

APLICAÇÃO DE MODELO DE DETERMINAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS AO ARMAZENAMENTO HÍDRICO SUBTERRÂNEO NO BAIXO SÃO FRANCISCO- SE

José Carlos Benício do Nascimento Filho¹
Paulo Sergio de Rezende Nascimento²

Recursos Hídricos e Qualidade da água

Resumo

Incluído no Polígono das Secas, o estado de Sergipe apresenta parte de seu território em região semiárida, com um regime pluviométrico irregular em tempo e espaço. A captação da água subterrânea é uma alternativa para suprir a falta desse recurso hídrico em períodos críticos. Nesse contexto, estudos hidrogeológicos a partir de dados climáticos, pedológicos, litológicos e de uso da terra podem estimar áreas potencialmente armazenadoras de águas subterrâneas. Estudos hidrogeológicos são importantes para o estado de Sergipe, que ainda apresenta desconhecimento da distribuição espacial da potencialidade das formações geológicas armazenadoras de águas. Por isso, este trabalho objetivou estimar a favorabilidade ao armazenamento de água subterrânea na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no estado de Sergipe. O trabalho baseou-se no Projeto Água Subterrânea no Nordeste do Brasil (PROASNE) para determinação de áreas com maior potencialidade de armazenamento de água. Para isso, foi realizada a Combinação Linear Ponderada de mapas temáticos, em que suas classes receberam pesos e ponderações característicos de sua favorabilidade ao armazenamento de águas subterrâneas. O resultado foi um mapa que apresentou a maior favorabilidade ao armazenamento de águas subterrâneas na região central. Conclui-se que a metodologia aplicada foi inadequada para a região de aquíferos granulares, mas consistente para a de aquíferos fissurais. O produto cartográfico desse trabalho é um documento técnico capaz de subsidiar trabalhos futuros de confirmação da existência e investigação da qualidade hídrica subterrânea no baixo São Francisco em Sergipe.

Palavras-chave: PROASNE; Águas subterrâneas; Combinação linear ponderada.

¹Mestrando em Recursos Hídricos – Universidade Federal de Sergipe – Campus São Cristóvão, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, carlos-benicio-filho@hotmail.com.

²Prof. Dr. Paulo Sergio de Rezende Nascimento, da Universidade Federal de Sergipe – Campus São Cristóvão, Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, psrn.geologia@gmail.com.



INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos (1997) define a água como recurso natural limitado, dotado de valor econômico. A bacia hidrográfica é sua unidade de planejamento e gestão, que ocorre com a utilização de instrumentos, como a cobrança pelo seu uso, a outorga e os planos de bacias hidrográficas. Entre as bacias hidrográficas existentes no estado de Sergipe, a do São Francisco se destaca por sua extensão territorial e pelo abastecimento populacional. Segundo Netto e Santana (2015) a bacia do São Francisco apresenta relevância ecossistêmica e socioeconômica imensurável, por sua utilização na irrigação, pecuária e abastecimento de grande parte da região.

Conforme o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2016), a avaliação das disponibilidades hídricas de uma bacia é de suma importância, por servir de base aos balanços traçados no horizonte do seu Plano de Gerenciamento. Nesse contexto, os aquíferos são fontes hídricas que devem ser consideradas à gestão dentro de uma bacia hidrográfica. Eles podem ser enxergados como garantias de segurança hídrica de regiões, mas, para isso fazem-se necessárias pesquisas baseadas em evidências que possam impulsionar a adoção e implementação de estratégias sustentáveis de extração (NHAMO *et al.*, 2020). O planejamento de estratégias ótimas de gerenciamento de águas subterrâneas inclui a identificação dos locais de armazenamento e determinação de vazões adequadas de extrações hídricas (SULTAN *et al.*, 2019). Contudo, o estado de Sergipe ainda se depara com desafios técnicos referentes a estudos de mananciais subterrâneos.

Esses estudos podem ocorrer pela interpretação dos dados remotamente sensoriados que registrem feições e fenômenos da superfície. Dentre os diversos produtos sensoriados remotamente, podemos destacar os dados SRTM, que tem se popularizado na estimativa de localização de recursos hídricos subterrâneos, através da extração de características geológicas, hidrogeológicas e superficiais (JOEL *et al.*, 2020). De acordo com Joel *et al.* (2020) os dados SRTM são frutos de uma pesquisa internacional para obtenção de modelos de elevação digital em escala quase global (entre 56 S a 60 N), em um banco de dados topográfico digital de alta resolução.

Diante da importância da bacia hidrográfica do rio São Francisco para Sergipe, sua

área dentro do estado foi a delimitação territorial deste trabalho. Seu objetivo foi a estimativa de áreas favoráveis ao armazenamento de águas subterrâneas na bacia. Isso por técnicas de geoprocessamento baseadas em Feitosa (2008), aplicadas aos dados de pluviosidade, litológicos, pedológicos, de cobertura do solo e índice de fraturamentos extraído de dados SRTM, obtidos por sensoriamento remoto. Dessa forma, pretende-se fornecer um embasamento técnico para estudos e tomadas de decisões que auxiliem a gestão hídrica local.

METODOLOGIA

A área de estudo corresponde a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no estado de Sergipe (denominada Baixo São Francisco - BSF), localizada entre as coordenadas 9°31 e 10°40 de latitude sul e 36°10 e 38°12 de longitude oeste (Figura 1). Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2016), seu comprimento de drenagem é de 1.741 km e sua demanda de água atual é de 269.137.303 m³/ ano.

A região é formada pelos climas semiárido e agreste, que ocupam respectivamente 77% e 33% da área. O semiárido caracteriza-se por baixo índice pluviométrico e de umidade e alta taxa de temperatura e evaporação, enquanto o agreste possui o clima mais úmido, com maior índice pluviométrico e amplitude térmica. O BSF em Sergipe apresenta períodos chuvosos irregulares, normalmente de 3 a 5 meses (fevereiro a junho). Esse mantém maiores precipitações na região costeira (1.000 a 2.000 mm/ano) e os menores no Norte (400 a 600 mm/ano).

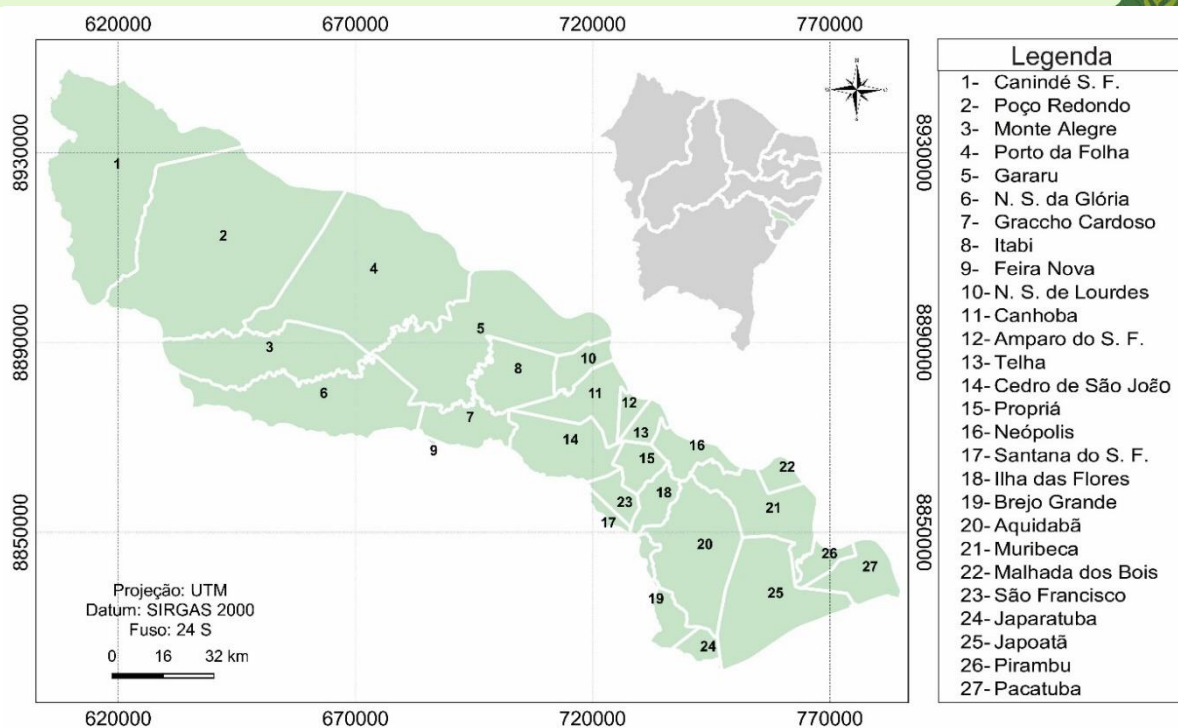


Figura 01: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco em Sergipe.

A metodologia adotada nesse trabalho foi adaptada a partir do Projeto Água Subterrânea no Nordeste do Brasil – PROASNE. Esse projeto foi realizado em âmbito de cooperação técnica firmada entre os Serviços Geológicos do Brasil e Canadá, com participação de diversas instituições brasileiras, no período de 2000 a 2004 (FEITOSA *et al.*, 2008). Sua metodologia foi desenvolvida em quatro etapas: (i) seleção de fatores que influenciam o armazenamento de águas subterrâneas (pluviosidade, litologia, pedologia, declividade, índice de fraturamentos e cobertura do solo); (ii) determinação das classes desses fatores presentes na área de estudo; (iii) atribuição de pesos e ponderações a cada um dos fatores e classes e (iv) realização de sobreposição desses dados.

A determinação dos pesos e ponderações deste trabalho ocorreu através dos valores propostos pelo PROASNE, que foi proposta com base no conhecimento empírico de especialistas e trabalhos renomados. Sua sobreposição aconteceu por meio da técnica de modelagem conhecida como Combinação Linear Ponderada WLC (Weighted Linear Combination).

Dentre os mapas propostos, o de declividade foi elaborado a através dos dados

SRTM, com o estabelecimento de cinco classes definidas pela EMBRAPA (1999) e adotadas pelo PROASNE. Sendo essas: i) Relevo plano (< 3%) (ponderação 10); ii) Relevo suavemente ondulado (3-8%) (ponderação 8); iii) Moderadamente ondulado (8-20%) (ponderação 5); iv) Fortemente ondulado (20-45%) (ponderação 2); e v) Montanhoso (> 45%) (ponderação 0).

Utilizou-se também o índice de fraturamentos como fator de favorabilidade ao armazenamento de água subterrânea. Para obtenção desse índice, lineações de relevo foram extraídas de dados SRTM. O procedimento adotado foi a fotoleitura de feições geológicas, a partir da interpretação de imagens de satélites. Após a fotoleitura e fotoanálise das lineações de relevo, seus nós foram extraídos por intermédio da ferramenta mapa de calor, do software QGIS. A partir disso, gerou-se um novo conjunto de dados matriciais, que foram classificados em intervalos iguais, obtendo-se a interpolação de Kernel com cinco classes de densidade de lineações: i) Muito baixa (ponderação 2); ii) Baixa (ponderação 4); iii) Média (ponderação 6); iv) Alta (ponderação 8) e v) Muito alta (ponderação 10).

O mapa de cobertura da terra foi obtido por meio da classificação simplificada de dados disponibilizados pela SERHMA (2020). A partir disso, a ponderação de suas classes foi realizada com base no PROASNE: i) Área urbana e espelhos d'água (ponderação 0); ii) Caatinga arbustiva e pecuária (ponderação 3); iii) Caatinga arbórea aberta e agricultura de subsistência (ponderação 4); iv) Caatinga arbórea fechada (ponderação 6); v) Mata úmida c/ fruticultura comercial (ponderação 7) e vi) Mata úmida fechada e mata ciliar (ponderação 9).

O mapa pedológico também foi extraído de dados disponibilizados pela SERHMA (2020). Nele temos as classes: i) Litólico eutrófico (ponderação 1); ii) Solonetz solodizado (ponderação 2); iii) Planossolo (ponderação 3); iv) Bruno não-cálcico (ponderação 5); v) Podzólico vermelho (ponderação 6) e vi) Aluvial (ponderação 10). Assim como os mapas anteriores, o mapa litológico foi desenvolvido através da simplificação das classes, originárias da base de dados disponíveis em SERHMA (2020). Suas ponderações foram estabelecidas através da metodologia em que se baseou o trabalho: i) Ngdgn – granodioritos e granitos porfiríticos gnaissificados (ponderação 3); ii) Ngr – granitóides não deformados, Ngra – quartzo-dioritos e granitos róseos a duas micas, Ngrd – granodioritos e granitos



porfíticos e Ppgn – corpos tabulares de granito (ponderação 4); iii) Pcgñ – calcissilicáticas, Pmig – migmatitos paraderivados, Pogn – ortognaisses fortemente bandados (ponderação 5); iv) Pbgñ – biotita – gnaisses e gnaisses com granada e silimanita, Pcc – metacalcários, Phgn – hornblenda- biotita-gnaisses e paranfibolitos, Pqt – quartzitos e Pxt – xistos (ponderação 6) e v) Qal – aluviões (ponderação 9).

O mapa de pluviosidade foi construído por meio da classificação simplificada de SERHMA (2020). Nesse mapa encontramos classes divididas por intensidade de precipitação: i) 951-1350 mm/h (ponderação 6); ii) 851-950 mm/h (ponderação 5); iii) 751-850 mm/h (ponderação 4); ii) 651-750 mm/h (ponderação 3); ii) 551-650 mm/h (ponderação 2); e ii) até 550 mm/h (ponderação 1).

Para atribuição de pesos aos fatores, a metodologia apresentada no PROASNE se baseou no empirismo de especialistas, considerando trabalhos anteriores, como: técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados na avaliação do potencial hidrogeológico da folha Irauçuba (BRANDÃO e GOMES, 2003). A litologia foi entendida como menor influenciadora na favorabilidade ao armazenamento de água, por isso recebeu ponderação de 10% de importância. Acima de tal valor, encontramos a pluviosidade, cobertura do solo, tipos pedológicos e declividade, que foram percebidos com maior influência e receberam ponderação de 15%, cada. Porém, o fator com maior peso de influência foi o índice de fraturamentos, representado nesse trabalho pela densidade de lineações de relevo, que recebeu 30% de ponderação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de favorabilidade ao armazenamento de água subterrânea (Figura 2), obteve características próximas ao mapa de Kernel, que foi o fator com maior peso. A classe de maior favorabilidade encontrou-se no centro da área de estudo, ocupando cerca de 3,5% do território. Ela abrangeu Cedro de São João, São Francisco, Aquidabã, Malhada dos Bois, Telha, Propriá, Japoatã e Graccho Cardoso.

A classe de alta favorabilidade ocupou 8,5% da área, destacando-se nos

municípios de Canindé de São Francisco, Japoatã, Muribeca, Malhada dos Bois, Cedro de São João, Aquidabã, Canhoba, Telha, Propriá e Graccho Cardoso. A classe de média favorabilidade ao armazenamento apresentou-se espalhada por toda a bacia. Essa ocupou 13% da região e teve representatividade principalmente nos municípios de Canindé de São Francisco e Poço Redondo, Japoatã, Neópolis e Brejo Grande ao sul e Gararú e Graccho Cardoso.

A classe de baixa favorabilidade foi a mais expressiva na área de estudo, estando em 48% por cento da região. Ela pode ser percebida principalmente no centro-sul, como nos municípios de Gararú, Porto da Folha, Pacatuba, Pirambu, Japaratuba e Santana do São Francisco. A região norte destacou-se pela classe de muita baixa favorabilidade, com grande parte dos seus 27% nos municípios Monte Alegre Poço Redondo, Porto da Folha, Canindé de São Francisco e Nossa Senhora da Glória.

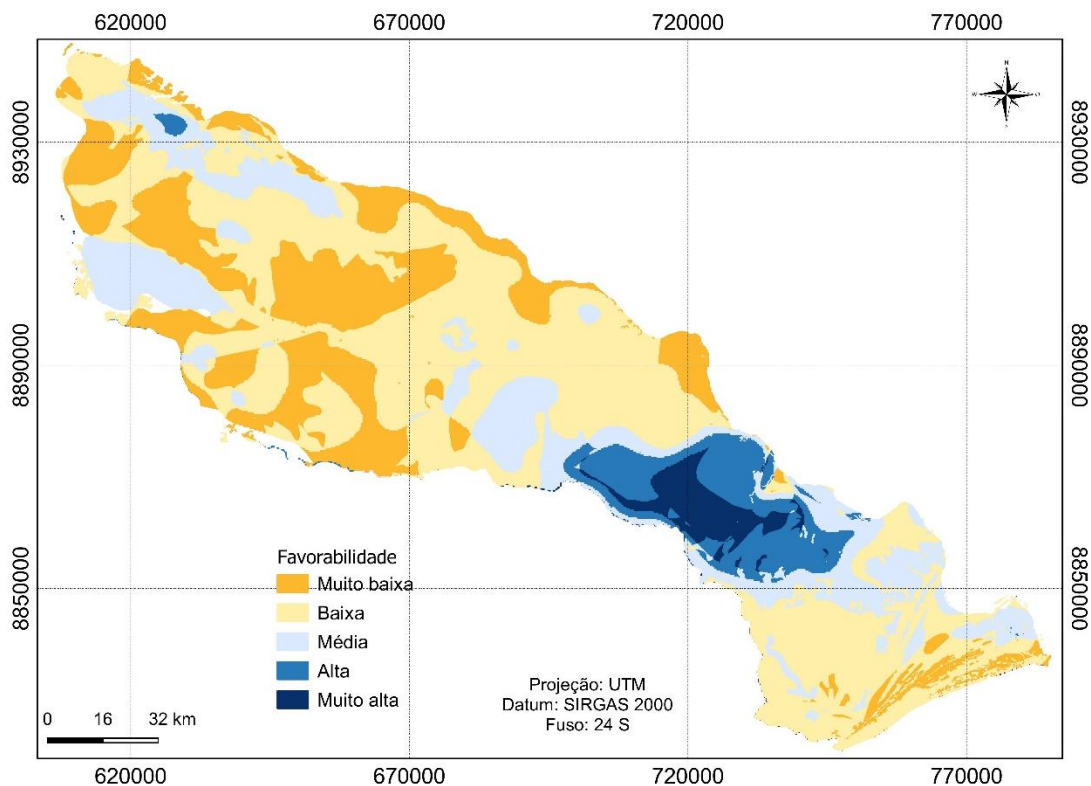


Figura 02: Mapa de favorabilidade ao armazenamento de água subterrânea.

Como é possível ver no mapa, a classificação não se apresentou eficaz na região sul, composta por aquíferos granulares. Isso porque esses são excelentes armazenadores de



água subterrânea em decorrência da porosidade e permeabilidade primárias. As lineações de relevo analisadas no trabalho, que representam prováveis fraturas (porosidade e permeabilidade secundárias), são influenciadoras da recarga de aquíferos fraturados, mas não devem ser consideradas determinantes no processo de recarga de terrenos porosos. Dessa forma, recomenda-se que a unidade fisiográfica básica de estudo não seja a bacia hidrográfica, mas sim a formações hidrogeológica.

Barreto *et al.* (2001) aplicou metodologia semelhante em terreno cristalino do estado do Rio de Janeiro. Esse também utilizou a densidade de fraturas, representantes de permeabilidade e porosidade secundárias, como fator determinante ao armazenamento subterrâneo de água. Porém, concluiu que o ideal seria utilizar apenas os sistemas distensivos, cujas fraturas abertas constituem o meio propriamente dito de circulação de água. Também foi entendido que poderia ser aplicado um fator de intersecção de fraturas, fundamental para se quantificar a interconectividade desses sistemas.

Lima *et al.* (2009) adotou metodologia semelhante, com a utilização da litologia, pedologia, cobertura do solo, densidade de fraturas e declividade como fatores de análise. Sua área de estudo foi a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD), no estado do Rio de Janeiro, que apresenta terreno cristalino. Assim como no PROASNE e Barreto *et al.* (2001), a determinação de fraturas foi o fator de maior peso. Porém, essa metodologia, não considerou a litologia como fator de menor peso, sendo então atribuída nota inferior à cobertura do solo. Os pesos e ponderações atribuídos a seus fatores e classes divergiram das demais metodologias, mas também foram consideradas eficazes em terrenos cristalinos.

CONCLUSÕES ou CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse trabalho foi alcançado pela determinação de classes de favorabilidade ao armazenamento de água subterrânea região da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no estado de Sergipe. A metodologia aplicada apresentou-se eficiente nas regiões central e norte da área de estudo e ineficiente na região sul, composta por aquíferos granulares. Espera-se que esse trabalho possa contribuir para o avanço científico e

tecnológico, promovendo o melhor entendimento dos sistemas aquíferos no estado de Sergipe.

REFERÊNCIAS

BARRETO, A. B. C.; MONSORES, A. L. M.; PIMENTEL, J. Modelo de favorabilidade hidrogeológica em aquíferos fissurais: a utilização de técnicas de geoprocessamento no cristalino do estado do rio de janeiro. Rio de Janeiro: **Águas subterrâneas**, v. 1, p. 467-475, 2001.

BRANDÃO, R. L.; GOMES, F. E. M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na avaliação do potencial hidrogeológico da folha Irauçuba. Fortaleza: **Revista de geologia**, v.16, n.1, 2003.

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Disponível em:<<http://www.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9433-8-janeiro-1997-374778-norma-pl.html>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. Resumo executivo. Brasília: Agência Nacional de Águas, p. 50, 2016.

EMBRAPA. **Classificação de Solos do Estado de São Paulo**. 1999.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM, p. 306- 330, 2008.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. rev. e ampl. Rio de Janeiro: **CPRM**, p. 306- 330, 2008.

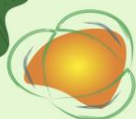
JOEL, E. S. et al. Geo-investigation on groundwater control in some parts of Ogun state using data from Shuttle Radar Topography Mission and vertical electrical soundings. **Heliyon**, v. 6, n. 1, p. e03327, 2020.

LIMA, Luana Alves et al. Favorabilidade de aquíferos fraturados: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos-estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 32, n. 2, p. 51-61, 2009.

NETTO, A. O. A.; SANTANA, N. R. F. (Org.). **Contexto socioambiental das águas do Rio São Francisco**. São Cristóvão: Editora UFS, v. 1, p. 7, 2015.

NHAMO, L. et al. An assessment of groundwater use in irrigated agriculture using multi-spectral remote sensing. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 115, p. 102810, 2020.

SERHMA. **Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe**. Aracaju: SERDUBS, 2020



18º Congresso Nacional de
MEIO AMBIENTE
Poços de Caldas

2021

21, 22 e 23 DE SETEMBRO
100% On-line

Justiça climática no Antropoceno

ISSN on-line N° 2317-9686-V.13 N.1 2021

SULTAN, M. et al. Assessment of age, origin, and sustainability of fossil aquifers: A geochemical and remote sensing-based approach. **Journal of Hydrology**, v. 576, p. 325-341, 2019.

Realização

GSC
Eventos Especiais
a grife de sucesso em eventos



INSTITUTO FEDERAL
Sul de Minas Gerais
Campus Muzambinho



Grupo de Pesquisa
Ciências Ambientais
IF SULDEMINAS - Muzambinho



INSTITUTO FEDERAL
Sudeste de Minas Gerais
Campus Santos Dumont

Apoio Institucional

UninCor
tá no coração da gente

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
Ciências Ambientais



UnifalMG
Universidade Federal de Minas Gerais