

## Mapeamento do fluxo de CO<sub>2</sub> em ambientes de caatinga e de sistemas agropecuário por meio de imagens orbitais

Davi Cerqueira Grilo <sup>1</sup>

Washington de Jesus Sant'Anna Franca-Rocha <sup>1</sup>

Elane Fiúza Borges <sup>2</sup>

Vanderlise Giongo Petrere <sup>3</sup>

Dayse Marana de Brito Araújo <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana  
Caixa Postal 252-294 – Feira de Santana - BA, Brasil  
{dcgrilo, francarocha, dayse.marana}@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal da Bahia-UFBA  
Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável - ICADS  
CEP 47805-100- Barreiras - BA, Brasil  
elaneborges@gmail.com

<sup>3</sup> Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária - EMBRAPA  
EMBRAPA Semi-Árido/CPTSA  
CEP 56302-970- Petrolina - PE, Brasil  
vanderlise@cptsa.embrapa.br

**Abstract.** The high emission of greenhouse gases combined with the decrease of the sinks sources (mainly caused by the disorderly retreat of vegetation) leads to very rapid environmental changes affecting the environment in different ways. Among other activities, inappropriate land use is a major factor influencing the emission of greenhouse gases. Prevalent in semi-arid areas, the Caatinga biome is considered vulnerable before the effects of global climate change, and is also one of the most widely abused and degraded of the planet. This study investigates, from satellite images, the configuration of the carbon flow in systems of preserved and disturbed savanna, rainfed crop production and irrigated agriculture. The study was carried out in Petrolina, in two experimental fields at EMBRAPA. Survey was conducted by collecting bibliographic and regional data, such as type of flora and climate. In addition, field studies were conducted to collect information and to validate the processed images. Landsat 5 TM, images were processed, generating vegetation indexes- NDVI and PRI - and carbon flux in the area, through the operation between NDVI and PRI rescheduled. The Caatinga is characterized by the occurrence of seasonal drought and periodic regimes with intermittent rivers and vegetation without leaves. The climatic characteristics of the region, especially in the study area, are marked by low rainfall and high temperatures and insolation, leading to a high evapotranspiration, thereby influencing the photosynthetic dynamics and therefore the endemic plant phenological peculiaridades. The areas with greater vegetative activity, with farm management, especially irrigated areas, show high levels of efficiency of carbon flux. The sectors comprising preserved caatinga and disturbed show a lower carbon flux in the areas that have water in the system, because plants with a high level of stress, decreasing the amount of leaves and, consequently, the photosynthetic activity.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, carbon flow, sensoriamento remoto, processamento de imagens, fluxo de carbono.

### 1. Introdução

Durante as últimas décadas do século XX os impactos sobre o meio ambiente se elevaram consideravelmente, devido a busca incessante dos diversos países pelo crescimento econômico, levando a um aumento da emissão de gases que se acumulam na atmosfera.

A supressão da vegetação provoca o aumento da concentração de gases, em especial dos que contém carbono, gerando mudanças ambientais muito rápidas, afetando o ambiente nas diferentes formas. Entre as principais causas dessa concentração estão a queima de combustíveis fósseis, tanto no nível industrial quanto urbano, e devastação de áreas florestais.

Países em desenvolvimento como o Brasil, de acordo com o Plano Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), além de emitirem gases via queima de combustíveis fósseis, emitem também por meio da mudança no uso da terra, em particular da conversão de áreas florestais para uso agropecuário.

Esse uso inadequado do solo ocorre também na região Nordeste do Brasil, em especial no Semiárido, onde a capacidade de recuperação do solo, e, por conseguinte, da vegetação típica, é mais difícil, em razão da elevada insolação e das chuvas torrenciais irregulares. Predominante no semiárido brasileiro, a Caatinga é considerado um bioma vulnerável diante dos efeitos das mudanças climáticas globais, e também é um dos sistemas mais agredidos e degradados do planeta, segundo dados do Ministério do Meio Ambiente.

A implantação ou recuperação de áreas vegetadas possibilita oportunidade de negócios voltados ao desenvolvimento de projetos de conservação, preservação, e mesmo, de recuperação em áreas degradadas, tornando, muitas vezes, possível a aplicação do conceito de sustentabilidade ambiental.

Sendo assim, em âmbito local, se faz importante estudos voltados ao desenvolvimento utilizando mecanismos limpos, principalmente em áreas com elevada vulnerabilidade ambiental, como o semiárido nordestino.

Algumas dessas regiões possuem áreas degradadas avançando para um processo de desertificação. Esses locais necessitam de intervenções para controle e reordenamento do território, tanto no contexto ambiental como no social.

De acordo com o MMA (2000), a caatinga se constitui em um bioma desamparado de arcabouço legal e institucional forte que promova a sua preservação, se tornando assim, ameaçada a desaparecer como resultado do desmatamento.

O MMA (2010), com base nos dados do monitoramento do desmatamento do bioma caatinga realizado de 2002 a 2008, mostrou que o território devastado desse bioma foi de 16.576 km<sup>2</sup>, o equivalente a 2% de sua área total. A taxa anual média de desmatamento ficou em torno de 0,33% (2.763 km<sup>2</sup>). Nesse sentido deve-se implantar Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) para reduzir a destruição do bioma.

Além disso, a caatinga se destaca por apresentar uma elevada capacidade de estocagem de gases de efeito estufa, o que a torna de substancial relevância para o meio ambiente e a sociedade, além de gerar benefícios do ponto de vista sócio-econômico, importante para a população que reside na região do Semiárido brasileiro. Esta pesquisa tem como objetivo verificar, a partir de imagens orbitais, o comportamento do fluxo de carbono em quatro áreas de referências: caatinga preservada, caatinga antropizada, agricultura de sequeiro e agricultura irrigada.

## **2. Metodologia de Trabalho**

### **2.1 Caracterização da área de estudo**

O estudo foi realizado em Petrolina, município do Estado de Pernambuco, em dois campos experimentais da Embrapa Semi-Árido, (Figura 1). Esses representam diferentes formas de antropização, ou seja, apresentam locais com caatinga preservada e manejos agropecuários do qual se tem: o sistema agropecuário de sequeiro (composta de capim *Buffel*) e o sistema de produção agrícola irrigada (mangueira, uva, feijão, milho, dentre outros produtos).

O bioma Caatinga é o principal ecossistema existente na Região Nordeste, estendendo-se pelo domínio do clima semiárido. O termo Caatinga é originário do tupi-guarani e significa mata branca. Esse bioma é único, pois apresenta grande variedade de paisagens, relativa riqueza biológica e endemismo.

Situada no Semiárido brasileiro, a Caatinga se caracteriza pela ocorrência de secas estacionais e periódicas, com regimes intermitentes aos rios e vegetação sem folhas. A folhagem das plantas volta a brotar e fica verde nos curtos períodos de chuvas. O Bioma é dominado por tipos de vegetação xerófitas – formações vegetais secas, que compõem uma paisagem cálida e espinhosa – com estratos compostos por gramíneas, arbustos e árvores de porte baixo ou médio (3 a 7 metros de altura), caducifólias (folhas que caem), com grande quantidade de plantas espinhosas.

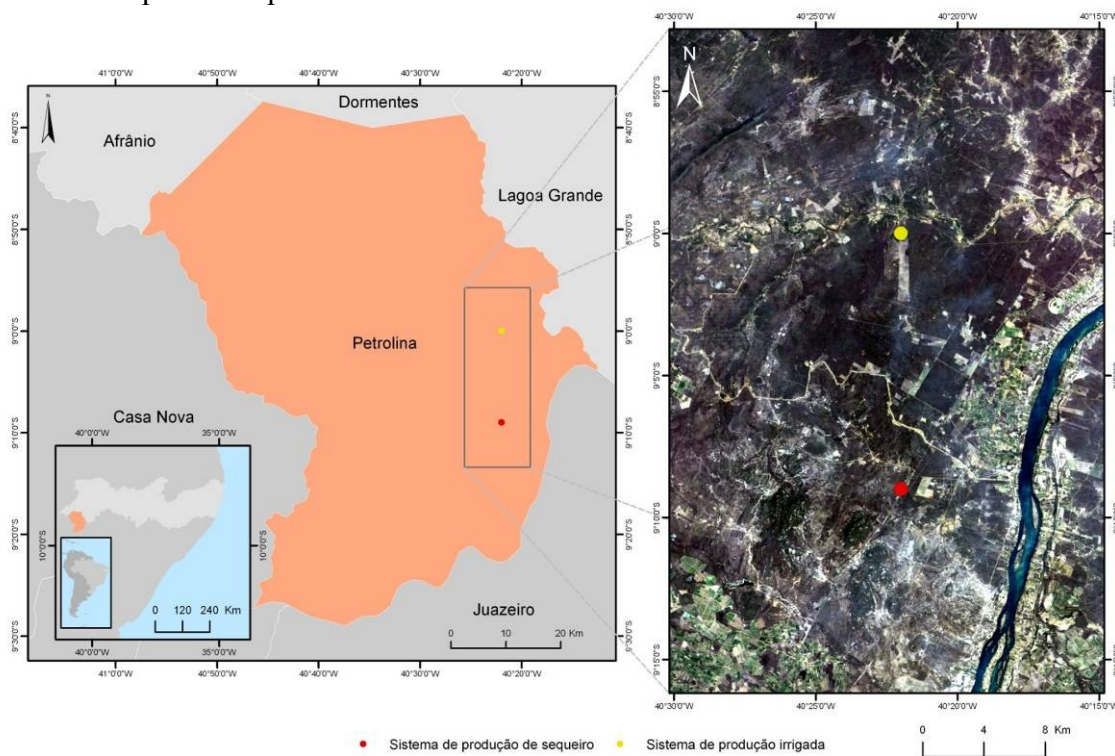


Figura 1: Localização dos campos experimentais da Embrapa Semi-Árido.

Como está exposto na tabela 1, as características climáticas da região, sobretudo da área de estudo, são marcadas por poucas chuvas e altas temperaturas e insolação, levando a uma elevada evapotranspiração, conseqüentemente influenciando na dinâmica fotossintética e, por conseguinte, nas peculiaridades fenológicas das plantas endêmicas.

Tabela 1: Condições meteorológicas do mês de novembro de 2009.

Data	Temp. (°C)	Umidade Relativa (%)	Insolação (h)	Radiação (Iy/dia)	Evapotransp. (mm)	Precipitação (mm)
27/11	26.6	49	10.9	446.5	10.08	0.0
Média mensal	27.4	55	9.7	390.9	9.0	0.0

Fonte: Embrapa Semi-Árido (2010)

A pouca quantidade de água nos tecidos, causado pela alta evapotranspiração ou pelo suprimento de água no solo limitado, afetam todos os aspectos do crescimento e desenvolvimento dos vegetais (Krieg, 1993). Sendo assim, esses indivíduos, de acordo com Nogueira et. al. (2005), apresentam um mecanismo de fechamento estomático nos horários mais quentes do dia, constituindo-se como uma estratégia utilizada por muitas espécies da região semi-árida, para evitar a perda excessiva de água através da transpiração.

## 2.1 Determinação do fluxo de CO<sub>2</sub>

Para o desenvolvimento das atividades foi realizado o levantamento de dados bibliográficos, informações da área de estudo, como condições ambientais, sobretudo da flora e da tipologia climática. Além disso, foram realizadas investigações em campo para coleta de informações, bem como para a validação dos resultados do processamento digital de imagens.

Utilizou-se como base espacial as imagens do satélite Landsat 5 sensor TM, de 27 de novembro de 2009, extraídas do banco de dados do INPE. Com subsídios do software *Envi* 4.7, foram realizadas as etapas de processamento digital das imagens. A cena de órbita/ponto 217/66, que compreende a área de estudo foi registrada e convertida de números digitais (ND) para valores de reflectância. Esse procedimento foi necessário para geração dos índices de vegetação.

Os índices utilizados foram o **NDVI** (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e o **sPRI** (Índice de Reflectância Fotossintético reescalado para valores positivos). De acordo com Rahman et al. (2000), esses índices propiciam a determinação do fluxo de CO<sub>2</sub>. Segundo Baptista (2003), essa integração, mensura a eficiência do processo de seqüestro de carbono. Para esse autor, estudos recentes mostram que o índice espectral PRI pode ser correlacionado com o uso eficiente da luz no processo fotossintético e o NDVI com o seqüestro de carbono.

O NDVI se caracteriza por ter um intervalo variando de -1 a +1, no qual, de acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007), os valores mais elevados estão relacionados às áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto que os mais escuros representam as áreas com menor vegetação. Os pontos de saturação manifestam-se nas faixas espectrais do vermelho (0,63 – 0,69µm) e do infra-vermelho próximo (0,63 – 0,69µm), correspondendo, respectivamente, as bandas 3 e 4 no Landsat.

O PRI, índice desenvolvido por Gamon et al. (1997), busca medir a eficiência fotoquímica da luz (Rahman et al, 2000). Esse índice utiliza as bandas 1 e 2 do Landsat, cujo comprimento de onda varia de 0,45 – 0,52µm, na faixa espectral 1 (azul), e 0,52 – 0,60µm, na faixa 2 (verde).

Os índices espectrais NDVI e PRI são expressos de acordo com as seguintes equações 1 e 2, respectivamente:

$$NDVI = (R_4 - R_3) / (R_4 + R_3) \quad (1)$$

$$PRI = (R_1 - R_2) / (R_1 + R_2) \quad (2)$$

Onde Ri é a banda espectral do sensor Thematic Mapper do Landsat 5.

Dessa forma, para obtenção do fluxo de CO<sub>2</sub> realizaram-se as seguintes etapas de processamento: (a) a geração do NDVI e do PRI; (b) reescalamento do PRI (para evitar dados negativos) gerando sPRI (Baptista, 2003); (c) determinação do índice de fluxo de carbono, realizado a partir da multiplicação do NDVI com o PRI reescalado.

## 3. Resultados e Discussão

A intensidade luminosa, a temperatura, a concentração de CO<sub>2</sub>, o teor de nitrogênio da folha e a umidade do solo são fatores que afetam a atividade fotossintética dos vegetais (Marenco, Lopes, 2005). O processo de abertura e fechamento dos estômatos está relacionado principalmente com a intensidade de luz e o estado de hidratação da folha. Dessa forma, o funcionamento dos estômatos e a área foliar influenciam a produtividade do vegetal.

Os índices de vegetação relacionam os parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar. Dessa forma, observa-se pela figura 2 o comportamento da flora na área estudada por meio dos índices de vegetação NDVI e PRI reescalonado.

A característica de cada faixa espectral permite inferir o comportamento do alvo estudado, neste caso vegetação. Segundo Jensen (2009) o limite superior do comprimento de onda 0,63 – 0,69 $\mu$ m de absorção da clorofila pela vegetação verde saudável. A faixa espectral 2 cobre a região entre as bandas de absorção da clorofila no azul e no vermelho, e responde à reflectância da vegetação sadia no verde. A banda 3 é a faixa vermelha de absorção da clorofila da vegetação verde sadia e é útil para discriminação da vegetação, enquanto que a banda do infra-vermelho próximo corresponde a um intervalo muito sensível à quantidade de biomassa da vegetação e/ou área foliar presente.

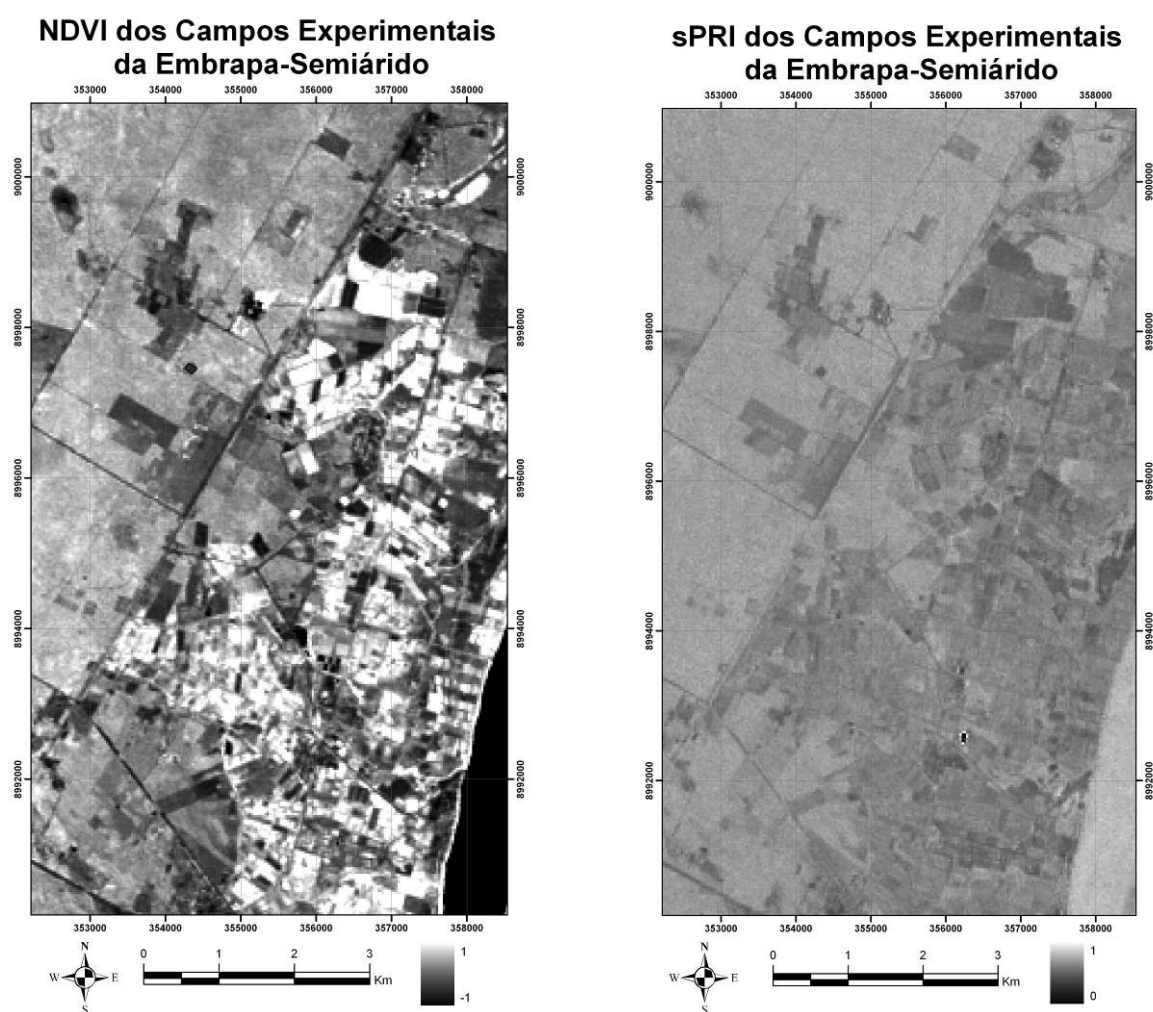


Figura 2: Cartas-imagem do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e do Índice de Reflectância Fotossintético (sPRI).

Associado aos dados do clima no mês de novembro, a análise da imagem do fluxo de carbono dos diferentes locais de experimentação – capim *Buffel*, caatinga preservada e antropizada, bem como da mangueira – caracterizam o comportamento do gás nos diferentes sistemas.

Através do produto entre o NDVI e sPRI gerou-se um mapa de fluxo de carbono, como pode ser observado na figura 3, que apontam a distribuição do carbono na vegetação das áreas de referência estudadas.

As áreas com maior atividade vegetativa, com manejo agrícola, sobretudo áreas irrigadas, mostraram os valores mais elevados, variando de 0,263 a 0,305, como estão expressos nas cores azuis, de eficiência de seqüestro de carbono.

Enquanto as áreas de capim *Buffel*, apontam com menor fluxo de CO<sub>2</sub>, destacado nos intervalos de -0,175 a 0,158, como mostra a carta-imagem expressa na Figura 2. Esse cultivo de sequeiro apresentou um elevado estresse hídrico, tornando limitadas as atividades fotossintéticas.

O rio São Francisco está localizado no setor leste da carta-imagem proporcionando uma maior facilidade de cultivo de culturas irrigadas, tais como, feijão, milho, uva, mangueira, dentre outros produtos que são utilizados para desenvolvimento de pesquisas ligadas ao desenvolvimento do Semirido.

Sendo assim, a flora apresenta uma estruturação mais sadia, uma vez que regularmente recebe no seu sistema água, propiciando o desenvolvimento das atividades fotossintéticas. As áreas com valores mais altos, relacionados às cores mais azuladas na carta-imagem, correspondem aos sistemas agropecuários irrigados, onde as plantas não estão submetidas a um estresse hídrico permitindo um melhor desempenho das atividades bioquímica do vegetal.

Nos setores compostos por caatinga preservada e antropizada, mostram um fluxo de carbono mais baixos que as áreas em que possuem água no sistema, ou seja, de manuseio irrigado.

Isso se deve ao fato de que o mês de novembro é caracterizado por possuir condições climáticas secas, como mostra a tabela 1, onde há uma queda na liberação de CO<sub>2</sub>, principalmente, por conta da pluviosidade baixa, levando as plantas a um nível de estresse alto, diminuindo a quantidade de folhas e, conseqüentemente, a atividade fotossintética. Essas áreas possuem valores que variam de 0,186 a 0,305 de eficiência de seqüestro de carbono.

Comparativamente, observa-se que as áreas de caatinga que sofreram uma ação antrópica apresentam valores menores de fluxo de carbono em relação à preservada, como era esperado. Este local apresenta a maior variabilidade nos valores de fluxos de carbono, desde áreas com pouca eficiência de seqüestro até valores mais altos.

Como grande parte das plantas da caatinga são caducifólias, ou seja, perdem suas folhas em estação seca, justifica-se assim, os valores mais baixos de fluxo de carbono. No sistema antropizado existem diversos locais de solo exposto além de possuir uma menor diversidade na flora, verificado a partir da imagem e corroborado pelas investigações em campo.



## Fluxo de CO<sub>2</sub> em Campos Experimentais da Embrapa-Semiárido

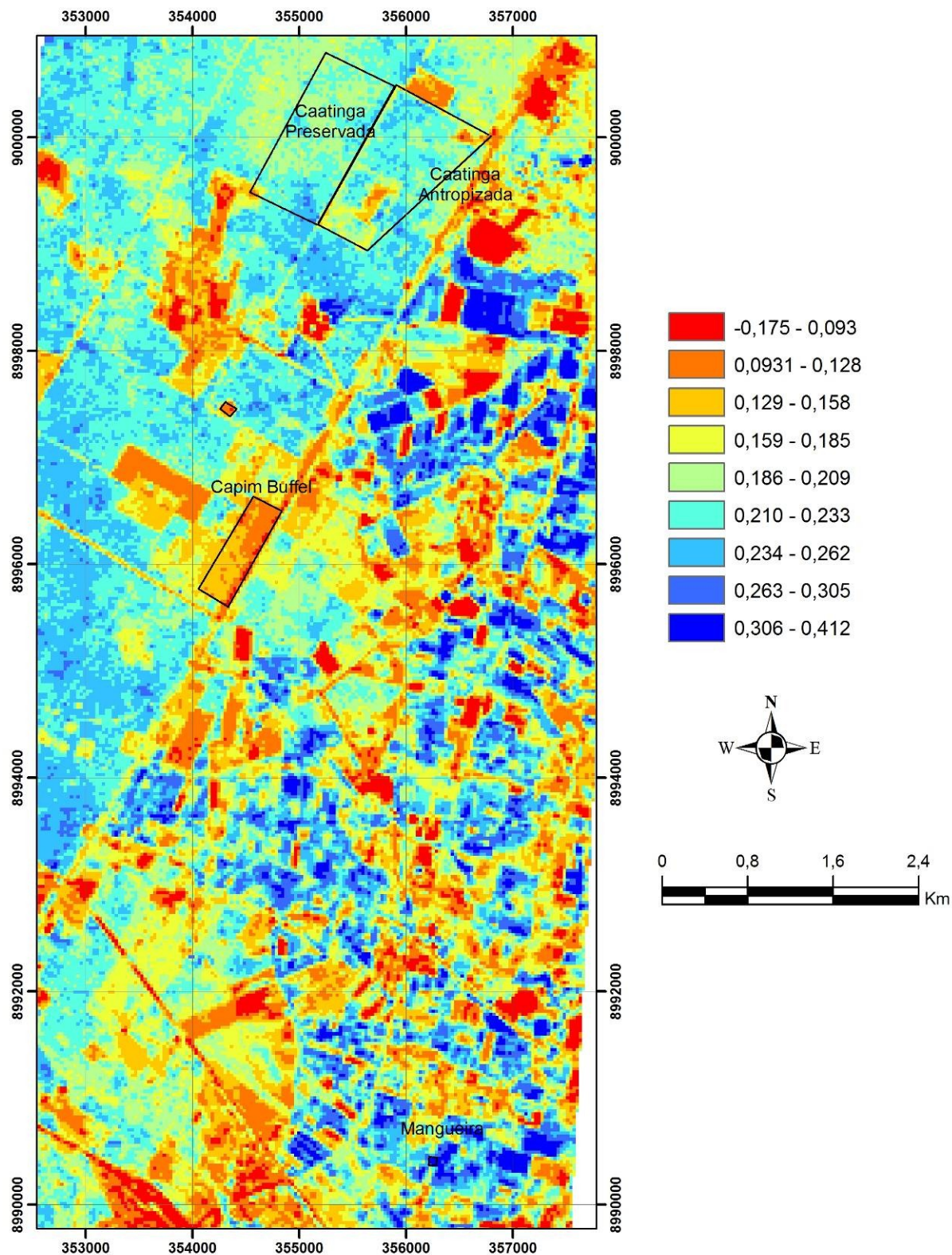


Figura 3: Carta-imagem do fluxo de CO<sub>2</sub> nas áreas de caatinga e em sistemas de produção.

#### 4. Conclusões

O presente estudo apresentou resultados que foram baseados em dados de sensoriamento remoto multiespectral, através da metodologia de Rahman et al (2000) e validada com dados em campo, realizadas em áreas referência da Embrapa Semi-Árido. Essa metodologia possibilitou verificar como é o comportamento do carbono nos diferentes sistemas.

Por meio dos índices calculados, NDVI e sPRI, foi possível inferir que em estação seca, na qual o estresse hídrico é acentuado, os locais que possuíam água no sistema apresentaram maior fluxo de CO<sub>2</sub>, diferente das áreas de produção de sequeiro, onde apontavam os menores índices de fluxo de carbono. Nas áreas de caatinga preservada e antropizada encontravam-se valores intermediários, devido à existência de poucas folhas da vegetação nativa.

Os resultados alcançados demonstram a necessidade de estudos sobre o comportamento espectral da fitofisionomias da caatinga, permitindo identificar feições associadas ao carbono, pois são incipientes estudos com essa temática no Semiárido brasileiro.

#### Agradecimentos

À Embrapa Semi-Árido, pela disponibilização dos dados e parceria na pesquisa.

À Fapesb e à Capes, que financiam, respectivamente, o projeto “Mapeamento do estoque de carbono em áreas referência do Semi-árido” e a bolsa de Mestrado do primeiro autor.

#### Referências Bibliográficas

Baptista, G. M. M. Validação da modelagem de seqüestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio dos dados AVIRIS e HYPERION. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte. **Anais em CD-ROM**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.

EMBRAPA SEMI-ÁRIDO. Dados meteorológicos. Disponível em <http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/index.php?op=dadosmet>. Acesso 22 de outubro de 2010.

Gamon, J. A.; Serrano, L.; Surfus, J. S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. **Oecologia**, vol. 112, p. 492-501, 1997.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Trad. José Carlos Epiphânio(coordenação)...[et al.]. São José dos Campos, SP:Parêntese, p. 537, 2009.

Krieg, D. R. Stress tolerance mechanisms in above ground organs. In: Proceedings of the Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stress. Nebraska:INTSORMIL, p. 65-79, 1993.

Marenco, R.A.; Lopes, N.F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Editora UFV. Viçosa, MG. 451p, 2005.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga**. Documento para discussão no Grupo de Trabalho de Estratégias para o Uso Sustentável, Drumond, M. A. (coord), Petrolina, 2000, 23p.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Brasília, 2010. Disponível em <http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo>. Acesso em 10 de novembro de 2010.

Nogueira, R. J. M. C.; Albuquerque, M. B.; Silva, E. C.. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas de caatinga. In: Rejane Jurema Custódio Nogueira, Elcida de Lima Araújo, Uided Maaze Tibúrcio Cavalcante. (Org.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. 1 ed. Recife: Imprensa Universitaria da UFRPE, 2005, v. 1, p. 22-31.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Ed. Parêntese, p. 135, 2007.

Rahman, A.F.; Gamon, J.A.; Fuentes, D.A.; Prentiss, D.; Qiu, H. Modeling CO<sub>2</sub> flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. **AVIRIS Workshop**, JPL/NASA, Pasadena, Califórnia, 2000.