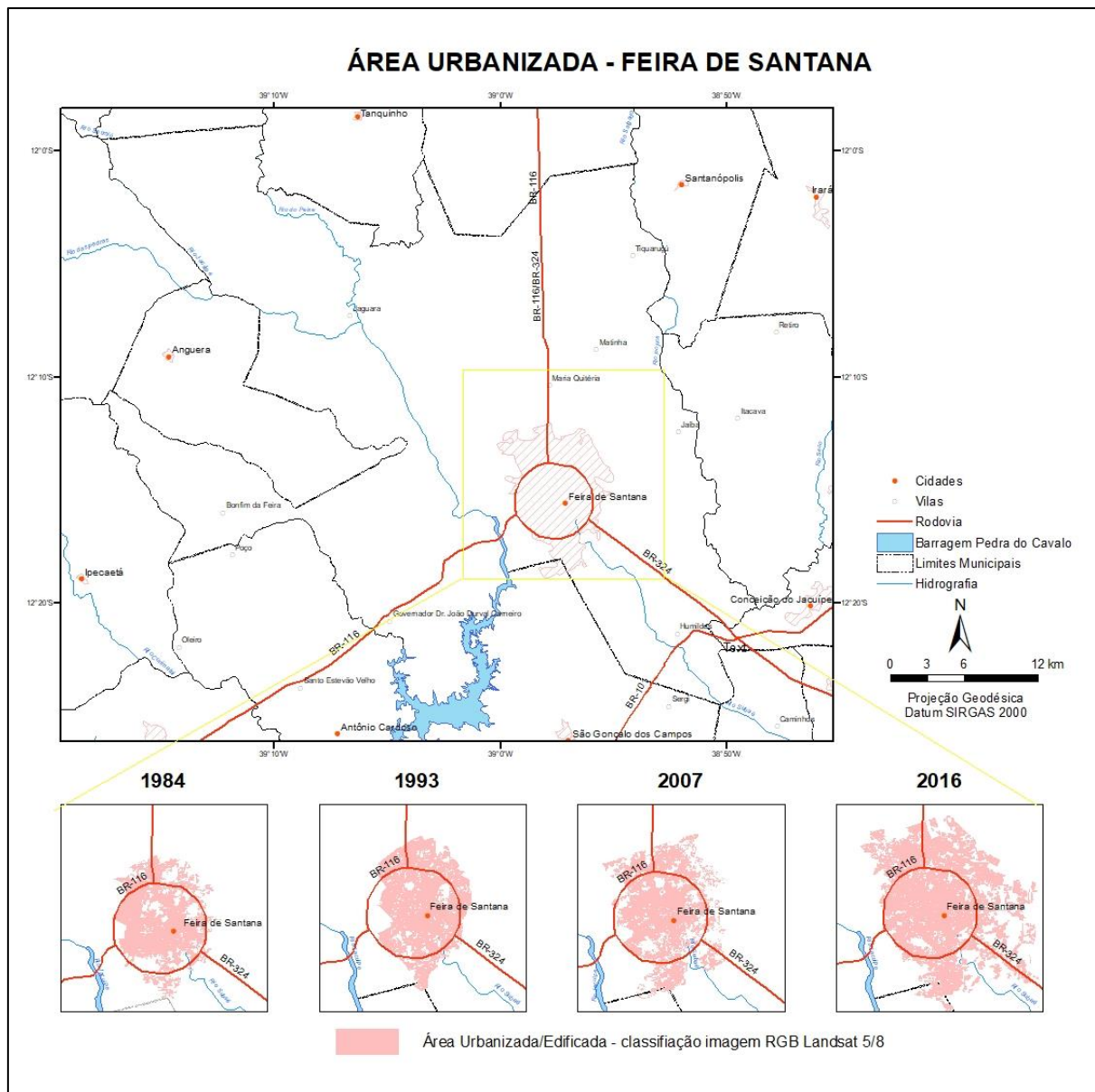


Figura 5: Resultado do levantamento de área urbanizada em Feira de Santana, nos anos avaliados



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Através da ferramenta *Kernel Interpolation* da plataforma ArcGIS foi possível elaborar isolinhas de distribuição de poços dentro do município de Feira de Santana, com base nos dados coletados no SIAGAS. O mapa obtido ilustra a concentração de poços em área urbana, ou periférica a ela, sendo, em sua maioria, poços sobre o Grupo Barreiras, conforme a figura 7.

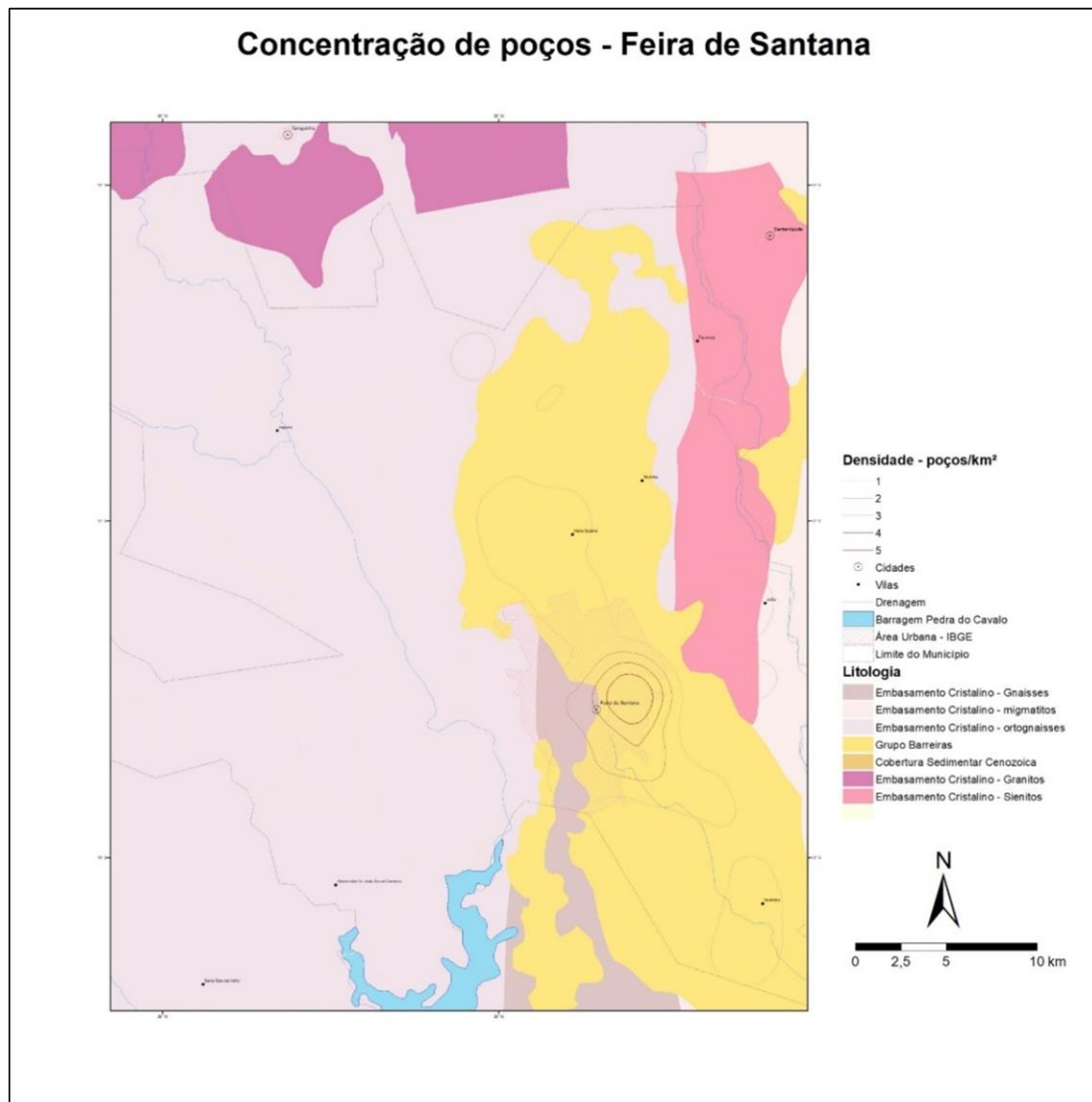


Figura 6: Isolinhas de concentração de poços por quilômetro quadrado na área do município de Feira de Santana.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

5. Considerações

A urbanização é um processo que segue se acentuando na área em estudo. Assim sendo, a área impermeabilizada do município de Feira de Santana vem sofrendo uma expansão e adensamento contínuos nas últimas décadas. A avaliação de imagens orbitais do projeto Landsat ajudam a estabelecer parâmetros de comparação que ratificam esse fenômeno observável pela expansão da economia e da população no período.

No que se refere à captação de águas subterrâneas, é significativa a participação de empreendimentos urbano-industriais se avaliarmos a distribuição geográfica de poços cadastrados no SIAGAS/CPRM.

A cidade está situada principalmente sobre áreas de ocorrência do Grupo Barreiras, principal reserva aquifera da região pelo seu potencial de armazenamento, e a que possui maior demanda, pela localização das principais atividades econômicas do município. Os fatores aqui citados corroboram a importância de estudos futuros detalhados, para preservação das reservas hídricas no município, e a urbanização como um elemento fundamental nesta análise.

6. Referências Bibliográficas

ABAS. **Águas Subterrâneas: o que são?** (retirado do livro "O Aquífero Guarani" de autoria de Nádia Rita Boscardin Borguetti, José Roberto Borghetti e Ernani Francisco da Rosa Filho). Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Disponível em: <http://www.abas.org/educacao.php>. Acesso em 28/12/2018.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2009. 203p.

CPRM. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea: Estado da Bahia**. Diagnóstico do Município de Feira de Santana. Salvador: CPRM, 2005. 25 p.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em <http://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em 27 de Dezembro de 2018.

INEMA. **CBH Paraguaçu**. Bahia. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-paraguacu/>. Acesso em 27 de Dezembro de 2018.

INPE. **Landsat**. Divisão de Geração de Imagens – Coordenação-geral de Observação da Terra. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em 27 de Dezembro de 2018.

MAKTAV, D.; ERBEK, F.S. & JÜRGENS, C. Remote sensing of urban areas. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 4, p. 655-659, 2005.

SANTO, S. M. O Desenvolvimento Urbano em Feira de Santana (BA). **Sitientibus: Revista da Universidade Estadual de Feira de Santana**, Feira de Santana, v. n.28, p. 09-20, 2003.

TERAMOTO, E.H. (et al). Correções empíricas para o aprimoramento da classificação de coberturas impermeáveis empregando imagens de satélite de média resolução. In: **Águas Subterrâneas**, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, v. 29, n.1, p. 72-86, 2015.