

*Hội nghị Khoa học kỷ niệm 40 năm ngày thành lập Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam
Tiểu ban Công nghệ thông tin, Điện tử, Tự động hóa và Công nghệ vũ trụ
Hà Nội, 7/10/2015*

Khảo sát sự thay đổi năng suất cà phê sử dụng ảnh viễn thám MODIS và VNREDSAT-1

**Đinh Ngọc Đạt¹, Huỳnh Xuân Quang², Mai Thị Hồng Nguyên³, Trần Đức Việt⁴, Trần Tuấn Anh⁵,
Trần Quang Toàn⁶.**

^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Viện Công nghệ vũ trụ.

Phòng: Ứng dụng Công nghệ không gian trong nghiên cứu môi trường.

Email liên lạc: tuananh@sti.vast.vn.

Tóm tắt

Chỉ số NDVI chiết suất từ ảnh MODIS trong khoảng thời gian từ năm 2010 đến 2013 được sử dụng để nghiên cứu giám sát quá trình sinh trưởng của cây cà phê ở tỉnh Đắk Lắk, là nơi có sản lượng cà phê hàng đầu Việt Nam. Ảnh vệ tinh VNREDSAT-1 được sử dụng để tạo bản đồ chuyên đề thể hiện khu vực trồng cà phê nhằm xác định điểm ảnh MODIS độ phân giải 250 m phủ lên khu vực cà phê đồng nhất. Chỉ các điểm ảnh MODIS phủ trùm 100 % lên cà phê mới được đưa vào phân tích. Mối tương quan được quan sát giữa sự biến thiên năng suất lô cà phê và biến thiên chỉ số thực vật cho điểm ảnh phủ trùm cùng lô cà phê đó. Các số liệu chỉ số thực vật có sự tương quan tốt nhất đến năng suất là biên độ và các giá trị tối thiểu trong mùa sinh trưởng. Mặc dù mối tương quan này không đủ để ước lượng năng suất cà phê nhưng nó phản ánh đúng xu hướng của hiệu ứng thay đổi luân phiên đối với năng suất cây cà phê.

Từ khóa: cà phê; chỉ số thực vật; viễn thám; tương quan

1. Giới thiệu

Cà phê là mặt hàng được giao dịch nhiều thứ hai trên thế giới, chỉ đứng sau dầu chuyên sản xuất dầu. Hiện nay Việt Nam đã trở thành một trong các quốc gia hàng đầu trong lĩnh vực trồng, chế biến và xuất khẩu cà phê. Được xác định là một trong những cây công nghiệp xuất khẩu chủ lực, chỉ sau cây lúa, cây cà phê đã và đang đóng một vai trò quan trọng trong ngành nông nghiệp Việt Nam.

Mô hình phổ thực vật trên ảnh vệ tinh phụ thuộc vào các giai đoạn vật hậu học của cây trồng và sức sống của thực vật, mật độ cây trồng, hệ thống xen canh và thực tiễn quản lý. Những đặc điểm này gây khó khăn trong quá trình lập bản đồ và khảo sát cây cà phê từ dữ liệu vệ tinh. Tuy nhiên, thể hệ các sản phẩm viễn thám mới với những cải tiến đáng kể liên quan đến độ phân giải không gian, quang phổ, bức xạ và thời gian mang lại triển vọng mới cho sự phát triển của các nghiên cứu ứng dụng.

VNREDSAT-1 là vệ tinh quang học quan sát Trái Đất đầu tiên của Việt Nam. Sự kiện phóng thành công vệ tinh VNREDSAT-1, mở ra một trang mới cho ngành công nghệ vũ trụ còn non trẻ của nước ta. Bên cạnh đó nó cũng đưa đến cho công nghệ viễn thám một nguồn tư liệu có độ phân giải cao, hoàn toàn chủ động trong việc chụp ảnh, thu nhận và cung cấp dữ liệu. Để nâng cao hiệu quả sử dụng cũng như thử nghiệm khả năng đáp ứng yêu cầu người sử dụng của ảnh VNREDSAT-1. Ảnh vệ tinh VNREDSAT-1, do độ phân giải không gian và quang phổ của chúng, phù hợp hơn cho lĩnh vực lập bản đồ cà phê, tuy nhiên, chúng bị giới hạn bởi ảnh hưởng của mây gây trở ngại cho việc khảo sát trong quá trình phát triển mùa vụ.

Chỉ số thực vật đã được sử dụng thường xuyên để dự báo sản lượng cây trồng dựa trên các mô hình hồi quy thực nghiệm và mô hình năng suất. Dữ liệu MODIS, mặc dù không có độ phân giải không gian phù hợp để xác định chính xác các vườn cà phê, nó có một độ phân giải thời gian phù hợp cho việc khảo sát các lĩnh vực nông nghiệp. Chỉ số thực vật có nguồn gốc từ dữ liệu MODIS đã được định vị chính xác và hiệu chỉnh khí quyển cho phép khảo sát thực vật. Với vùng phủ sóng toàn cầu hầu như hàng ngày, hệ thống có khả năng tốt hơn để cung cấp sản phẩm không bị ảnh hưởng bởi mây tại các khoảng thời gian đều đặn. Brunsell và cộng sự đánh giá tính khả thi của việc sử dụng dữ liệu MODIS theo dõi năng suất cà phê trong một thành phố ở miền nam Minas Gerais, Brazil và có kết luận rằng độ phân giải không gian kém của dữ liệu MODIS được bù đắp bởi độ phân giải thời gian cao, đây là một đặc tính thuận lợi cho việc khảo sát cà phê sử dụng bộ cảm biến này.

Một trong những đặc điểm chính của cây cà phê là phải mất hai năm để hoàn thành toàn bộ chu kỳ đầu quả. Cảnh cây phát triển ở năm đầu tiên sẽ cho quả cà phê trong năm thứ 2. Trong năm có năng suất cao, cây cà phê chủ yếu tập trung dinh dưỡng để nuôi quả cà phê làm ảnh hưởng đến sự phát triển của cành mới. Trong năm sản lượng thấp, cây cà phê tập trung nhiều hơn cho phát triển cành mới, là yếu tố tạo ra hạt cà phê vào năm sau. Vì vậy, một vườn cà phê cho năng suất cao và thấp trong các năm xen kẽ nhau. Mặc dù sự thay đổi luân phiên năng suất tác động đến sản lượng cà phê và tầm quan trọng của nó trong mô hình sản lượng đã được nhiều người biết đến, đến nay chưa có công cụ hiệu quả để tiếp cận mô hình này và ước tính nó trong phạm vi không gian.

2. Phương pháp

Nghiên cứu này nhằm đánh giá tiềm năng của việc sử dụng chỉ số khác biệt thực vật (NDVI) tạo ra từ sản phẩm MODIS để phát hiện sự thay đổi luân phiên năng suất cà phê trong khoảng thời gian từ năm 2010 đến 2013 ở tỉnh Đắk Lắk. Tỉnh này nằm ở trung tâm vùng Tây Nguyên, đầu nguồn của hệ thống sông Sêrêpôk và một phần của sông Ba, nằm trong khoảng tọa độ địa lý từ $107^{\circ}28'57''$ đến $108^{\circ}59'37''$ độ kinh Đông và từ $12^{\circ}9'45''$ đến $13^{\circ}25'06''$ độ vĩ Bắc, có độ cao trung bình 400 – 800 mét so với mặt nước biển, nằm cách Hà Nội 1.410 km và cách Thành phố Hồ Chí Minh 350 km. Khu vực này đã được lựa chọn dựa trên tầm quan trọng của nó trong sản lượng cà phê quốc gia và cũng dựa trên sự đa dạng của môi trường và hệ thống cây trồng.

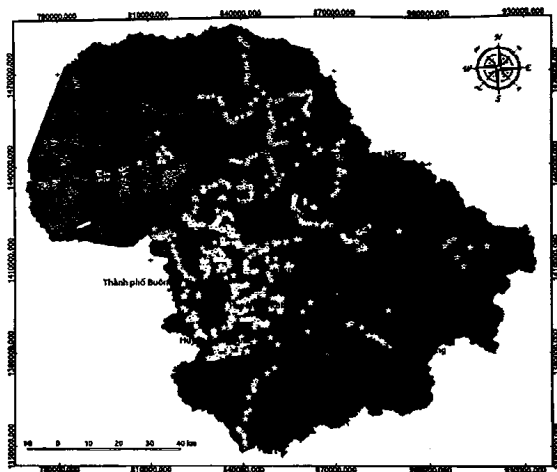
Chúng tôi sử dụng chuỗi thời gian NDVI, tổng cộng 6 cảnh mỗi năm, cả hai chỉ số rút ra từ cảm biến MODIS, sản phẩm MOD13. Nghiên cứu từ năm 2010 đến 2013 để xác minh khả năng phát hiện sự thay đổi luân phiên năng suất cà phê.

Ảnh MODIS ban đầu thu được ở định dạng HDF (Hierarchical Data Format) và có phép chiếu hình sin. Dữ liệu được chuyển phép chiếu ban đầu sang hệ tọa độ địa lý, hệ quy chiếu WGS84 và sau đó, chuyển đổi sang định dạng GeoTIFF. Một bản đồ cà phê thu được từ ảnh vệ tinh VNREDSAT-1 cũng đã được sử dụng trong nghiên cứu này.

2.1. Khảo sát đo đạc tọa độ điểm và thu thập dữ liệu năng suất cà phê.

Địa điểm khảo sát được lựa chọn dựa vào báo cáo thống kê về năng suất sản lượng cà phê của tỉnh Đắk Lắk cộng với các thông tin thu thập được từ dữ liệu ảnh vệ tinh và bản đồ.

Trong nghiên cứu này việc đo tọa độ địa lý sử dụng hệ thống định vị toàn cầu GPS nhằm đảm bảo tiến độ công việc và độ tin cậy của dữ liệu đo đạc được.

BẢN ĐỒ ẢNH CÁC ĐIỂM THỰC ĐỊA TỈNH ĐẮKLẮK

Hình 1: Các điểm thực địa tỉnh Đắk Lắk

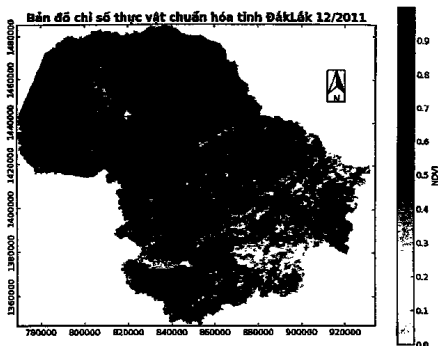
Dữ liệu sản lượng từ các lô cà phê, tương ứng với điểm ảnh được chọn từ 2010 đến 2013 đã được thu thập trong các cuộc phỏng vấn với người nông dân tại Đắk Lắk.

2.2. Chiết suất chỉ số IDVI từ ảnh MODIS

Ảnh MODIS được ứng dụng rất rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, tùy vào mục đích nghiên cứu có thể sử dụng các kênh phổ khác nhau của ảnh MODIS. Trong đó 2 kênh phổ quan trọng là kênh 1 (độ phân giải 250 m) và kênh 2 (cận hồng ngoại, độ phân giải 250 m) được sử dụng tính toán chỉ số thực vật (NDVI) trong nghiên cứu này.

Có nhiều chỉ số thực vật khác nhau, nhưng chỉ số NDVI được trung bình hoá trong một chuỗi số liệu theo thời gian là công cụ cơ bản để giám sát sự thay đổi trạng thái lớp phủ thực vật, trên cơ sở đó biết được tác động của môi trường đến sự phát triển của thực vật. Chỉ số thực vật NDVI trong nghiên cứu này được tính theo công thức sau:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$



Hình 2: Bản đồ chỉ số thực vật chuẩn hóa tỉnh Đắk Lắk 12/2011.

Giá trị NDVI được chiết xuất từ ảnh MODIS trên địa bàn tỉnh Đắk Lắk trong giai đoạn từ đầu năm 2010 đến cuối năm 2013 nhằm giám sát sự phát triển của cây cà phê.

2.3. Chọn điểm ảnh chứa hoàn toàn diện tích cà phê.

Vì có lô cà phê tại khu vực nghiên cứu nhỏ hơn diện tích tối thiểu của điểm ảnh MODIS (6,25 ha), sẽ có điểm ảnh với quang phổ trộn lẫn giữa đất trồng cà phê và các loại đất khác, cũng như, trộn lẫn với các lô cà phê khác. Vì vậy, chúng tôi chỉ chọn những pixels từ ảnh NDVI thể hiện lô cà phê đồng nhất. Quá trình này được tiến hành dựa trên bản đồ cà phê thu được từ VNREDSAT-1.

Chỉ có những điểm ảnh chứa hoàn toàn diện tích cà phê dựa trên bản đồ cà phê thành lập từ ảnh VNREDSAT-1 mới được chọn từ ảnh MODIS. Hơn nữa, bởi vì một số yếu tố như: tuổi của cây cà phê, mật độ cây trồng, loại chất nền ... nên hiệu ứng quang phổ khác nhau có thể thấy trên cùng một điểm ảnh.

Sau đó chúng tôi tính số liệu thống kê của điểm ảnh VNREDSAT-1 nằm trong điểm ảnh MODIS nhằm giảm thiểu tác động của sự hỗn tạp quang phổ.

Lúc đầu, chúng tôi tạo ra một lớp vector từ ảnh MODIS trong đó mỗi đối tượng tương ứng với một điểm ảnh. Lớp vector này đã được sử dụng để tính toán các số liệu thống kê của ảnh vệ tinh VNREDSAT-1. Lớp vector này đã được cập nhật với bản đồ cà phê được lập từ vệ tinh VNREDSAT-1 để có được tỷ lệ phần trăm của đất trồng cà phê trong từng đối tượng. Sau đó, các điểm ảnh được chọn chỉ liên quan đến lô cà phê đồng nhất lớn hơn 6,25 ha. Các điểm ảnh được sử dụng làm cơ sở cho việc lựa chọn các lô cà phê trong dữ liệu được thu thập.



Hình 3: Ảnh VNREDSAT-1 khu vực thị trấn Quảng Phú-Cư Mear-Đăk Lăk

2.4. Các chỉ số dẫn xuất từ chỉ số thực vật

Các chỉ số thực vật đã được chuyển đổi thành 4 số liệu (biên độ, tối đa, tối thiểu và trung bình) nhằm kết nối số đo sinh khối và giá trị năng suất. Funk và cộng sự đã báo cáo nghiên cứu cho thấy rằng giai đoạn từ giữa đến hết mùa vụ, giá trị NDVI đại diện cho năng suất tốt hơn so với những giá trị tích hợp theo mùa hoặc giá trị tối đa. Nghiên cứu sơ bộ cho thấy nhận định trên cũng đúng đối với cả phê Đăk Lăk.

Do đó nhóm nghiên cứu chỉ sử dụng dữ liệu trong giai đoạn từ tháng 9 đến tháng 2 năm sau để phân tích. Các giá trị tối đa, tối thiểu và trung bình của chỉ số thực vật được tính trong khoảng thời gian từ tháng 9 đến tháng 2 năm sau để xác định số liệu thể hiện mối tương quan tốt hơn với năng suất. Biên độ của chỉ số thực vật bằng hiệu của giá trị tối đa và tối thiểu của mỗi điểm ảnh được chọn trong khoảng thời gian từ tháng 9 đến tháng 2 năm sau đã được tính toán để xác định lượng lá tồn thất sau mỗi vụ thu hoạch cà phê.

2.5. Mối tương quan.

Mối tương quan (hệ số tương quan Pearson) giữa NDVI và năng suất được tính toán trong hai tình huống khác nhau: tương quan giữa sự thay đổi trong năng suất và biến đổi trong chỉ số thực vật trong cùng một năm giả định rằng sự gia tăng năng suất có thể dẫn đến giảm của chỉ số thực vật và tương quan giữa sự thay đổi trong chỉ số thực vật và sự thay đổi trong sản lượng năm tiếp theo giả định rằng sự gia tăng chỉ số thực vật có thể dẫn đến sự gia tăng của năng suất các năm sau. Cách tiếp cận này đã được chọn để làm nổi bật sự thay đổi luân phiên năng suất cà phê và cũng có thể thấy mô hình thay đổi xen kẽ của chỉ số thực vật trong sản lượng cho mỗi hai năm. Sự khác biệt về chỉ số thực

vật và năng suất giữa hai năm cho phép chúng ta đánh giá tác động của sự biến đổi luân phiên năng suất trong các năm xen kẽ.

$$r = \frac{Cov(x,y)}{\sqrt{Var(x) \cdot Var(y)}} = \frac{Cov(x,y)}{s_x \cdot s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

r : hệ số Pearson

$Cov(x,y)$: hiệp phương sai của 2 biến x,y

$Var(x)$: phương sai của biến x

$Var(y)$: phương sai của biến y

s_x : độ lệch chuẩn của biến x

s_y : độ lệch chuẩn của biến y

3. Kết quả

3.1. Mối tương quan giữa NDVI và năng suất cà phê trong cùng 1 niên vụ.

Dữ liệu NDVI cho các mẫu đất trồng cà phê phần lớn đã đạt giá trị tối đa trong tháng 10/11 và và tối thiểu trong tháng 2/3, tương ứng, là các tháng cuối mùa mưa và mùa khô tại khu vực nghiên cứu. Giá trị tối thiểu NDVI cũng đã trùng hợp với giai đoạn sau thu hoạch, khi cây trồng thường mất một phần sinh khối lá của nó do việc thu hoạch. Bên cạnh những tác động theo mùa của khí hậu đối với việc giảm sinh khối lá cà phê, các giá trị dữ liệu NDVI thấp cũng được gây ra bởi việc thu hoạch.

Giá trị NDVI tối đa và trung bình có độ tương quan với năng suất cà phê thấp (trị tuyệt đối của hệ số Pearson thấp). Điều này phù hợp với thực tế là các lô cà phê có cành lá quá nhiều đo không được làm cành, vật chồi sẽ có năng suất không cao.

Trong năm có sản lượng cao, biên độ chênh lệch giữa NDVI tối đa và NDVI tối thiểu cao, điều đó cho thấy tồn thất lượng lớn lá sau khi thu hoạch và cắt cành trong năm có năng suất cây trồng cao. Do đó biên độ NDVI và năng suất có hệ số tương quan khá lớn trong khoảng từ 0.62 đến 0.74 thể hiện mối tương quan đồng biến tương đối chặt chẽ giữa cặp giá trị này.

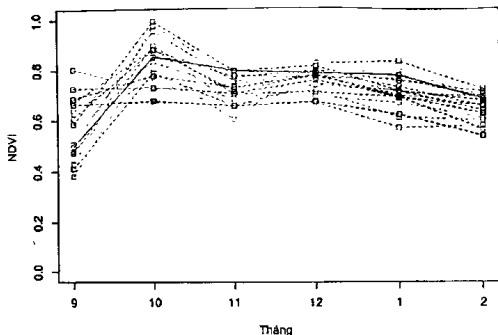
Các mối tương quan tỷ lệ nghịch giữa NDVI tối thiểu và năng suất cho thấy sự gia tăng về sản lượng dẫn đến sự sụt giảm trong giá trị tối thiểu của chỉ số thực vật, điều đó cho thấy tồn thất lượng lớn lá sau khi thu hoạch trong năm có năng suất cây trồng cao.

Các giá trị tối thiểu của chỉ số thực vật thường diễn ra vào tháng 1 và tháng 2, tức là giai đoạn tương ứng với lúc kết thúc thu hoạch và người dân đã tiến hành cắt cành cho cây cà phê. Mặc dù tháng 3 và tháng 4 là các tháng nóng khô nhất nhưng do cà phê nở hoa vào khoảng tháng 3 nên lúc này người dân thường tưới nước khiến cho giá trị NDVI được tăng lên.

3.2. Mối tương quan giữa NDVI và năng suất cà phê trong chu kỳ 2 niên vụ liên vụ.

Để thấy rõ hơn chiều hướng biến thiên NDVI giữa các năm, ta kết hợp đồ thị biến thiên NDVI của 20 điểm cà phê cho mỗi năm. So sánh đồ thị biến thiên của các năm liên tiếp ta có thể thấy biến thiên NDVI của các năm có chiều hướng tương tự nhau.

NDVI năm 2011_2012



Hình 4. Kết hợp đồ thị biến thiên của 20 điểm cà phê

Do cà phê nở hoa - kết trái tại cà phê đã phát triển từ năm trước đó nên theo logic, chỉ số thực vật năm trước cũng có mối tương quan đến năng suất năm sau. Các chỉ số dẫn suất từ chỉ số thực vật được tính mức độ tương quan với năng suất năm tiếp theo bằng hệ số Pearson. Cho dù nghiên cứu bước đầu mới khảo sát được năng suất trong 3 mùa vụ tuy nhiên số liệu đã cho thấy mối tương quan cao giữa chỉ số thực vật và năng suất năm tiếp theo.

Sự tương quan giữa mức độ thay đổi của chỉ số thực vật và sự thay đổi sản lượng trong năm sau thể hiện kết quả tốt cho các giá trị tối thiểu của NDVI với hệ số Pearson lần lượt là 0.61 và 0.63. Mối tương quan đồng biến này cho thấy nếu năm trước giá trị tối thiểu của NDVI càng cao tức là còn lại càng nhiều cành, lá để cho cây cà phê ra hoa, kết trái vào niên vụ tiếp theo và năng suất niên vụ đó sẽ cao. Các chỉ số thực vật còn lại là tối đa, biên độ và trung bình không thấy được mối tương quan rõ ràng với năng suất cà phê của niên vụ tiếp theo trong nghiên cứu này.

4. Thảo luận

Giá trị sản lượng cao là một kết quả của điều kiện sinh khối phù hợp. Tuy nhiên, chỉ có sinh khối phù hợp không đảm bảo năng suất cao, đặc biệt là trong những năm thiếu nước trong các giai đoạn phát triển quan trọng của cây ví dụ giai đoạn nở hoa. Các thủ tục cho việc lựa chọn các điểm ảnh đại diện trong vùng đất trồng cây cà phê đồng nhất đã được thực hiện một cách cẩn thận; Tuy nhiên, độ phân giải không gian thấp của MODIS gây khó khăn trong việc có được điểm ảnh không pha tạp quang phổ. Vì sự tương quan giữa chỉ số thực vật và sản lượng, mô hình xen kẽ trong năng suất cà phê cũng đúng đối với chỉ số thực vật. Như vậy, có thể suy ra các hiệu ứng thay đổi luân phiên năng suất thông qua chỉ số thực vật.

Năng suất cà phê càng cao, càng tăng mức độ rụng lá, do đó có mối tương quan đồng biến giữa phạm vi biến đổi chỉ số thực vật và năng suất cà phê trong cùng một năm. Sự rụng lá này có thể do cả

tác động cơ học gây ra bởi việc thu hoạch và tác động cao hơn của dịch bệnh trên cà phê. Các kết quả thu được tốt hơn với các giá trị tối thiểu có thể hướng về phía thời gian thích hợp nhất trong khu vực nghiên cứu để thu thập ảnh vệ tinh sử dụng trong các nghiên cứu sâu hơn. Khi không có mây trong thời gian này và nếu có ảnh với độ phân giải không gian tốt hơn, dự kiến sẽ có được kết quả tốt, bởi vì hạn chế chính của ảnh MODIS trong trường hợp này là độ phân giải không gian thấp.

Ngoài các biến khí tượng, đặc trưng phổ của cây cà phê có thể bị ảnh hưởng bởi giống cà phê, chế độ làm canh, mật độ trồng cây, hệ thống xen canh và các tập quán canh tác khác. Hơn nữa, ngay cả những kết quả tốt nhất của phân tích này cho thấy các chỉ số thực vật chỉ có thể giải thích xu hướng biến thiên sản lượng một cách định tính. Phân tích tương quan cho thấy, chỉ số thực vật không hoàn toàn giải thích khác biệt năng suất bởi vì có rất nhiều yếu tố tác động tới sản lượng cuối cùng, nhưng các chỉ số này có ích khi cho thấy sự thay đổi luân phiên sản lượng cà phê.

5. Kết luận

Trong các số liệu dẫn xuất từ chỉ số thực vật MODIS, các giá trị tối thiểu có tương quan tốt hơn với năng suất cà phê và là chỉ số cho thấy sự biến đổi luân phiên năng suất cà phê

Các giá trị tối thiểu thường thu được trong tháng 2, tháng 3, là khoảng thời gian ít bị ảnh hưởng bởi mây, do đó có thể thu được kết quả tốt hơn bằng cách sử dụng các loại ảnh quang học có độ phân giải cao hơn trong thời gian này.

NDVI có thể được chiết xuất từ những ảnh có độ phân giải không gian cao hơn để có được kết quả tốt hơn và có thể được sử dụng kết hợp với mô hình khí tượng nông nghiệp để ước lượng năng suất cà phê.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nagler, P.; Morino, K.; Murray, R.S.; Osterberg, J.; Glenn, E. (2009). An empirical algorithm for estimating agricultural and riparian evapotranspiration using MODIS enhanced vegetation index and ground measurements of ET. I. Description of method. *Remote Sens.* 1, 1273–1297
- [2] Hatfield, J.L.; Prueger, J.H. (2010). Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices. *Remote Sens.* 2, 562–578.
- [3] Funk, C.; Budde, M.E. (2009). Phenologically-tuned MODIS NDVI-based production anomaly estimates for Zimbabwe. *Remote Sens. Environ.* 113, 115–125.
- [4] Mkhabela, M.S.; Bullock, P.; Raj, S.; Wang, S.; Yang, Y. (2011). Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agr. For. Meteorol.* 151, 385–393.
- [5] Becker-Reshef, I.; Vermote, E.; Lindeman, M.; Justice, C. (2010). A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data. *Remote Sens. Environ.* 114, 1312–1323.
- [6] Costa, M.J.N.; Zambolim, L.; Rodrigues, F.A. (2006). Effect of levels of coffee berry removals on the incidence of rust and on the level of nutrients, carbohydrates and reductor sugar. *Pitopatol. Bras.* 31, 564–571.
- [7] Moreira, M.A.; Rudorff, B.F.T.; Barros, M.A.; Faria, V.G.C.; Adami, M. (2010). Geotechnologies to map coffee fields in the states of minas gerais and são paulo. *Agr. Eng.* 30, 1123–1135.
- [8] Marsden, C.; le Maire, G.; Stape, J.-L.; Seen, D.L.; Rouspard, O.; Cabral, O.; Epron, D.; Lima, A.M.N.; Nouvellon, Y. (2010). Relating MODIS vegetation index time-series with structure, light absorption and stem production of fast-growing eucalyptus plantations. *For. Ecol. Manag.* 259, 1741–175