

**ÁREAS QUEIMADAS EM INCÊNDIOS OCORRIDOS NAS PROXIMIDADES
DA LLACTA DE MACHUPICCHU NO PERU DETECTADAS EM
IMAGENS MULTITEMPORAIS DO SATÉLITE LANDSAT:
1988, 2013 E 2017**

Reinaldo Escada Chohfi

GeoDesign Internacional
Lorena – SP – 12607-040 – Brasil
E-mail: rec@geodesign.com.br
Tel.: +55-12-3153-5115

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	iv
RESUMO EXECUTIVO	v
EXECUTIVE SUMMARY	viii
INTRODUÇÃO	1
IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT	7
IMAGENS DO LANDSAT DA REGIÃO DE MACHUPICCHU	8
PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS DO LANDSAT 8 DA REGIÃO DE MACHUPICCHU	12
ÁREAS QUEIMADAS NOS INCÊNDIOS FLORESTAIS OCORRIDOS NAS PROXIMIDADES DA LLACTA DE MACHUPICCHU EM 2013 E 2017	16
SOBREPOSIÇÃO DO POLÍGONO DA ÁREA QUEIMADA EM 2017 E CAMADAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	22
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EM JULHO DE 2017	28
CONCLUSÃO	30
AGRADECIMENTOS	33
REFERÊNCIAS	34
FONTES DAS FOTOGRAFIAS	35

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1: Vista panorâmica da Llaqta de Machupicchu. 2
- Fig. 2: Localização da confluência dos rios Urubamba e Ahobamba. 3
- Fig. 3: Vista da fumaça gerada pelo incêndio florestal nas encostas do vale do Rio Ahobamba próximo a confluência com o Rio Urubamba. 4
- Fig. 4: Vista parcial da parte alta das encostas do vale do Rio Ahobamba mostrando área queimada pelo incêndio florestal. 4
- Fig. 5: Vista parcial do incêndio florestal. 5
- Fig. 6: Vista da área queimada na parte alta das encostas do vale do Rio Ahobamba. 5
- Fig. 7: Vista dos bombeiros florestais em ação no combate do incêndio florestal na parte alta das encostas do vale do Rio Ahobamba. 6
- Fig. 8: Áreas queimadas por incêndios florestais ocorridos no PANM em 1988. (a) Esquerda: Imagem Landsat 5 (RGB-B543) de 25/06/1988 com sobreposição dos limites do PANM (polígono laranja). (b) Direita: Mapeamento das áreas queimadas (baseado em Chohfi, 1989). 10
- Fig. 9: Cenas do Landsat 8 Órbita / Ponto 004 / 069: (a) Esquerda: Pré-incêndio florestal. Data: 08 de julho de 2017, ID da Cena: LC80040692017189LGN00. (b) Direita: Pós-incêndio florestal. Data: 24 de julho de 2017, ID da Cena: LC80040692017205LGN00. 11
- Fig. 10: Imagens Landsat 8, data: 30/08/2013, pós-incêndio, cobrindo a área de interesse de 100 Km² com resolução espacial de 15 metros: (a) Esquerda: Composição colorida cor natural (RGB: B432), (b) Direita: Composição colorida infravermelha (RGB: B654). 13
- Fig. 11: Composição cor natural do Landsat 8 (RGB: B432) cobrindo a área de interesse de 100 Km² com resolução espacial de 15 metros: (a) Esquerda: Pré-incêndio florestal. Data: 08 de julho de 2017, (b) Direita: Pós-incêndio florestal. Data: 24 de julho de 2017. 14
- Fig. 12: Composição colorida infravermelha do Landsat 8 (RGB: B654) cobrindo a área de interesse de 100 Km² com resolução espacial de 15 metros: (a) Esquerda: Pré-incêndio florestal. Data: 08 de julho de 2017, (b) Direita: Pós-incêndio florestal. Data: 24 de julho de 2017. 15

- Fig. 13: Imagem infravermelha (RGB: B654) adquirida pelo Landsat 8 em 30 de agosto de 2013, pós-incêndio florestal, cobrindo 100 Km² mostrando nitidamente a feição e extensão da área queimada. 17
- Fig. 14: Imagem infravermelha (RGB: B654) adquirida pelo Landsat 8 em 24 de julho de 2017, pós-incêndio florestal, cobrindo 100 Km² mostrando nitidamente a feição e extensão da área queimada. 18
- Fig. 15: Polígono em amarelo mostra a área queimada pelo incêndio florestal de 2013 cobrindo uma área de 21,85 Ha e perímetro de 3,43 Km. 19
- Fig. 16: Polígono em amarelo mostra a área queimada pelo incêndio florestal de 21 a 24 de julho de 2017 cobrindo uma área de 347,31 Ha e perímetro de 22,26 Km. 20
- Fig. 17: Área queimada pelo incêndio florestal que ocorreu entre 20 a 24 de julho de 2017 no Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu (PANM). 21
- Fig. 18: Sobreposição de curvas de nível, polígono da área queimada em 2017 e imagem Landsat 8. 23
- Fig. 19: Sobreposição de declividade, polígono da área queimada em 2017 e imagem Landsat 8. 24
- Fig. 20: Sobreposição da área queimada em 2017, principais sítios arqueológicos e caminhos Inka em imagem Landsat 8. 25
- Fig. 21: Fig. 21: Sobreposição do polígono da área queimada em 2017 (em amarelo) e imagem do satélite Landsat 8 em modelo digital de terreno. 26
- Fig. 22: Sobreposição dos polígonos das áreas queimadas por incêndios florestais ocorridos nas proximidades da Llacta de Machupicchu em 1988, 2013 e 2017. 27
- Fig. 23: Precipitação mensal média 2006-2012 para estação meteorológica de Machupicchu. 28
- Fig. 24: Precipitação em julho de 2017 em Machupicchu. 28
- Fig. 25: Polígonos das áreas queimadas por incêndios florestais nas proximidades da Llacta de Machupicchu em 1988, 2013 e 2017 sobrepostos em imagens do satélite Landsat 5 e 8. 31
- Fig. 26: Grupo de bombeiros florestais que participaram das ações de combate ao incêndio florestal nas proximidades da Llacta de Machupicchu. Ao centro, Sr. David Gayoso García, Prefeito da Municipalidade Distrital de Machupicchu, e sua esposa. 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados da estação meteorológica Machupicchu – Julho 2017. 29

RESUMO EXECUTIVO

O Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu – Santuário Histórico de Machupicchu (SHM-PANM) está localizado no distrito de Machupicchu, província de Urubamba, e Região Cusco nos Andes do Sul do Peru. O SHM-PANM abrange uma área de 37.302 hectares sendo uma das áreas com maior biodiversidade do Peru contando com diversos ecossistemas e até 13 zonas de vida (DDCC 2018).

O monumento mais representativo e importante do SHM-PANM é a Llaqta de Machupicchu, localizada a uma altitude de 2.445 metros e abrangendo uma área aproximada de 12 hectares. Anualmente, a Llaqta de Machupicchu recebe em torno de 1 milhão de visitantes (DDCC 2018).

A Direção Descentralizada de Cultura de Cusco do Ministério de Cultura do Peru, através da sua Área Funcional do Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu, se encarrega da gestão e conservação do patrimônio cultural do SHM-PANM (DDCC 2018).

As 14:05 do dia 20 de julho de 2017, o Centro de Operações de Emergências Local (COEL) da Municipalidade Distrital de Machupicchu, Peru, recebeu informação da ocorrência de um incêndio florestal no setor de Ahobamba próximo ao limite das Municipalidades Distritais de Machupicchu e Santa Teresa no Peru. Houve a mobilização de quase 60 bombeiros florestais, em direção as encostas do vale do Rio Ahobamba, na altura do quilômetro 122 da estrada de ferro, com a finalidade de combater o incêndio florestal iniciado na margem esquerda do Rio Urubamba na sua confluência com o Rio Ahobamba.

Segundo relatou o Chefe do Parque Arqueológico de Machupicchu, antropólogo Fernando Astete Victoria, o incêndio foi detectado aproximadamente as 14:00 do dia 20 de julho de 2017 na parte baixa do vale do Rio Ahobamba onde existem terremos de cultivo, e não se conhece o responsável ou causa deste incêndio (DDC 2017).

O objetivo inicial do presente trabalho foi de utilizar imagem do satélite Landsat 8 cobrindo a região onde está localizada a Llaqta de Machupicchu no Peru para uma avaliação da área queimada pelo incêndio florestal ocorrido entre 20 a 24 de julho de 2017, incluindo visualização e cálculo da extensão da área queimada pelo incêndio florestal, assim como sobreposição de camadas de informação geográfica do recurso cultural (sítios arqueológicos e caminho Inka) do Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu (PANM).

Entretanto, ao comparar as imagens do Landsat de 2017 com os resultados do trabalho de pesquisa desenvolvido pelo autor no passado (Chohfi 1989), ficou constado que a mesma área onde ocorreu o incêndio florestal de 2017 também sofreu um incêndio em 1988. Assim, foi realizada uma pesquisa mais abrangente cobrindo todo o banco de dados do Landsat desde 1972 com a finalidade de verificar se houve incêndio florestal nesta mesma área em outros anos além de 1988 e 2017. Esta pesquisa determinou a ocorrência de pelo menos mais um incêndio florestal nesta mesma área em 2013.

As imagens do Landsat que abrangem a região da Llaqta de Machupicchu tem centro nominal Órbita / Ponto: 004 / 069 no WRS.

As composições coloridas (RGB: Bandas 432 e 654) do Landsat 5 usadas nesta pesquisa foram obtidas em 22/06/1988 e 25/06/1988. As do Landsat 8 foram obtidas em 30/08/2013, 08/07/2017 e 24/07/2017. Mais especificamente, foram extraídos recortes de 100 Km² com resolução espacial de 15 metros cobrindo a área de interesse abrangendo as proximidades da Lacta de Machupicchu.

Os recortes de 100 Km² das imagens do Landsat estão ortoretificadas e georreferenciadas no sistema de referência espacial WGS 84 / UTM Fuso 18S (EPSG: 32718), no formato GeoTiff e nível de processamento L1TP (*Level-1 TP*), que consiste de correção topográfica de precisão provendo acurácia sistemática, radiométrica e geométrica ao incorporar pontos de controle e empregar um Modelo de Elevação Digital (*DEM: Digital Elevation Model*) para acurácia topográfica.

A determinação e cálculo das áreas queimadas foram realizados através da digitalização interativa do polígono das feições das áreas queimadas presentes nas imagens infravermelhas (RGB: B654) ortoretificadas do Landsat 8 de 2013 e 2017.

A área queimada pelo incêndio florestal que ocorreu de em 2013 é de 21,85 Hectares. Por sua vez, a área queimada pelo incêndio florestal que ocorreu de 20 a 24 de julho de 2017 é de 347,31 Hectares. A área queimada pelo incêndio florestal de 20 a 24 de julho de 2017 corresponde a 0,9% do Parque Arqueológico de Machupicchu (PANM).

O polígono da área queimada pelo incêndio florestal que ocorreu nas proximidades da Lacta de Machupicchu em 20-24 de julho de 2017 foi sobreposto, em um ambiente de sistema de informação geográfica (SIG), nas seguintes camadas de informação geográfica: modelo digital de terreno (MDT), curvas de nível, declividade, hidrografia, sítios arqueológicos, caminhos Inka, polígonos das áreas queimadas em 1988 e 2013, e imagem do Landsat 8.

A análise da sobreposição dessas camadas de informação geográfica determinou o seguinte sobre o incêndio florestal de 2017:

1. O incêndio ocorreu nas encostas próximo à confluência dos rios Urubamba e Ahobamba.
2. A altitude da área queimada varia de aproximadamente 1.800 a 3.500 metros.
3. A declividade das encostas varia com a seguinte distribuição:
 - a. De 0 a 30 graus em 15,3% da área.
 - b. De 30 a 50 graus na maior parte da área (76%).
 - c. De 50 a 70 graus em apenas 9% da área.
 - d. De 70 a 80 graus em uma pequena parte da área (0,1%).
4. O incêndio florestal não alcançou nenhum dos principais sítios arqueológicos. Na parte baixa, a mancha do incêndio florestal está a uma distância de 130 metros do sítio arqueológico Intiwatana, localizado entre aproximadamente 1.850 e 1.900 metros de altitude. Na parte alta, a mancha do incêndio florestal está a uma distância de 330 metros do sítio arqueológico Quantupata, localizado a quase 3.350 metros de altitude, e a 370 metros do sítio arqueológico Intipata, situado a 2.850 metros de altitude.

5. O incêndio florestal não alcançou nenhum dos principais caminhos Inka. Na parte alta (3.400 a 3.300 metros), a mancha do incêndio florestal está a 420 metros do caminho Inka. A uma altitude 2.830 metros, a mancha do incêndio florestal está a 230 metros do caminho Inka.
6. A sobreposição dos polígonos das áreas queimadas pelos incêndios florestais de 1988, 2013 e 2017 constata que esses incêndios ocorreram no mesmo local.

Os dados multitemporais do satélite Landsat demonstraram mais uma vez a sua capacidade e eficácia na detecção e avaliação de áreas queimadas por incêndios florestais.

Em ordem de magnitude, o maior incêndio foi o de 2017 com uma área queimada de quase 347,3 Ha, seguido pelo de 1988 com 215,9 Há de área queimada e o menor de 2013 tendo apenas 21,85 Ha de área queimada.

As imagens do Landsat utilizadas na detecção das áreas queimadas pelos incêndios florestais de 1988, 2013 e 2017 foram obtidas pelo satélite nos meses de junho, julho e agosto, indicando que os incêndios florestais ocorreram nos meses mais secos do ano na região da Llacta de Machupicchu. Os fortes ventos colaboraram para a dispersão do incêndio desde a parte baixa até a parte alta das encostas localizadas na confluência dos rios Urubamba e Ahobamba.

A visualização tridimensional da sobreposição do polígono da área queimada do incêndio florestal de 2017 em imagem do Landsat 8 e modelo digital de terreno (MDT) permite uma clara visão da extensão do incêndio no terreno e a sua proximidade a Llacta de Machu Picchu, assim como o grau de dificuldade encontrado pela brigada de incêndio no combate deste incêndio florestal.

A sobreposição dos polígonos das áreas queimadas pelos incêndios florestais de 1988, 2013 e 2017 constata que esses incêndios ocorreram no mesmo local. É de grande importância que seja determinada a fonte que tem causado esses incêndios florestais no mesmo local para evitar a sua recorrência no futuro.

A região tem vasto recurso cultural compreendido por vários importantes sítios arqueológicos e a rede de caminhos Inka. Um incêndio florestal de maiores proporções colocará em risco este recurso cultural.

Um estudo do impacto do incêndio florestal de 2017 na flora e fauna da região também é importante que seja realizado.

Graças à rápida ação e ao grande esforço dos bombeiros florestais, que tiveram de combater um incêndio em encostas íngremes e a altas altitudes, o incêndio florestal foi contido em 24 de julho de 2017. Foram cinco dias de trabalho árduo coordenado e articulado pelos bombeiros florestais do Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu (PANM).

Os resultados deste trabalho de pesquisa são apresentados em vários mapas e imagens de satélite.

EXECUTIVE SUMMARY

The National Archaeological Park of Machupicchu – Historic Sanctuary of Machupicchu (SHM-PANM) is located in the district of Machupicchu, province of Urubamba, and Cusco Region in the Andes of Southern Peru. The SHM-PANM encompasses an area of 37,302 hectares. It is an area with most biodiversity within Peru, counting with many ecosystems and up to 13 life zones (DDCC 2018).

The most representative and important monument of the SHM-PANM is the Llacta of Machupicchu. It is located at an altitude of 2,445 meters encompassing an area of approximately 12 hectares. Annually, the Llacta of Machupicchu receives around 1 million visitors (DDCC 2018).

The Decentralized Board of Culture of Cusco of the Ministry of Culture of Peru through its Functional Area of the National Archaeological Park of Machupicchu is in charge of the management and conservation of the cultural patrimony of the SHM-PANM (DDCC 2018).

At 2:05 p.m. on July 20, 2017, the Center of Operations of Local Emergencies (COEL) of the Municipality of Machupicchu, Peru, received information of the occurrence of a forest fire in the Ahobamba sector near the border of the municipalities of Machupicchu and Santa Teresa. There was the mobilization of about 60 forest fire fighters towards the slopes of the Ahobamba river valley at the kilometer 122 of the railroad with the purpose to fight the forest fire that had started on the left bank of the Urubamba River at its confluence with the Ahobamba River.

According to a report by the Director of the Archaeological Park of Machupicchu, anthropologist Fernando Astete Victoria, the fire was detected at around 2 p.m. on July 20, 2017 in the lower part of the Ahobamba River, where there are plots of cultivated land. It is not known if there is someone responsible or the cause of this fire (DDC 2017).

The initial objective of this report was to utilize images acquired by the Landsat 8 satellite covering the region where the Llacta of Machupicchu is located in Peru to conduct an evaluation of the area burnt by the forest fire that took place between July 20 and 24, 2017.

This evaluation would include visualization and calculation of the extent of the area burnt by the forest fire, as well as overlay of layers of geographic information of the cultural resource (archaeological sites and Inka trails) of the National Archaeological Park of Machupicchu (PANM).

However, by comparing the images of the Landsat of 2017 with results of a previous research conducted by the author (Chohfi 1989), it was verified that the same area where the forest fire of 2017 occurred had also undergone a forest fire in 1988. Therefore, a more comprehensive research was conducted covering the entire Landsat database since 1972. This was done to verify if a forest fire had occurred in the same area in other years besides 1988 and 2017. This research determined the occurrence of at least one more forest fire in the same area in 2013.

The Landsat images that cover the region of the Llacta of Machupicchu have the nominal center Path / Row: 004 / 069 in the Landsat Worldwide Reference System (WRS).

The color composite images (RGB: Bands 432 and 654) of the Landsat 5 used in this research were acquired in 06/22/1988 and 06/25/1988. The Landsat 8 ones were obtained in 08/20/2013, 07/08/2017 and 07/24/2017. More specifically, there were extracted subset images having an area of 100 Km² with a spatial resolution of 15 meters covering the area of interest that encompasses the Llacta of Machupicchu.

The 100 Km² Landsat subset images are orthorectified and georeferenced to the spatial reference system WGS 84 / UTM Zone 18S (EPSG: 32718) in the GeoTiff format and processing Level-1 TP, that consists of a precision topographic correction providing systematic, radiometric and geometric accuracy by incorporating control points and employing a Digital Elevation Model (DEM) for topographic accuracy.

The determination and calculation of the areas burnt were done through interactive digitizing of the polygons of the features of the burnt areas found in the Landsat 8 orthorectified infrared image composites (RGB: B654) of 2013 and 2017.

The area burnt by the forest fires of 2013 has 21.85 Hectares. In turn, the area burnt by the forest fires of July, 20-24, 2017 has 347.31 Hectares. The area burnt by the forest fires of July, 20 to 24, 2017 represents 0.9% of the National Archaeological Park of Machupicchu (PANM).

The polygon of the area burnt by the forest fire that occurred nearby the Llacta of Machupicchu in July, 20-24, 2017 were overlaid, in a geographic information systems (GIS) environment, on the following layers of geographic information: digital terrain model (DTM), topographic lines, slope, hydrography, archaeological sites, Inka trails, polygons of the areas burnt in 1988 and 2013 and Landsat 8 images.

The overlay analysis of these geographic information layers determined the following about the forest fire of 2017:

1. The fire occurred on the slopes near the confluence of the Urubamba and Ahobamba rivers.
2. The altitude of the burnt area ranged from approximately 1.800 to 3.500 meters.
3. The slope angle within the burnt area varies according to the following distribution:
 - a. From 0 to 30 degrees in 15.3% of the area.
 - b. From 30 to 50 degrees in most of the area (76%).
 - c. From 50 to 70 degrees in only 9% of the area.
 - d. From 70 to 80 degrees in a small portion of the area (0.1%).
4. The forest fire did not reach any of the major archaeological sites. At the lower altitudinal level, the burnt area is within a distance of 130 meters of the Intihuatana archaeological site located at an altitude of about 1,850 and 1,900 meters. At the higher altitudes, the burnt area is within a distance of 330 meters of the archaeological site Quantupata, located at an altitude of almost

- 3,350 meters, and within 370 meters from the archaeological site Intipata, situated at an altitude of 2,850 meters.
5. The fire did not reach any of the major Inka trails. At the higher altitudes, (3,400 to 3,300 meters), the burnt area is within 420 meters of the Inka trail. At the altitude of 2,830 meters, it is at 230 meters from the Inka trail.
 6. The overlay of the polygons of the burnt areas by the forest fires of 1988, 2013 and 2017 verifies that these fires occurred at the same place.

The Landsat satellite multitemporal data demonstrated once again the capacity and efficiency of the use of Landsat imagery in the detection and evaluation of areas burnt by forest fires.

In order of magnitude, the largest fire was in 2017 with a burnt area of 347.3 Ha, followed by the 1988 fire with 215.9 Ha and the smallest one in 2013 having burnt only 21.85 Ha.

The Landsat images utilized in the detection of the areas burnt by the forest fires of 1988, 2013 and 2017 were obtained by the satellite in the months of June, July and August, indicating that these forest fires occurred during the driest months of the year in the region of the Llacta of Machupicchu. The strong winds contributed to the dispersion of the fire from the lower to the higher altitudes of the slopes located by the confluence of the Urubamba and Ahobamba rivers.

The visualization of the overlay of the polygon of the area burnt by the forest fire of 2017 on the Landsat 8 image and the digital terrain model (DTM) allows for a clear view of the extent of the fire on the terrain and its proximity to the Llacta of Machupicchu, as well as the degree of difficulty encountered by the fire fighters in extinguishing this forest fire.

The overlay of the polygons of the areas burnt by the forest fires of 1988, 2013 and 2017 verifies that these fires occurred at the same place. It is very important to determine what causes these fires in order to prevent other forest fires from occurring again at the same place in the future.

The region has a vast cultural resource comprised of several important archaeological sites and a network of Inka trails. A forest fire of greater proportions would place at risk this cultural resource.

A study of the impact of the forest fire of 2017 on the flora and fauna of the region is also important to be carried out.

Thanks to the quick action and great effort by the forest fire fighters that had to fight a fire on steep slopes and at high altitudes, the forest fire was extinguished on July 24, 2017. There were five days of hard work coordinated and articulated by the forest fire brigade of the National Archeological Park of Machupicchu (PANM).

The results of this research are presented as several maps and satellite images.

**ÁREAS QUEIMADAS EM INCÊNDIOS OCORRIDOS NAS PROXIMIDADES
DA LLACTA DE MACHUPICCHU NO PERU DETECTADAS EM
IMAGENS MULTITEMPORAIS DO SATÉLITE LANDSAT:**

1988, 2013 E 2017

Reinaldo Escada Chohfi

GeoDesign Internacional
Lorena – SP – 12607-040 – Brasil
E-mail: rec@geodesign.com.br
Tel.: +55-12-3153-5115

INTRODUÇÃO

O Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu – Santuário Histórico de Machupicchu (SHM-PANM) está localizado no distrito de Machupicchu, província de Urubamba, e Região Cusco no Andes Central do Sul do Peru. O SHM-PANM abrange uma área de 37.302 hectares sendo uma das áreas com maior biodiversidade do Peru contando com diversos ecossistemas e até 13 zonas de vida (DDCC 2018).

O SHM-PANM é um bem integrante do Patrimônio Cultural da Nação do Peru e a partir de 09 de dezembro de 1983 se encontra inscrito na lista de Sítios do Patrimônio Mundial da UNESCO, ostentando a condição de Patrimônio Misto, o qual comparte com somente outros 3 sítios a nível continental (DDCC 2018, UNESCO 2017).

O monumento mais representativo e importante do SHM-PANM é a Llaqta de Machupicchu (Figura 1), localizada a uma altitude de 2.445 metros e abrangendo uma área aproximada de 12 hectares. Anualmente, a Llaqta de Machupicchu recebe em torno de 1 milhão de visitantes (DDCC 2018).

Dentro do SHM-PANM se estende uma rede viária de mais de 300 Km., conhecida como Caminho Inka, que articula mais de 60 monumentos arqueológicos. A cada ano, de acordo com o Plano Diretor do SHM-PANM, se realiza a conservação de 20 dos monumentos e de 76 Km. de caminho Inka distribuído em 5 rotas principais.

A Direção Descentralizada de Cultura de Cusco do Ministério de Cultura do Peru, através da sua Área Funcional do Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu, se encarrega da gestão e conservação do patrimônio cultural do SHM-PANM (DDCC 2018).



Fig. 1: Vista panorâmica da Llaqta de Machupicchu.

As 14:05 do dia 20 de julho de 2017, o Centro de Operações de Emergências Local (COEL) da Municipalidade Distrital de Machupicchu, Peru, recebeu informação da ocorrência de um incêndio florestal no setor de Ahobamba próximo ao limite das Municipalidades Distritais de Machupicchu e Santa Teresa no Peru.

Imediatamente, o Comitê Técnico de Incêndios Florestais, formado pela Municipalidade de Machupicchu, a Direção Descentralizada de Cultura de Cusco, Ministério de Cultura do Peru e o Ministério do Meio Ambiente do Peru, começou a coordenar ações para combater o incêndio florestal.

A Direção Descentralizada de Cultura de Cusco, Ministério de Cultura do Peru, informou que houve a mobilização da brigada de incêndio florestal de Machupicchu e da Rede de Caminhos Inka, composta de quase 60 bombeiros florestais, em direção as encostas do vale do Rio Ahobamba, na altura do quilômetro 122 da estrada de ferro, com a finalidade de combater o incêndio florestal iniciado na margem esquerda do Rio Urubamba na sua confluência com o Rio Ahobamba (Figura 2).

Segundo relatou o Chefe do Parque Arqueológico de Machupicchu, antropólogo Fernando Astete Victoria, o incêndio foi detectado aproximadamente as 14:00 do dia 20 de julho de 2017 na parte baixa do vale do Rio Ahobamba onde existem terrenos de cultivo, e não se conhece o responsável ou causa deste incêndio (DDC 2017).

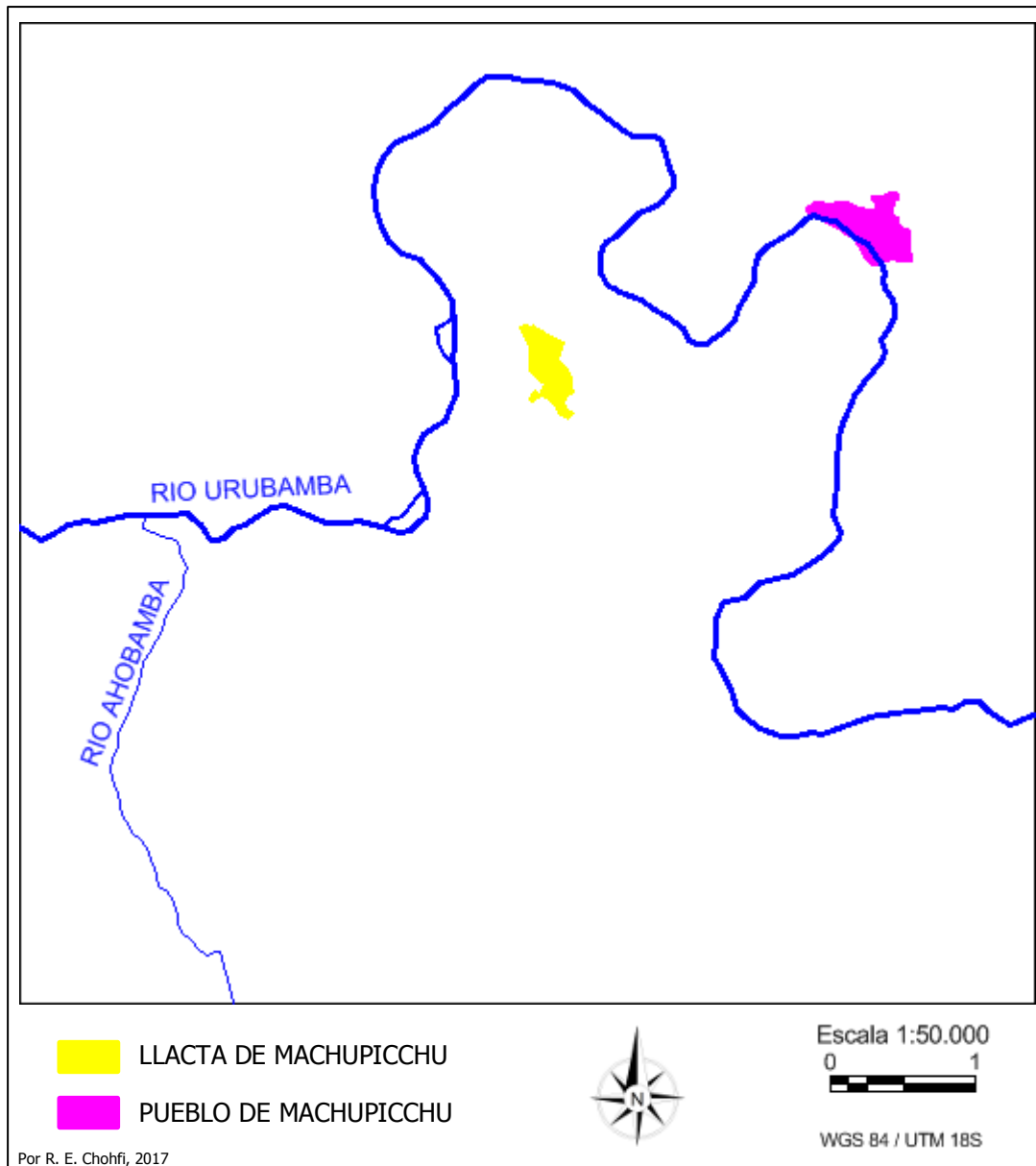


Fig. 2: Localização da confluência dos rios Urubamba e Ahobamba.

O incêndio começou a se propagar de forma rápida em direção ao Cerro el Calvário, no setor Intihuatana, devido aos fortes ventos, a baixa umidade relativa do ar e a presença de vegetação natural com cobertura resinosa que favorece a combustão rápida.

A Direção Descentralizada de Cultura de Cusco indicou que não existia nenhum monumento arqueológico na parte alta do incêndio que poderia ser afetado pelo incêndio florestal. Porém, foi necessário controlar e extinguir as chamas para evitar a sua eventual propagação em direção a zonas críticas (DDCC 2017).

As Figuras 3-7 ilustram a proporção deste incêndio florestal e ação de combate dos bombeiros florestais.



Fig. 3: Vista da fumaça gerada pelo incêndio florestal nas encostas do vale do Rio Ahobamba próximo a confluência com o Rio Urubamba. Fotografia tomada em 21/07/2017.



Fig. 4: Vista parcial da parte alta das encostas do vale do Rio Ahobamba mostrando área queimada pelo incêndio florestal. Fotografia tomada em 21/07/2017.



Fig. 5: Vista parcial do incêndio florestal. Foto de 22/07/2017.

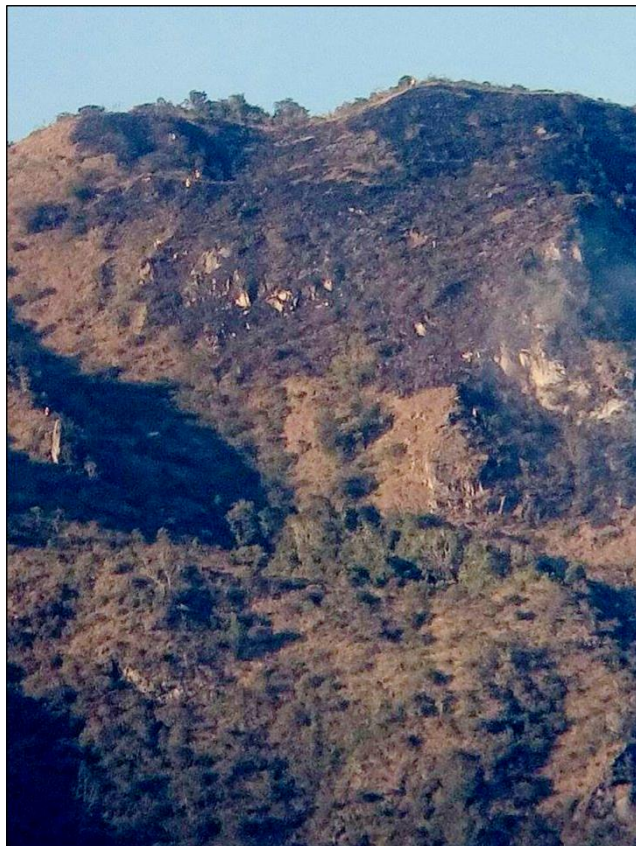


Fig. 6: Vista da área queimada na parte alta das encostas do vale do Rio Ahobamba. Foto de 24/07/2017.

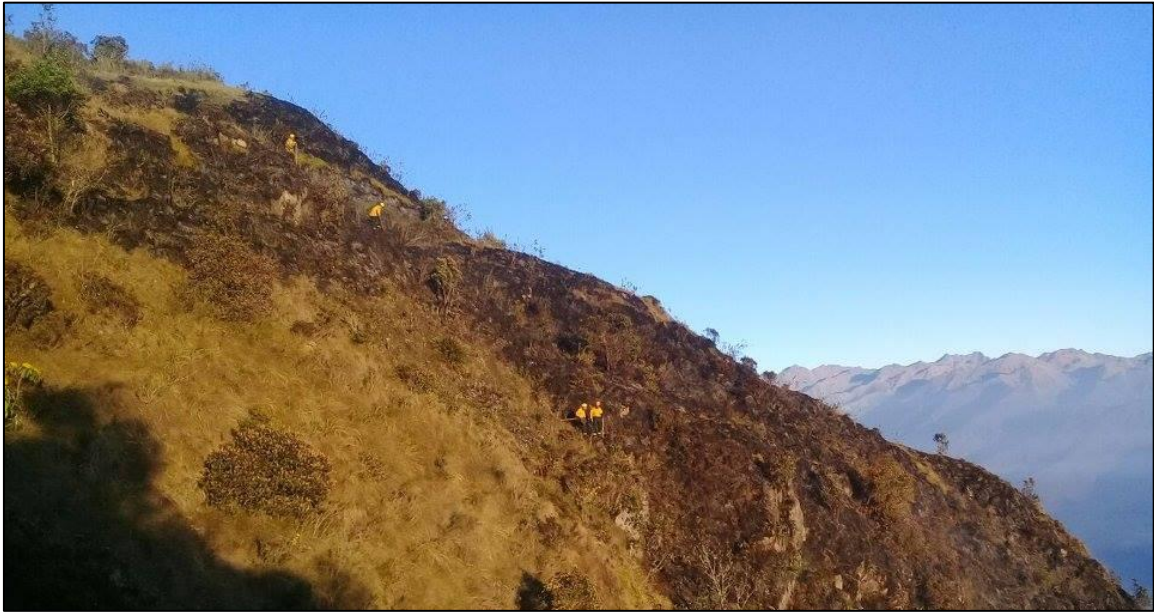


Fig. 7: Vista dos bombeiros florestais em ação no combate do incêndio florestal na parte alta das encostas do vale do Rio Ahobamba. Fotografia tomada em 24/07/2017.

O objetivo inicial do presente trabalho foi de utilizar imagem do satélite Landsat 8 cobrindo a região onde está localizada a Llacta de Machupicchu no Peru para uma avaliação da área queimada pelo incêndio florestal ocorrido entre 20 a 24 de julho de 2017, incluindo visualização e cálculo da extensão da área queimada pelo incêndio florestal, assim como sobreposição de camadas de informação geográfica do recurso cultural (sítios arqueológicos e caminho Inka) do Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu (PANM).

Entretanto, ao comparar as imagens do Landsat de 2017 com os resultados do trabalho de pesquisa desenvolvido pelo autor no passado (Chohfi 1989), ficou constado que a mesma área onde ocorreu o incêndio florestal de 2017 também sofreu um incêndio em 1988. Assim, foi realizada uma pesquisa mais abrangente cobrindo todo o banco de dados do Landsat desde 1972 com a finalidade de verificar se houve incêndio florestal nesta mesma área em outros anos além de 1988 e 2017. Esta pesquisa determinou a ocorrência de pelo menos mais um incêndio florestal nesta mesma área em 2013, como é apresentado a seguir.

IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT

De acordo com o USGS (2017), o satélite Landsat representa a mais longa coleção de dados de sensoriamento remoto de resolução espacial moderada do mundo que foi adquirida continuamente a partir do espaço.

O Landsat 1 (ERTS-1) foi lançado ao espaço em 1972, e foi seguido pelos Landsat 2, 3, 4, 5, 7 e 8 em 1975, 1978 e 1982, 1984, 1999 e 2013, respectivamente. Quatro décadas de imagens fornecem um recurso único para aqueles que trabalham em agricultura, geologia, silvicultura, planejamento regional, educação, mapeamento e pesquisa de mudanças globais. Imagens Landsat também são inestimáveis para resposta a emergências e auxílio a desastres. Os dados coletados pelo Landsat têm apoiado instituições governamentais, comerciais, industriais, civis, militares e educacionais mundialmente.

O acervo de imagens Landsat, disponibilizado pelo *United States Geological Survey (USGS)*, inclui imagens adquiridas pelo Landsat 1 em 1972 até o Landsat 8 no presente, permitindo estudos multitemporais de uma área de interesse na superfície terrestre.

Atualmente, o Landsat 7 e 8 adquirem imagens multiespectrais de um ponto na superfície terrestre a cada 16 dias.

O Landsat 8 adquire as imagens multiespectrais através de dois instrumentos: 1. *Operational Land Imager (OLI)* e 2. *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*. O OLI oferece imagens em nove bandas espectrais (Banda 1 a 9) com resolução espacial de 15 metros na Banda 8 e 30 metros nas Bandas 1-7 e 9. Já o TIRS provê imagens em duas bandas térmicas (Banda 10 e 11) com resolução espacial de 100 metros em ambas. O USGS disponibiliza imagens do Landsat 8 24 horas após serem adquiridas pelo satélite.

Descrição adicional sobre o Landsat está fora do escopo deste trabalho. Informações oficiais sobre o Programa Landsat estão disponíveis na Internet no seguinte endereço: <https://landsat.usgs.gov/>.

IMAGENS DO LANDSAT DA REGIÃO DE MACHUPICCHU

De acordo com a NASA (2018), o Sistema de Referência Global (*WRS: Worldwide Reference System*) é um sistema de numeração global para catalogar e recuperar dados Landsat. O WRS permite ao usuário investigar sobre a disponibilidade de imagens do Landsat adquiridas sobre qualquer ponto na superfície terrestre especificando o centro nominal da cena, que é designado pelos números Órbita (*Path*) e Ponto (*Row*) no WRS.

As imagens do Landsat que abrangem a região da Lacta de Machupicchu tem centro nominal Órbita / Ponto: 004 / 069 no WRS.

Imagens multiespectrais do Landsat 5 já foram utilizadas pelo autor (Chohfi 1989) na detecção e mapeamento de áreas queimadas por incêndios florestais ocorridos dentro do PANM em 1988, quando foram detectadas e mapeadas cinco áreas queimadas totalizando aproximadamente 34,7 Km² (3.470 Ha), representando 9,03% do Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu (PANM). A Figura 8 mostra na imagem do Landsat 5 as feições das áreas queimadas e o mapeamento das áreas queimadas dentro do PANM em 1988.

Primeiramente, o acervo de imagens do satélite Landsat 8 foi consultado para verificar a disponibilidade de imagem que tivesse detectado a área queimada pelo incêndio florestal que ocorreu nas proximidades da Lacta de Machupicchu entre 20 a 24 de julho de 2017.

Foi verificada a disponibilidade de duas imagens multiespectrais do Landsat 8 na coordenada 004/049 do WRS que poderiam ser utilizadas neste trabalho:

1. Pré-incêndio florestal de 2017:
 - a. Data: 08 de julho de 2017
 - b. ID da Cena: LC80040692017189LGN00
2. Pós-incêndio florestal de 2017:
 - a. Data: 24 de julho de 2017
 - b. ID da Cena: LC80040692017205LGN00

A Figura 9 mostra as imagens dessas duas cenas do Landsat 8 adquiridas em 2017.

Através de interpretação visual preliminar da imagem do Landsat 8 de 24 de julho de 2017 e comparação com o mapeamento das áreas queimadas realizado em 1988, constatou-se que a área onde ocorreu o incêndio florestal de 20-24 de julho de 2017 também tinha sofrido um incêndio em 1988.

Devido à evidência levantada da ocorrência de incêndio florestal na mesma área em 1988 e 2017, foi realizada uma pesquisa mais extensa cobrindo todo o acervo do Landsat desde 1972 com a finalidade de verificar se houve incêndio florestal nesta mesma área em outros anos além de 1988 e 2017. Esta pesquisa determinou a ocorrência de pelo menos mais um incêndio florestal nesta mesma área em 2013.

A área queimada pelo incêndio de 2013 está registrada na seguinte imagem do Landsat 8:

1. Pós-incêndio florestal de 2013:
 - a. Data: 30 de agosto de 2013
 - b. ID da Cena: LC80040692013242LGN01

O processamento digital realizado nas imagens do Landsat 8 para avaliar as áreas queimadas pelos incêndios de 2013 e 2017 é detalhado na próxima seção deste trabalho.

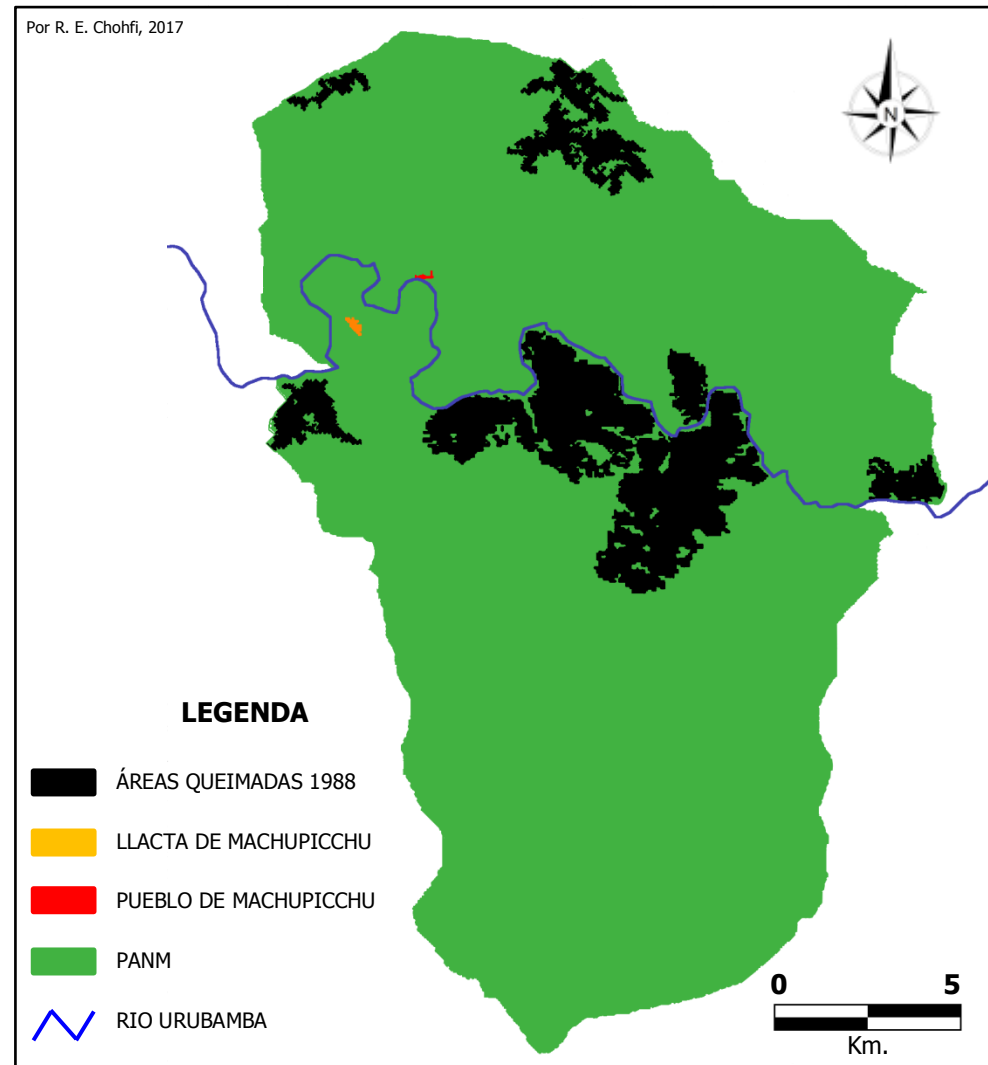
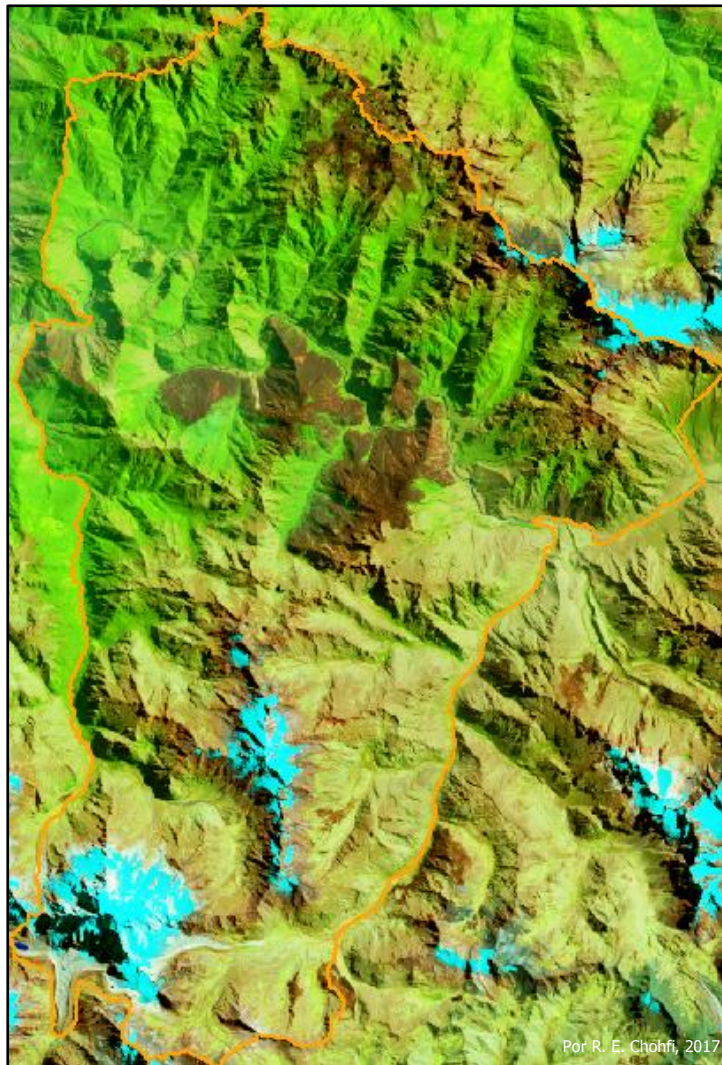


Fig. 8: Áreas queimadas por incêndios florestais ocorridos no PANM em 1988. (a) Esquerda: Imagem Landsat 5 (RGB-B543) de 25/06/1988 com sobreposição dos limites do PANM (polígono laranja). (b) Direita: Mapeamento das áreas queimadas (baseado em Chohfi, 1989).

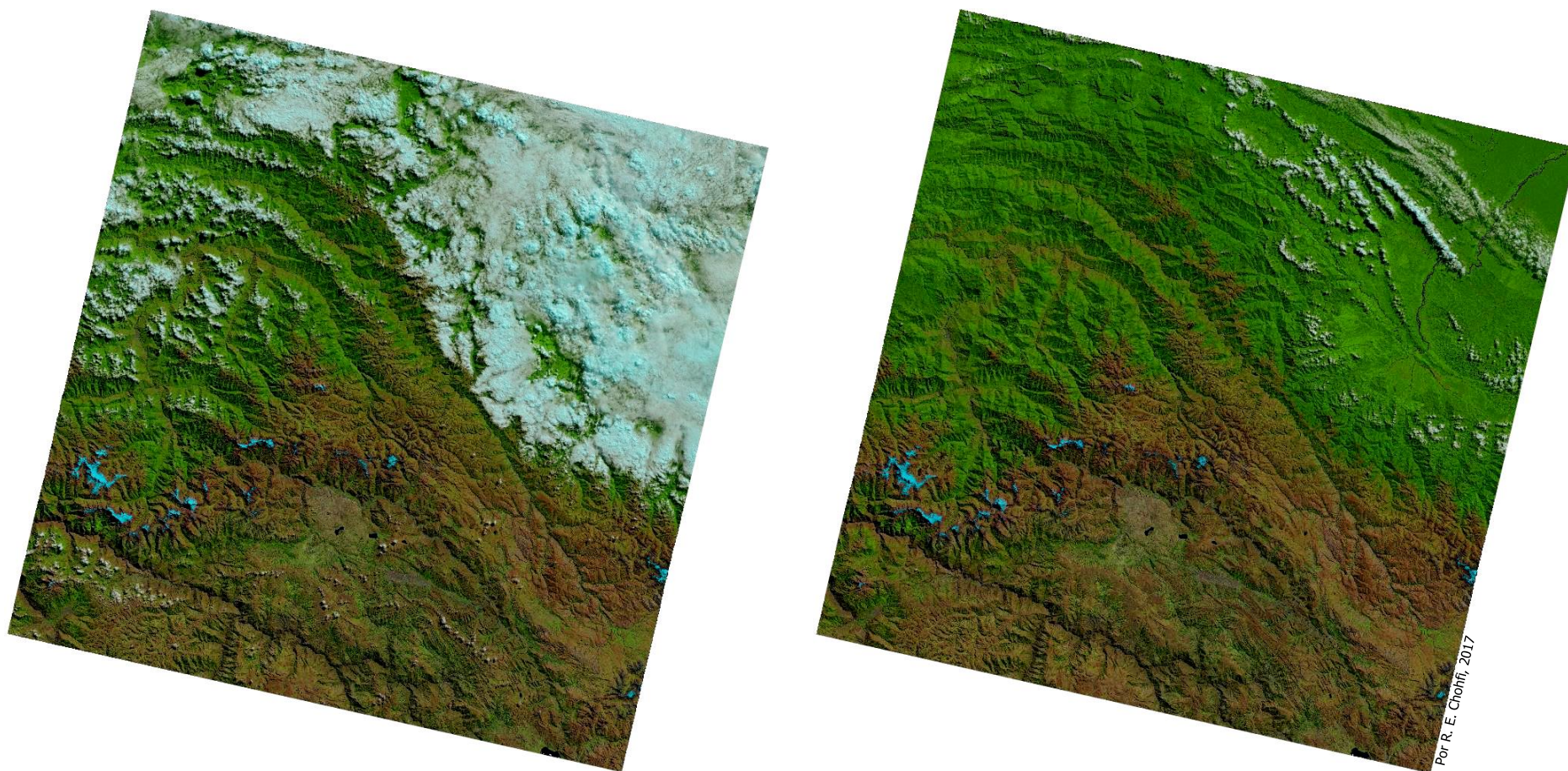


Fig. 9: Cenas do Landsat 8 Órbita / Ponto 004 / 069:
(a) Esquerda: Pré-incêndio florestal. Data: 08 de julho de 2017, ID da Cena: LC80040692017189LGN00.
(b) Direita: Pós-incêndio florestal. Data: 24 de julho de 2017, ID da Cena: LC80040692017205LGN00.

PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS DO LANDSAT 8

DA REGIÃO DE MACHUPICCHU

Após transferência eletrônica (*download*) dos arquivos digitais das imagens multiespectrais do Landsat 8 de 2013 e 2017 do acervo do USGS, foram realizadas as seguintes etapas de processamento digital de imagem:

1. Composição de imagens coloridas (RGB) com resolução espacial de 30 metros e as seguintes bandas espectrais:
 - a. Imagem colorida cor natural:
 - i. R: Banda 4, Vermelho (0,636 – 0,673 μm)
 - ii. G: Banda 3, Verde (0,533 – 0,590 μm)
 - iii. B: Banda 2, Azul (0,636 – 0,673 μm)
 - b. Imagem colorida infravermelha:
 - i. R: Banda 6, SWIR 1: Infravermelho Banda Curta 1 (1,566 – 1,651 μm)
 - ii. G: Banda 5, NIR: Infravermelho Próximo (0,851 – 0,879 μm)
 - iii. B: Banda 4, Vermelho (0,636 – 0,673 μm)
2. Fusão espacial das composições coloridas (RGB) de resolução espacial de 30 metros com a Banda 8 de resolução espacial de 15 metros pelo método Brovey ponderado (GDAL 2017).
3. Correção atmosférica pelo método remoção de névoa (Richards 1986).
4. Recorte da área de interesse de 10x10 Km (100 Km²) com resolução espacial de 15 metros abrangendo a região da Llacta de Machupicchu e cobrindo área dos incêndios florestais ocorridos em 2013 e 2017.
5. Realce de cor das composições coloridas (RGB) cobrindo a área de interesse de 100 Km² com resolução espacial de 15 metros.

Os recortes de 100 Km² das imagens do Landsat 8 estão ortoretificadas e georreferenciados no sistema de referência espacial WGS 84 / UTM Fuso 18S (EPSG: 32718), no formato GeoTiff e nível de processamento L1TP (*Level-1 TP*), que consiste de correção topográfica de precisão provendo acurácia sistemática, radiométrica e geométrica ao incorporar pontos de controle e empregar um Modelo de Elevação Digital (*DEM: Digital Elevation Model*) para acurácia topográfica.

As imagens das composições coloridas de cor natural e infravermelho selecionadas cobrindo a área de interesse de 100 Km² com resolução espacial de 15 metros abrangendo a região da Llacta de Machupicchu e cobrindo área dos incêndios florestais de 2013 e 2017 são mostradas nas Figuras 10-12.

Uma avaliação das áreas queimadas nos incêndios florestais ocorridos nas proximidades da Llacta de Machupicchu em 2013 e 2017 é apresentada na próxima seção deste trabalho.

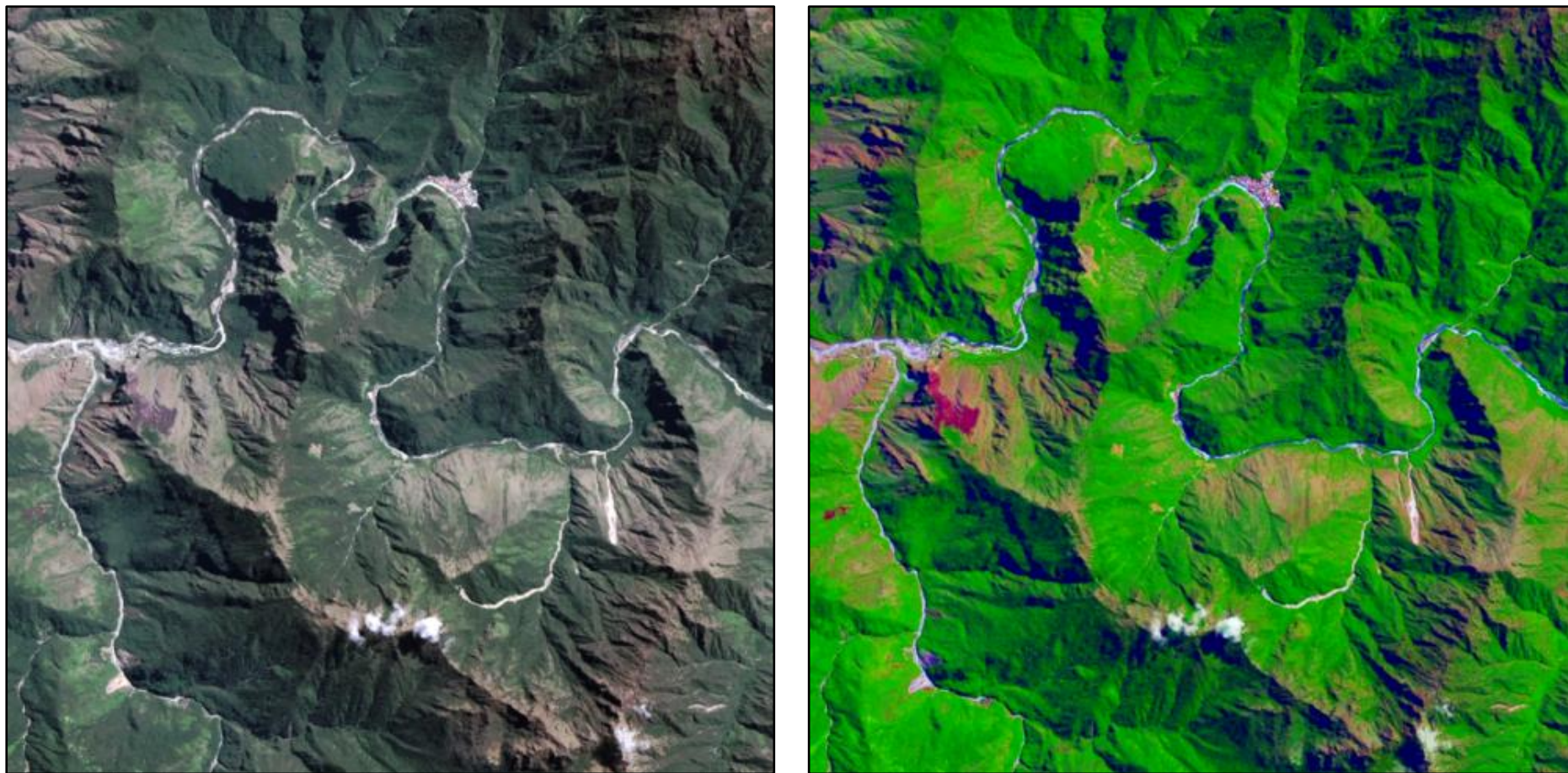
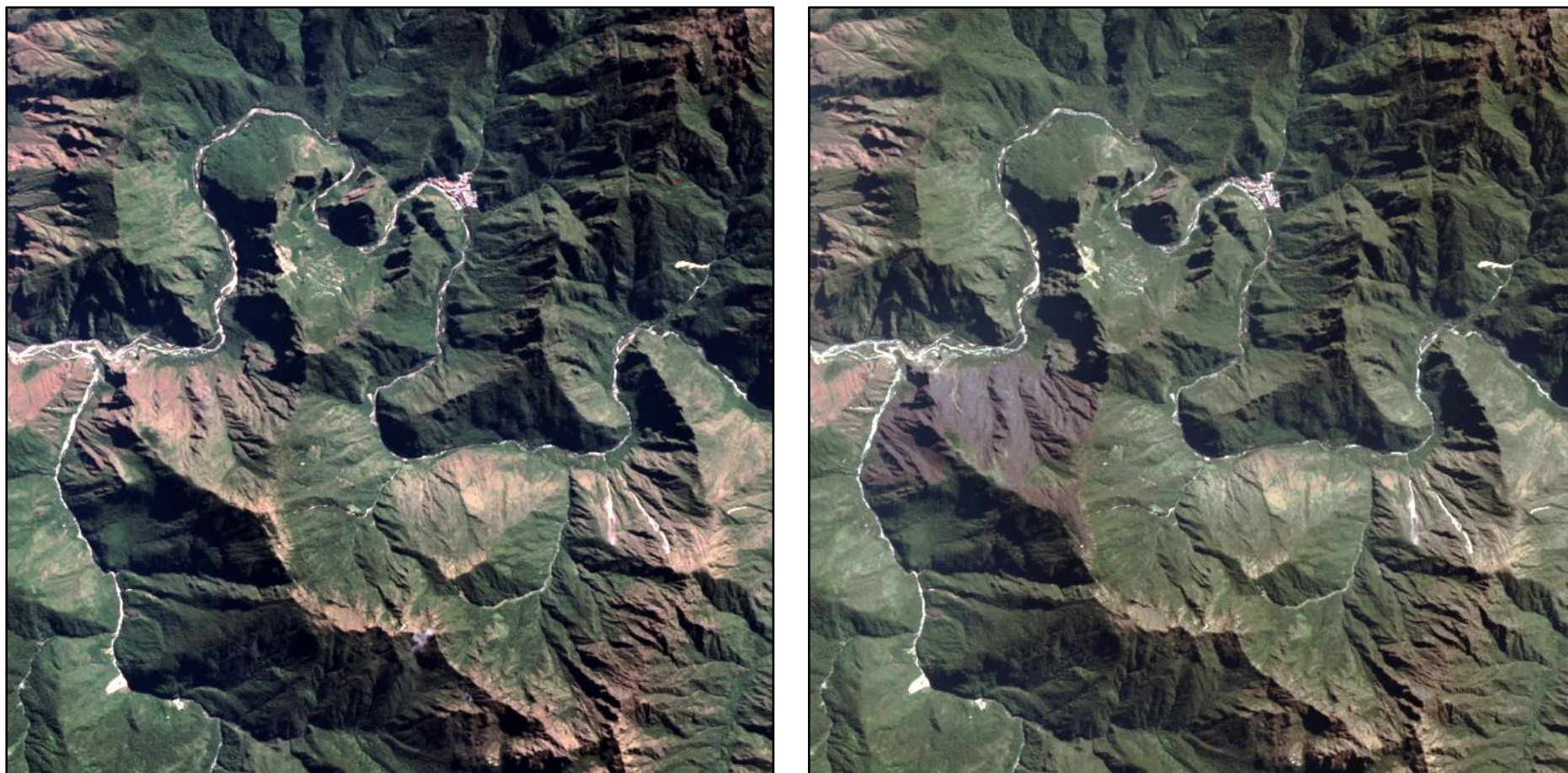
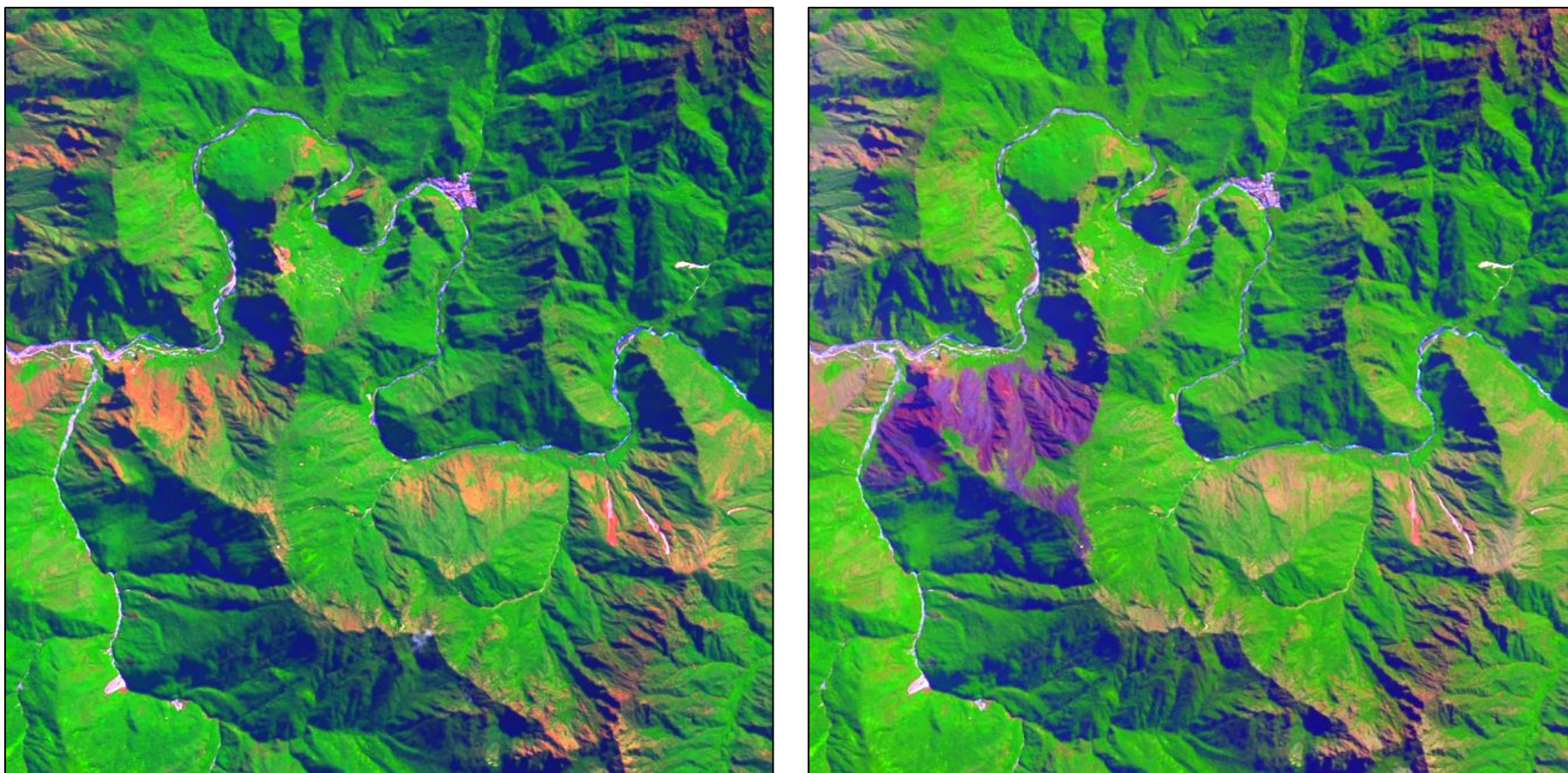


Fig. 10: Imagens Landsat 8, data: 30/08/2013, pós-incêndio, cobrindo a área de interesse de 100 Km² com resolução espacial de 15 metros: (a) Esquerda: Composição colorida cor natural (RGB: B432), (b) Direita: Composição colorida infravermelha (RGB: B654).



Por R. E. Chotrif, 2017

Fig. 11: Composição cor natural do Landsat 8 (RGB: B432) cobrindo a área de interesse de 100 Km² com resolução espacial de 15 metros: (a) Esquerda: Pré-incêndio florestal. Data: 08 de julho de 2017, (b) Direita: Pós-incêndio florestal. Data: 24 de julho de 2017.



Por R. E. Chohfi, 2017

Fig. 12: Composição colorida infravermelha do Landsat 8 (RGB: B654) cobrindo a área de interesse de 100 Km² com resolução espacial de 15 metros: (a) Esquerda: Pré-incêndio florestal. Data: 08 de julho de 2017, (b) Direita: Pós-incêndio florestal. Data: 24 de julho de 2017.

ÁREAS QUEIMADAS NOS INCÊNDIOS FLORESTAIS OCORRIDOS NAS PROXIMIDADES DA LLACTA DE MACHUPICCHU EM 2013 E 2017

As imagens do Landsat 8 cobrindo 100 Km² mostradas acima foram utilizadas na avaliação das áreas queimadas nos incêndios florestais ocorridos nas proximidades da Llacta de Machupicchu em 2013 e 2017.

As composições coloridas infravermelhas (RGB: B654) com resolução espacial de 15 metros adquiridas pelo Landsat 8 em 30/08/2013 e 24/07/2017, cobrindo a área de interesse de 100 Km², foram de maior importância na avaliação das áreas queimadas pelos incêndios florestais.

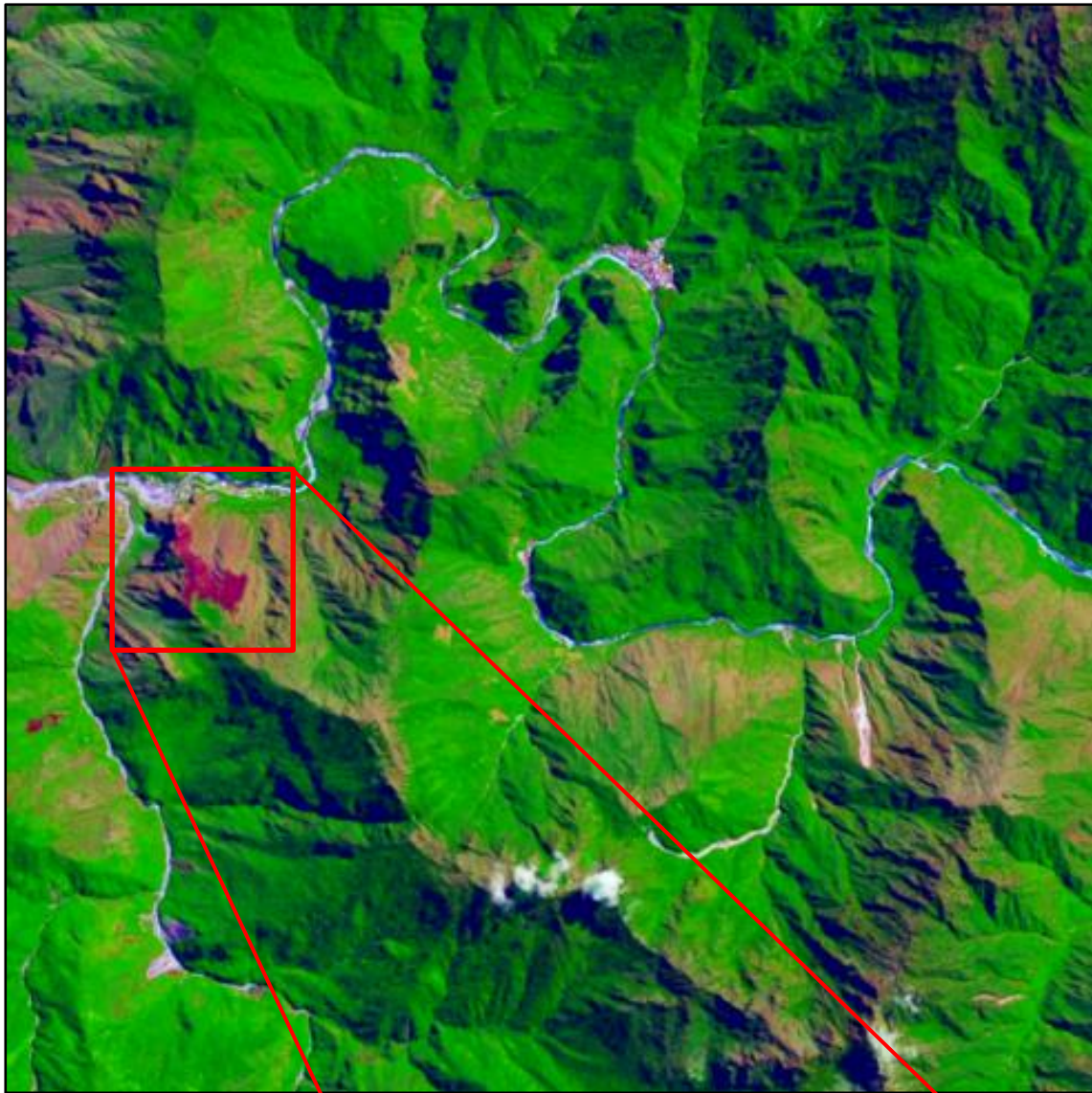
A composição infravermelha (RGB: B654) é frequentemente utilizada em análise de vegetação por realçar a vegetação presente na superfície terrestre e a qualidade da cobertura vegetativa, realçando áreas queimadas por incêndios florestais.

As feições das áreas queimadas pelos incêndios florestais que ocorram nas proximidades da Llacta de Machupicchu em 2013 e 2017 são claramente visíveis nas imagens infravermelhas (RGB: B654). As feições das áreas queimadas estão localizadas nas encostas próximas a confluência dos rios Urubamba e Ahobamba, conforme mostrado nas Figuras 13 e 14.

Essas imagens infravermelhas (RGB: B654) ortoretificadas do Landsat 8 no formato GeoTiff, WGS84/UTM Fuso 18S (EPSG: 32718), foram carregadas em um ambiente de sistema de informação geográfica (SIG) para determinação das áreas queimadas pelos incêndios florestais.

A determinação e cálculo das áreas queimadas foram realizados através da digitalização interativa do polígono das feições das áreas queimadas presentes nas imagens infravermelhas (RGB: B654) ortoretificadas do Landsat 8 de 2013 e 2017.

Observa-se que dentro da área queimada em 2017 há pequenas áreas de vegetação que não foram queimadas. Essas pequenas áreas foram digitalizadas e subtraídas da área total do polígono delimitando a feição da área queimada em 2017. Desta forma, foi calculada somente a área na qual a cobertura vegetativa foi realmente queimada durante o incêndio de 2017.



Por R. E. Chohifi, 2017

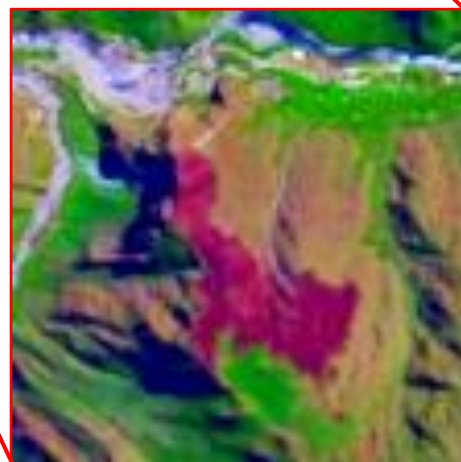
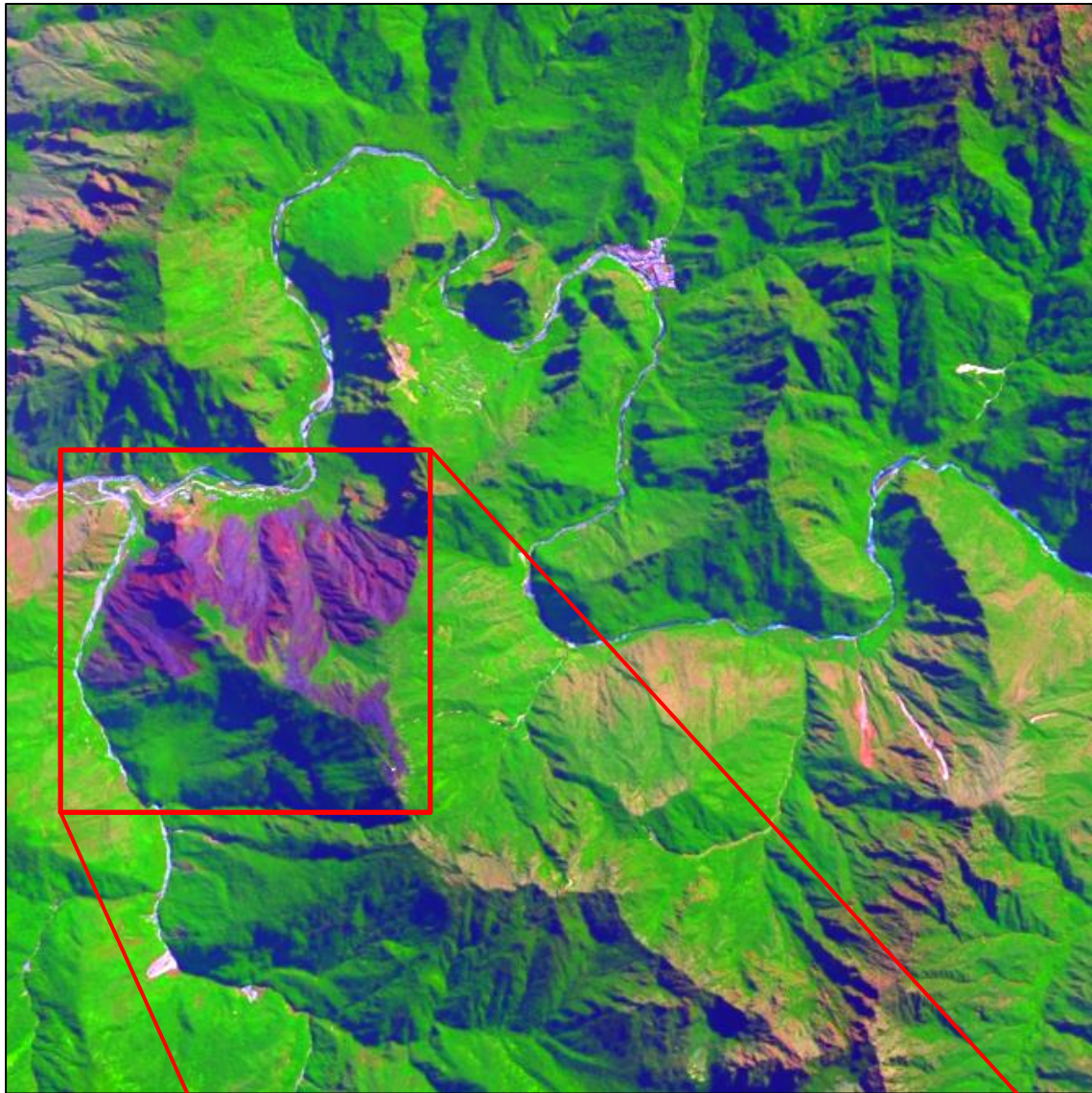


Fig. 13: Imagem infravermelha (RGB: B654) adquirida pelo Landsat 8 em 30 de agosto de 2013, pós-incêndio florestal, cobrindo 100 Km² mostrando nitidamente a feição e extensão da área queimada.



Por R. E. Chohifi, 2017

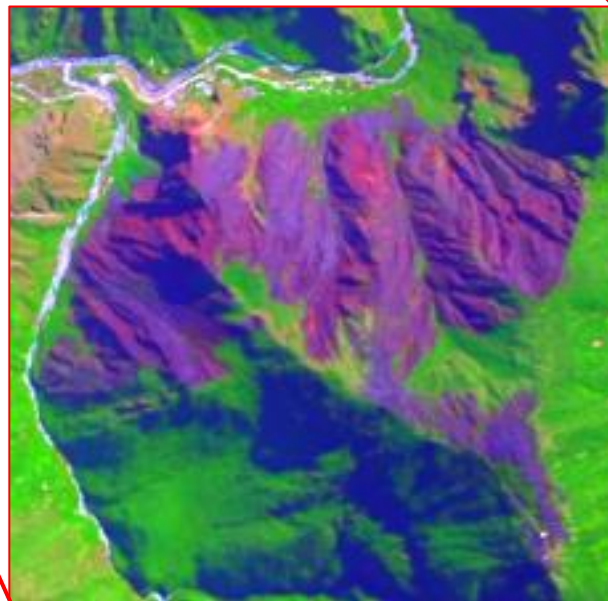


Fig. 14: Imagem infravermelha (RGB: B654) adquirida pelo Landsat 8 em 24 de julho de 2017, pós-incêndio florestal, cobrindo 100 Km² mostrando nitidamente a feição e extensão da área queimada.

A área queimada pelo incêndio florestal que ocorreu de em 2013 é de 21,85 Hectares. O polígono da área queimada pelo incêndio florestal de 2013 é mostrado abaixo na Figura 15.

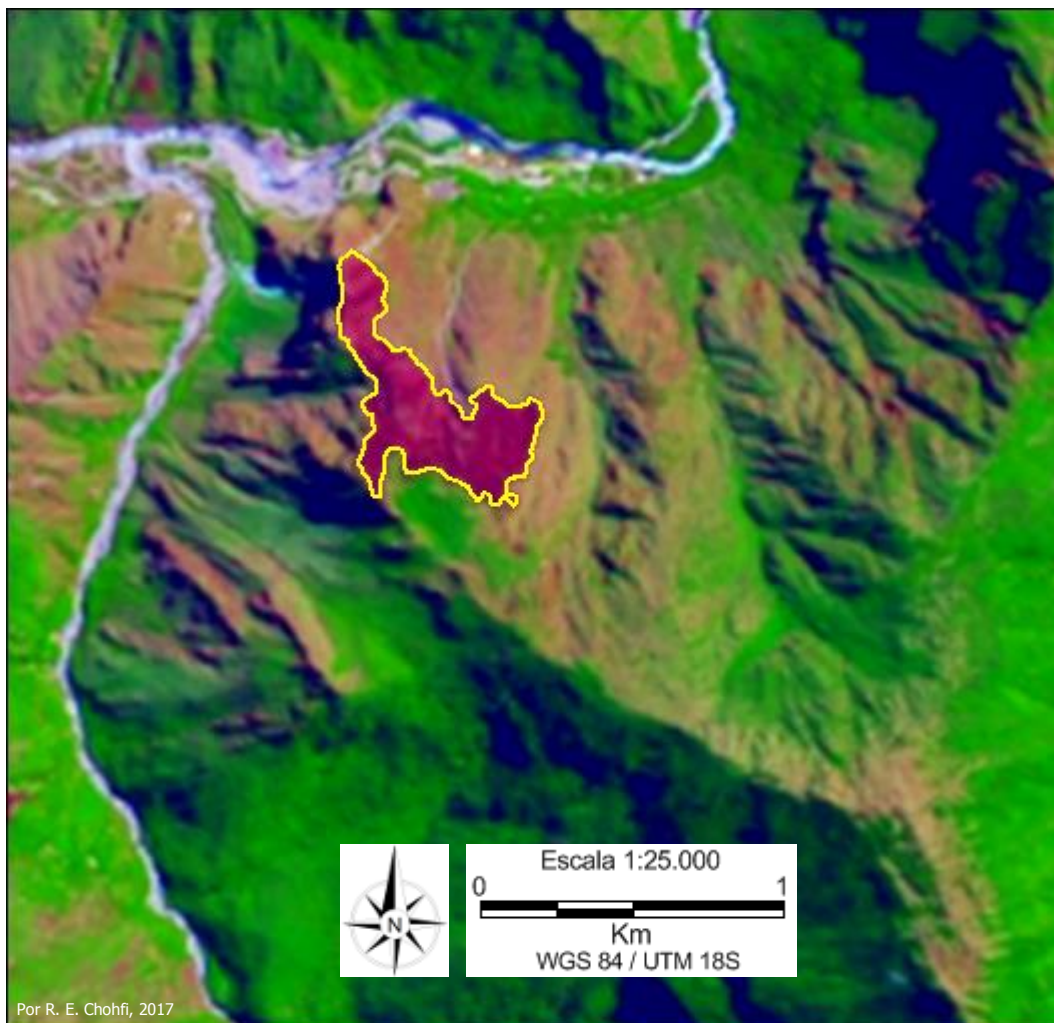


Fig. 15: Polígono em amarelo mostra a área queimada pelo incêndio florestal de 2013 cobrindo uma área de 21,85 Ha e perímetro de 3,43 Km.

A área queimada pelo incêndio florestal que ocorreu de 20 a 24 de julho de 2017 é de 347,31 Hectares. O polígono da área queimada pelo incêndio florestal de 2017 é mostrado abaixo na Figura 16.

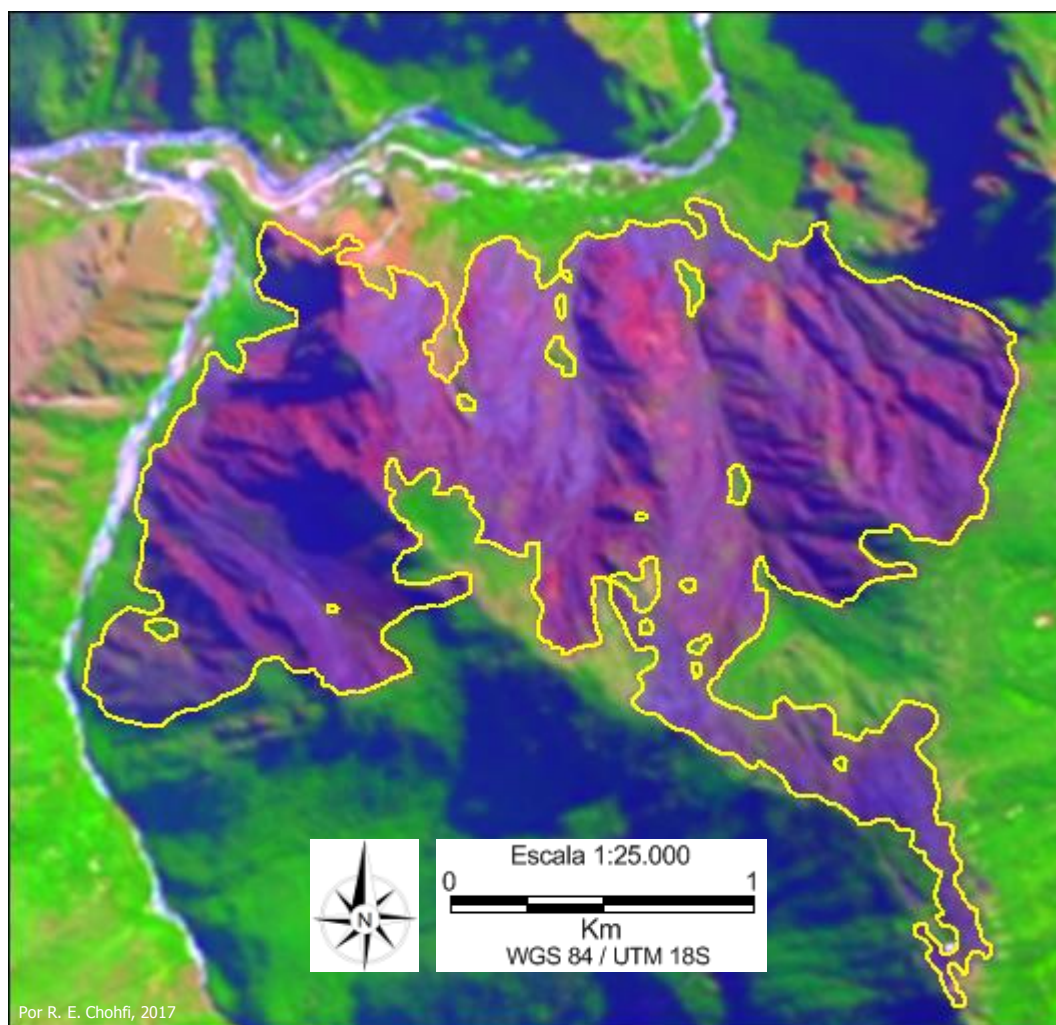


Fig. 16: Polígono em amarelo mostra a área queimada pelo incêndio florestal de 21 a 24 de julho de 2017 cobrindo uma área de 347,31 Ha e perímetro de 22,26 Km.

A área queimada pelo incêndio florestal de 20 a 24 de julho de 2017 corresponde a 0,9% do Parque Arqueológico de Machupicchu (PANM), conforme ilustrado abaixo na Figura 17.

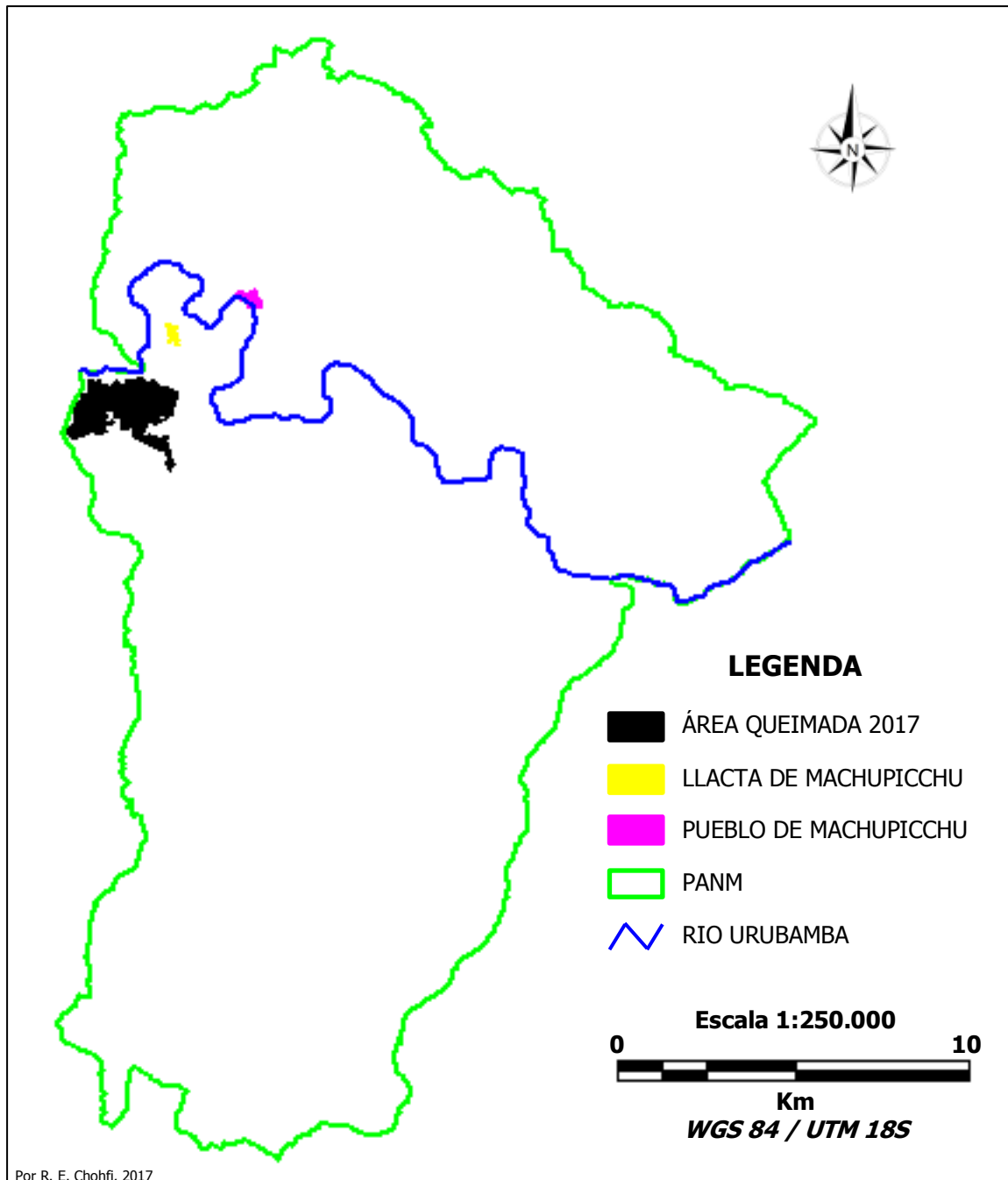


Fig. 17: Área queimada pelo incêndio florestal que ocorreu entre 20 a 24 de julho de 2017 no Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu (PANM).

Na próxima seção deste trabalho é apresentada a sobreposição do polígono da área queimada pelo incêndio florestal de 2017 em camadas de informação geográfica.

SOBREPOSIÇÃO DO POLÍGONO DA ÁREA QUEIMADA EM 2017 E

CAMADAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Uma das funções disponíveis em um sistema de informação geográfica (SIG) é a sobreposição de camadas de informação geográfica, permitindo uma análise visual e quantitativa entre as feições geográficas de diferentes camadas de informação.

O polígono da área queimada pelo incêndio florestal que ocorreu nas proximidades da Lacta de Machupicchu em 20-24 de julho de 2017 foi sobreposto nas seguintes camadas de informação geográfica:

- Modelo Digital de Terreno (MDT)
- Curvas de nível
- Declividade
- Hidrografia
- Sítios arqueológicos
- Caminhos Inka
- Polígonos das áreas queimadas em 1988 e 2013
- Imagem do Landsat 8

Essas camadas de informação geográfica foram desenvolvidas e integradas pelo autor em um ambiente de SIG a partir de diferentes fontes oficiais, como IGN (1998), DDCC (2011), PE-274 (2013) and USGS (2017a, b).

A análise da sobreposição dessas camadas de informação geográfica determinou o seguinte sobre o incêndio florestal de 2017:

1. O incêndio ocorreu nas encostas próximo à confluência dos rios Urubamba e Ahobamba.
2. A altitude da área queimada varia de aproximadamente 1.800 a 3.500 metros.
3. A declividade das encostas varia com a seguinte distribuição:
 - a. De 0 a 30 graus em 15,3% da área.
 - b. De 30 a 50 graus na maior parte da área (76%).
 - c. De 50 a 70 graus em apenas 9% da área.
 - d. De 70 a 80 graus em uma pequena parte da área (0,1%).
4. O incêndio florestal não alcançou nenhum dos principais sítios arqueológicos. Na parte baixa, a mancha do incêndio florestal está a uma distância de 130 metros do sítio arqueológico Intiwatana, localizado entre aproximadamente 1.850 e 1.900 metros de altitude. Na parte alta, a mancha do incêndio florestal está a uma distância de 330 metros do sítio arqueológico Quantupata, localizado a quase 3.350 metros de altitude, e a 370 metros do sítio arqueológico Intipata, situado a 2.850 metros de altitude.

5. O incêndio florestal não alcançou nenhum dos principais caminhos Inka. Na parte alta (3.400 a 3.300 metros), a mancha do incêndio florestal está a 420 metros do caminho Inka. A uma altitude 2.830 metros, a mancha do incêndio florestal está a 230 metros do caminho Inka.
6. A sobreposição dos polígonos das áreas queimadas pelos incêndios florestais de 1988, 2013 e 2017 constata que esses incêndios ocorreram no mesmo local. Em ordem de magnitude, o maior incêndio foi o de 2017 com uma área queimada de 347,3 Ha, seguido pelo de 1988 com 215,9 Ha e o menor de 2013 tendo apenas 21,85 Ha.

As sobreposições das camadas de informação geográfica estão ilustradas abaixo nas Figuras 18-22.

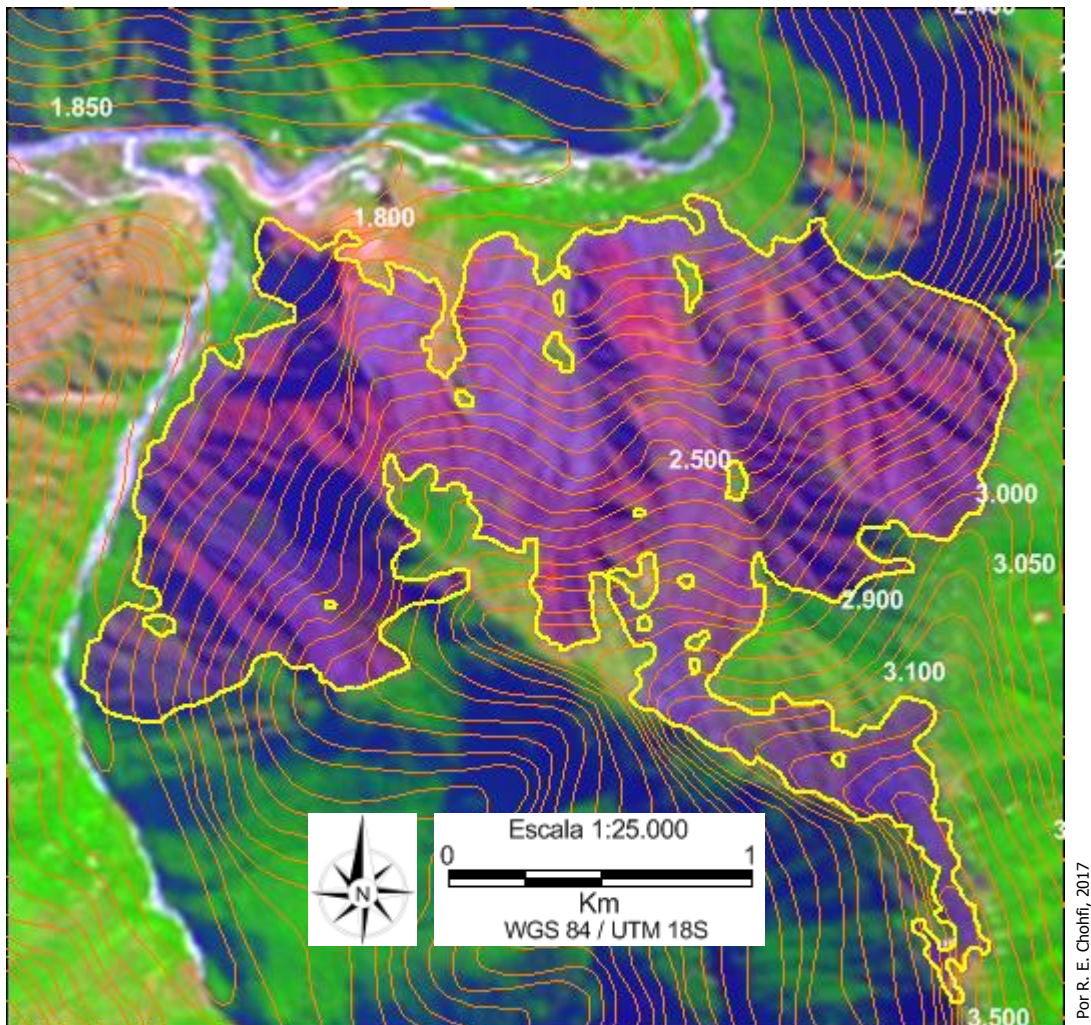


Fig. 18: Sobreposição de curvas de nível, polígono da área queimada em 2017 e imagem Landsat 8.

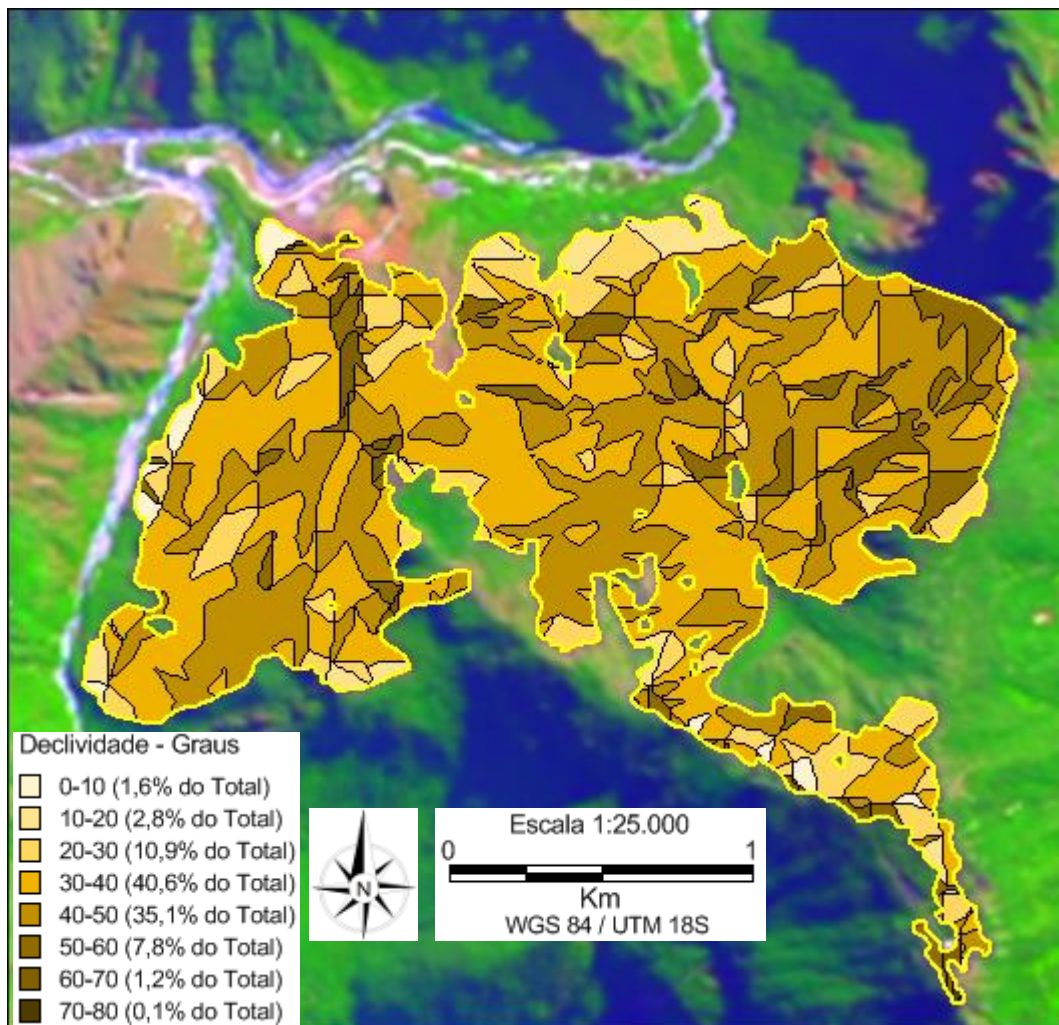


Fig. 19: Sobreposição de declividade, polígono da área queimada em 2017 e imagem Landsat 8.

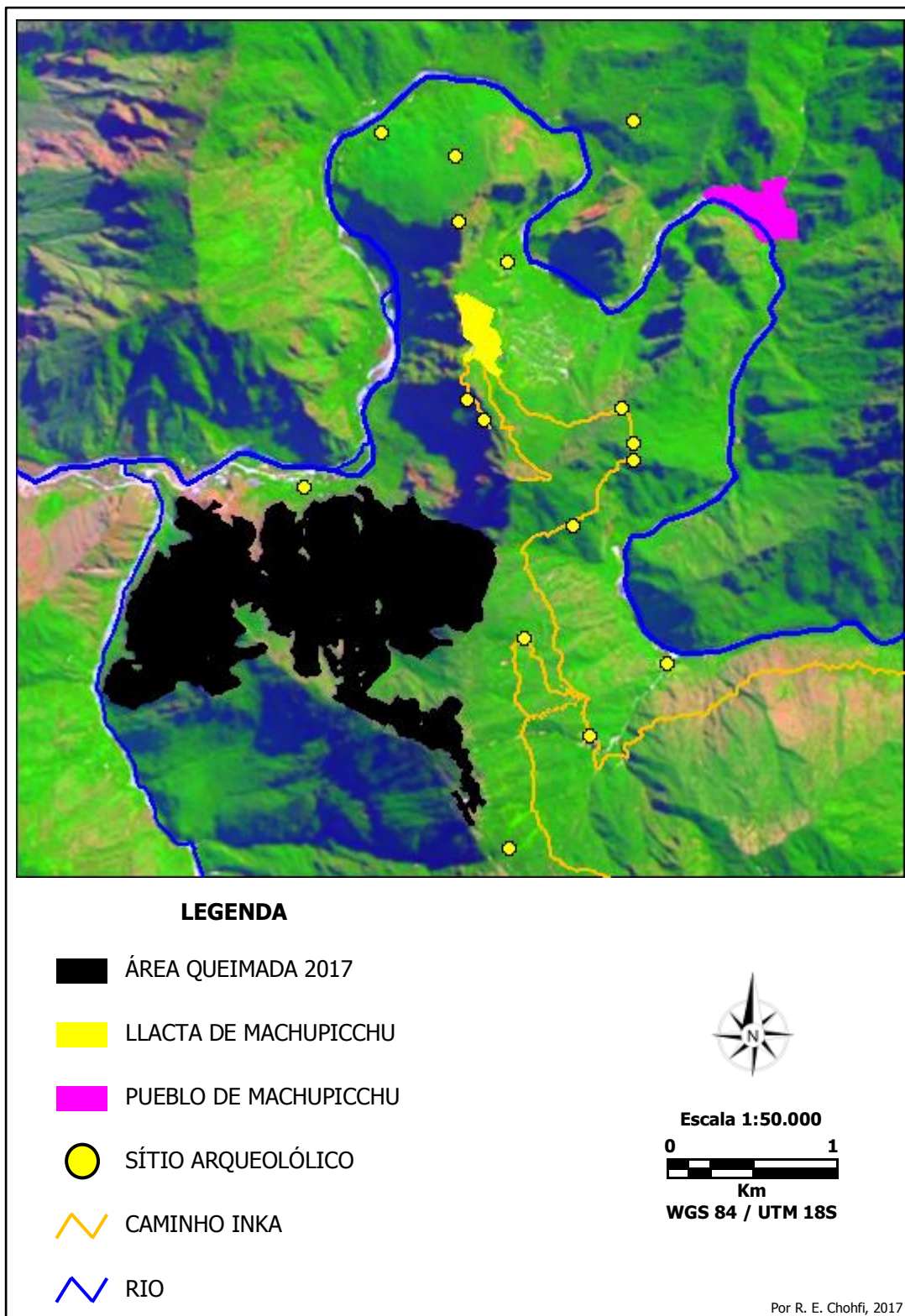


Fig. 20: Sobreposição da área queimada em 2017, principais sítios arqueológicos e caminhos Inka em imagem Landsat 8.

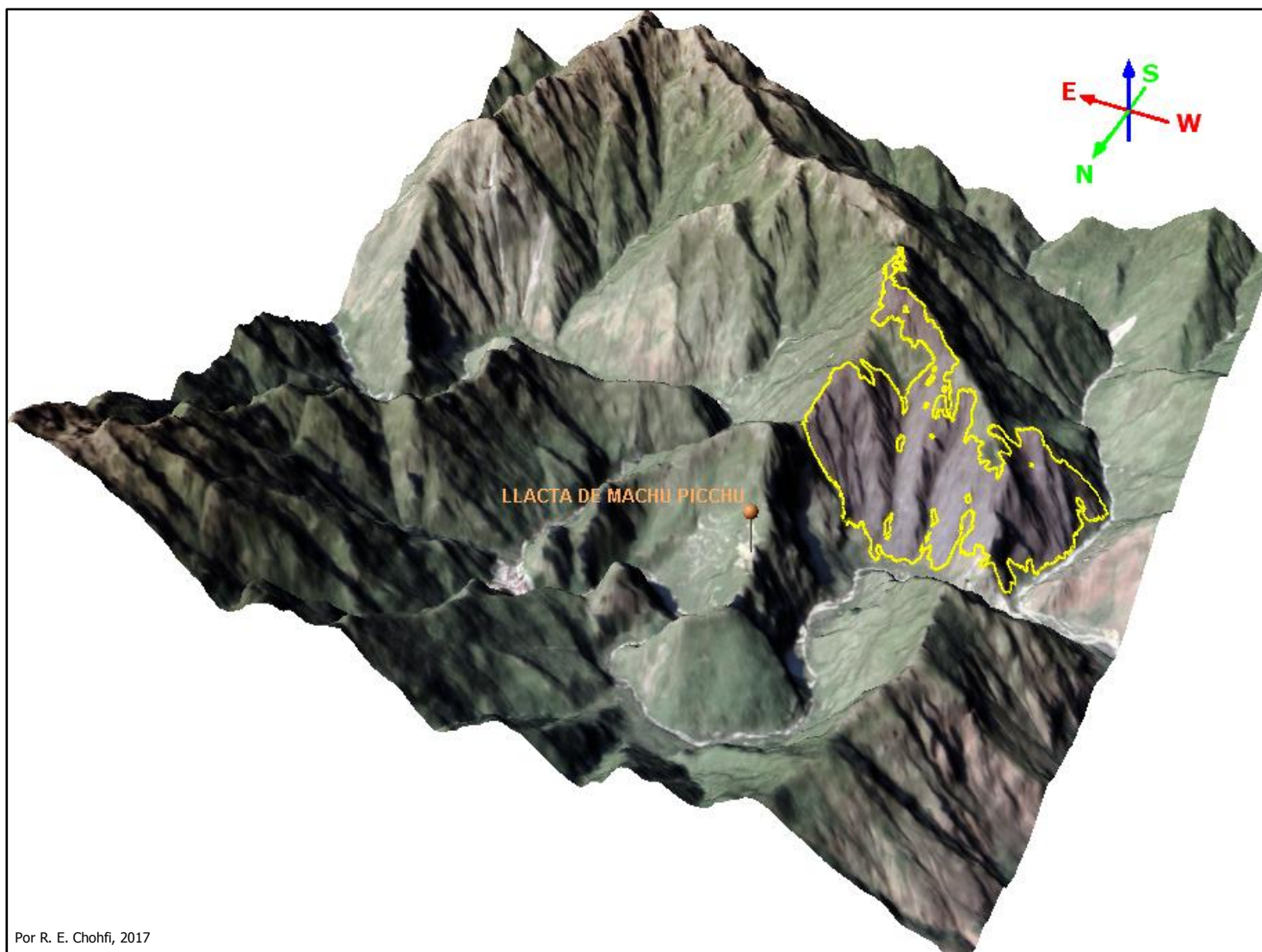


Fig. 21: Sobreposição do polígono da área queimada em 2017 (em amarelo) e imagem do satélite Landsat 8 em modelo digital de terreno.

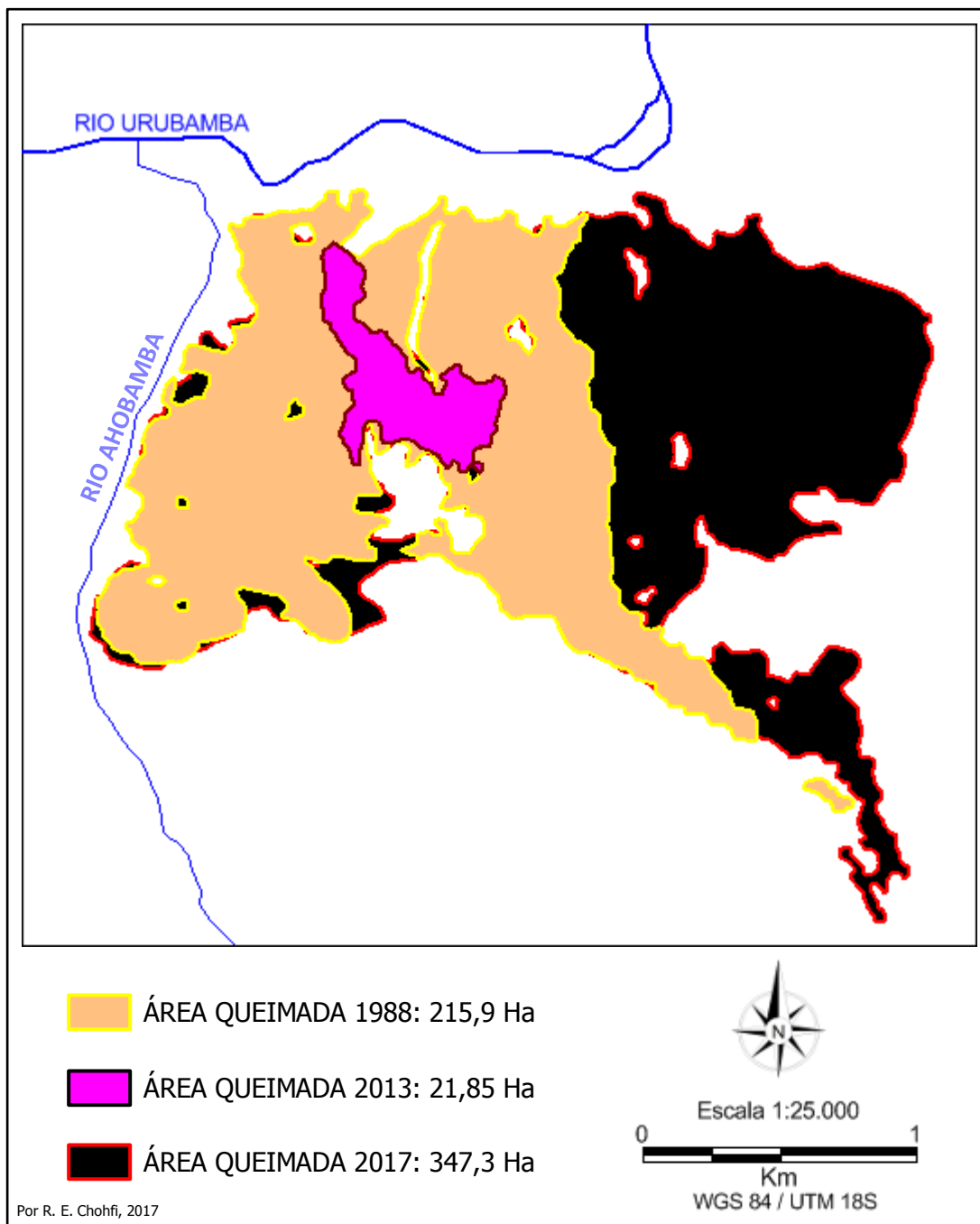


Fig. 22: Sobreposição dos polígonos das áreas queimadas por incêndios florestais ocorridos nas proximidades da Llacta de Machupicchu em 1988, 2013 e 2017.

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EM JULHO DE 2017

Segundo os dados da estação meteorológica de Machupicchu do SENAMHI, julho é um mês seco na região de estudo, conforme ilustrado na Figura 23.

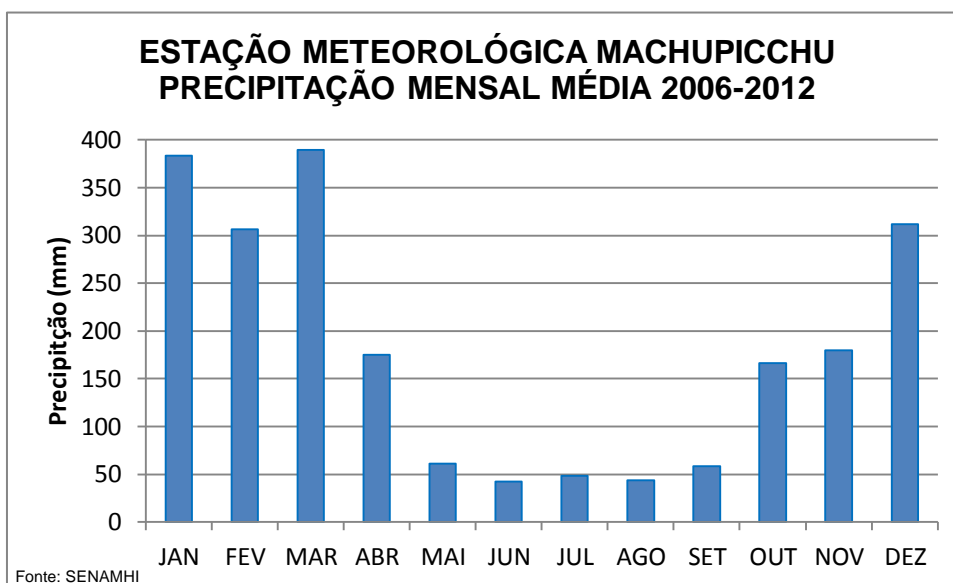


Fig. 23: Precipitação para estação meteorológica de Machupicchu.

A estação meteorológica está localizada nas imediações da Lacta de Machupicchu e aproximadamente 1,5 Km. da área queimada.

A precipitação e temperatura registradas pela estação meteorológica Machupicchu durante o mês de julho de 2017 estão ilustradas na Figura 24 e listadas na Tabela 1.

Os dados de precipitação indicam uma condição muito seca durante os dias anteriores ao evento do incêndio florestal de 20-24 de julho de 2017, proporcionando condição favorável para ocorrência do incêndio florestal.

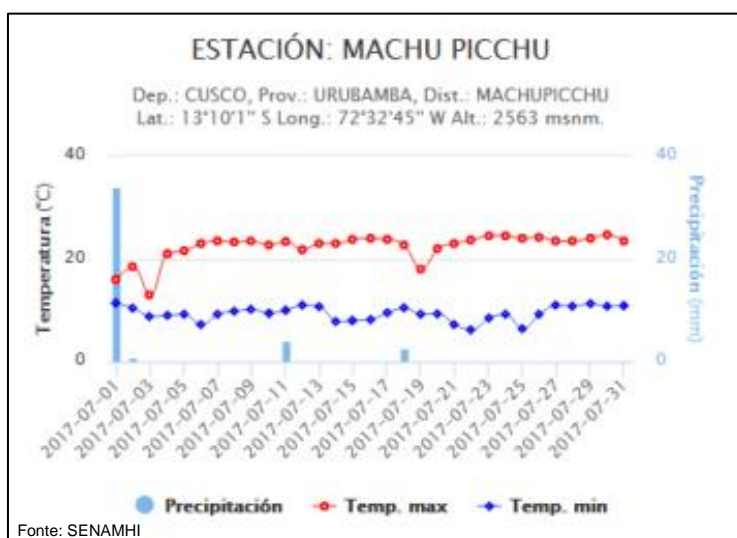


Fig. 24: Precipitação e temperaturas em julho de 2017 em Machupicchu.

Tabela 1: Dados da estação meteorológica Machupicchu – Julho 2017

Estación : MACHU PICCHU , Tipo Convencional - Meteorológica												
Departamento : CUSCO			Provincia : URUBAMBA			Distrito : MACHUPICCHU			Ir : 2017-07 ▼			
Latitud : 13° 9' 59.58"			Longitud : 72° 32' 45.06"			Altitud : 2548						
Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo Seco (°c)			Temperatura Bulbo Humedo (°c)			Precipitacion (mm)		Direccion del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Jul-2017	16	11.4	11.7	13.4	11.2	11.5	12.5	11	5.7	32.4	SW	6
02-Jul-2017	18.5	10.4	10.5	17.7	11.8	10.4	15.2	11	1.6	0	W	6
03-Jul-2017	13	8.8	9	12.4	10.8	9	11.8	10	.8	0	W	4
04-Jul-2017	21	9	10	17	12.6	9.8	15	11.4	0	0	W	2
05-Jul-2017	21.6	9.2	10	19.4	13	9.6	16.6	11.6	0	0	NW	14
06-Jul-2017	23	7.2	9	21.4	13.8	9	16.4	12	0	0	SW	8
07-Jul-2017	23.5	9.2	10	20.2	14	9.7	18	12.4	0	0	SW	11
08-Jul-2017	23.3	9.8	10.4	21.2	14.6	10	16.2	12.8	0	0	SW	14
09-Jul-2017	23.5	10.2	11.2	21.6	14.7	10.8	17.8	12.4	0	0	W	6
10-Jul-2017	22.7	9.4	9.6	18.2	14.5	9.5	14.8	13.8	0	0	C	
11-Jul-2017	23.4	10	10.8	22.4	14.4	10.2	16	11.8	0	0	W	8
12-Jul-2017	21.8	11	11.2	20.5	13	11	16.6	11	4.1	0	SW	8
13-Jul-2017	23	10.7	11	22	14.2	10.8	16.4	11.2	0	0	SW	11
14-Jul-2017	23	7.8	9.2	21.2	14	9	15	11.2	0	0	SW	14
15-Jul-2017	23.8	8	9.5	22.4	14.4	9.4	15.2	11.3	0	0	W	8
16-Jul-2017	24	8.2	9.8	20.7	14.7	9.5	15.4	11.5	0	0	SW	4
17-Jul-2017	23.8	9.5	10.2	20.9	15.4	10	16.8	12	0	0	SW	11
18-Jul-2017	22.7	10.5	11.8	21.7	12.2	11.2	17.8	11.2	0	0	SW	8
19-Jul-2017	18	9.2	9.8	16.2	11.4	9.7	15.7	10.8	2.8	0	SW	4
20-Jul-2017	22	9.3	9.6	20.4	13	9.5	16	12.2	0	0	SW	11
21-Jul-2017	23	7.2	8.6	20.6	13.4	8.5	17.4	11.4	0	0	SW	14
22-Jul-2017	23.7	6.2	8.4	21	14.6	8	16.6	13.6	0	0	W	8
23-Jul-2017	24.5	8.5	10.4	22.4	14.8	9.9	17	14.4	0	0	SW	20
24-Jul-2017	24.5	9.2	9.9	22.6	15.4	9.6	17.6	15.2	0	0	NW	20
25-Jul-2017	24	6.4	9	23	15	8.8	18.2	14.8	0	0	SW	11
26-Jul-2017	24.2	9.2	10.4	23.8	15.6	9.6	17.7	14.3	0	0	W	6
27-Jul-2017	23.5	11	12	22.4	14	11.7	16.8	11.9	0	.4	W	8
28-Jul-2017	23.5	10.8	11.5	22.7	14.9	11.4	15.2	12	0	0	SW	11
29-Jul-2017	24	11.3	11.6	20.2	14	11.5	14.8	11.8	0	0	NW	4
30-Jul-2017	24.7	10.8	11.2	22	14	11	16	11.6	0	0	SW	6
31-Jul-2017	23.5	10.9	11.3	22.5	15	11	14.4	11.9	0	0	SW	14

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística
 * Informacion sin Control de Calidad
 * El uso de esta Informacion es bajo su entera Responsabilidad

A topografia da região favorece a formação de um sistema de vento local conhecido como Montanha-Vale, no qual o fluxo do vento ao longo das encostas da montanha é no sentido da montanha durante o dia e no sentido do vale durante a noite (Defant 1951).

Observa-se na Tabela 1 acima que a direção dos ventos predominantes as 13:00 horas nos dias do incêndio florestal foi do SW e W, alcançando uma velocidade de até 20 m/s. O fluxo do vento no sentido da montanha durante o dia proporcionou condição favorável para a dispersão do incêndio da parte baixa para a alta ao longo das encostas da montanha.

SW e W é a orientação do vale do Rio Urubamba na direção da confluência com o Rio Ahobamba, em referência a localização da estação meteorológica de Machupicchu.

CONCLUSÃO

Os dados multitemporais do satélite Landsat demonstraram mais uma vez a sua capacidade e eficácia na detecção e avaliação de áreas queimadas por incêndios florestais.

Nesta pesquisa, foram utilizadas imagens do Landsat 5 de 22/06/1988 e 25/06/1988 e do Landsat 8 de 30/08/2013 e 8/07/2017 e 24/07/2017 cobrindo a região da Lacta de Machupicchu.

Essas imagens multitemporais do Landsat permitiram a delimitação das áreas queimadas por incêndios florestais ocorridos nas proximidades da Lacta de Machu Picchu em 1988, 2013 e 2017. Foram calculadas as áreas e perímetros das áreas queimadas por esses incêndios florestais. Também foi calculada a proximidade do limite da área queimada em 2017 com relação à localização dos principais sítios arqueológicos e caminhos Inka encontrados na região.

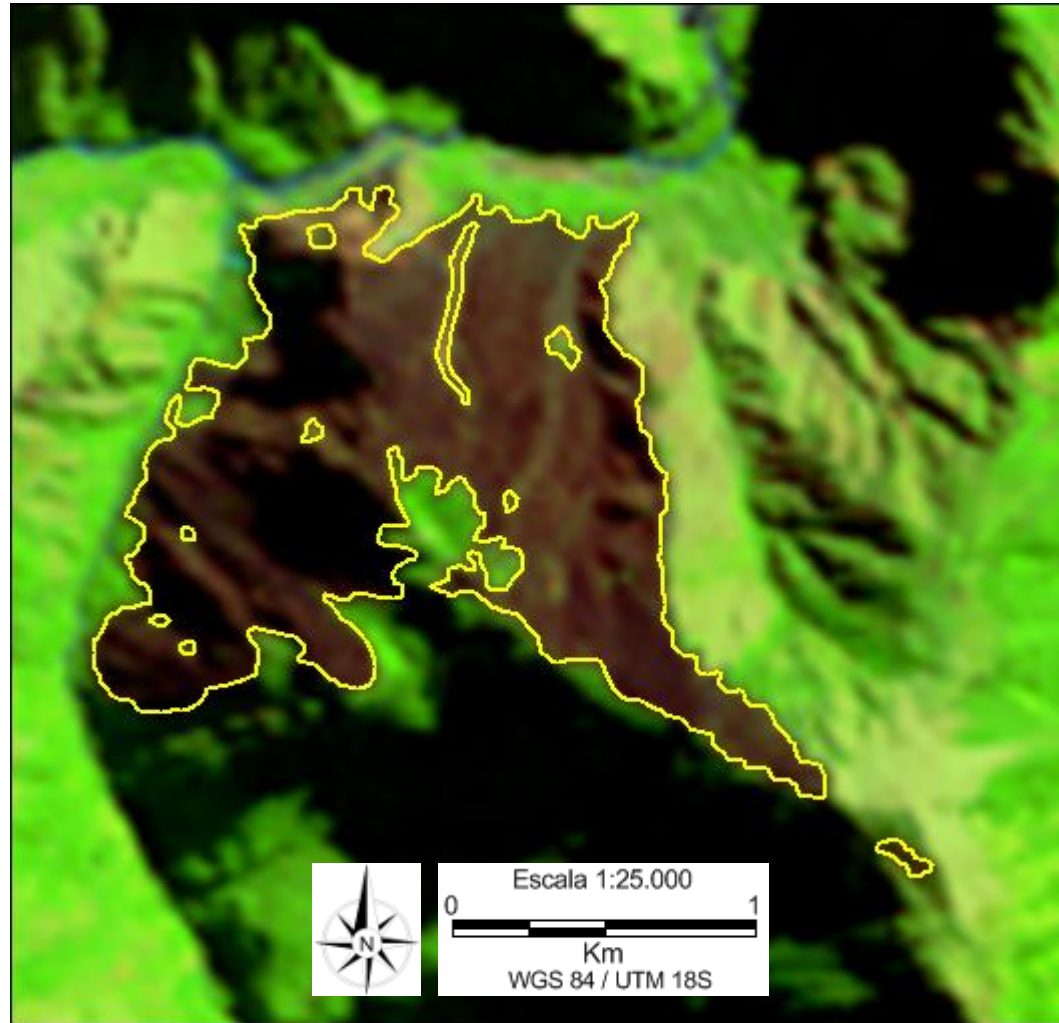
Em ordem de magnitude, o maior incêndio foi o de 2017 com uma área queimada de quase 347,3 Ha, seguido pelo de 1988 com 215,9 Há de área queimada e o menor de 2013 tendo apenas 21,85 Ha de área queimada.

Como foi preliminarmente informado pela Direção Descentralizada de Cultura de Cusco (DDCC 2017), não houve nenhum monumento arqueológico na parte alta do incêndio que poderia ser afetado pelo incêndio florestal de 20 a 24 de julho de 2017.

Conforme sobreposição de camadas de informação geográfica e o limite da área queimada pelo incêndio florestal de 2017 pode-se afirmar que este incêndio florestal não alcançou nenhum dos principais sítios arqueológicos da região. Na parte baixa, a mancha do incêndio florestal está a uma distância de 130 metros do sítio arqueológico Intiwatana, localizado entre aproximadamente 1.850 e 1.900 metros de altitude. Na parte alta, a mancha do incêndio florestal está a uma distância de 330 metros do sítio arqueológico Quantupata, localizado a quase 3.350 metros de altitude, e a 370 metros do sítio arqueológico Intipata, situado a 2.850 metros de altitude.

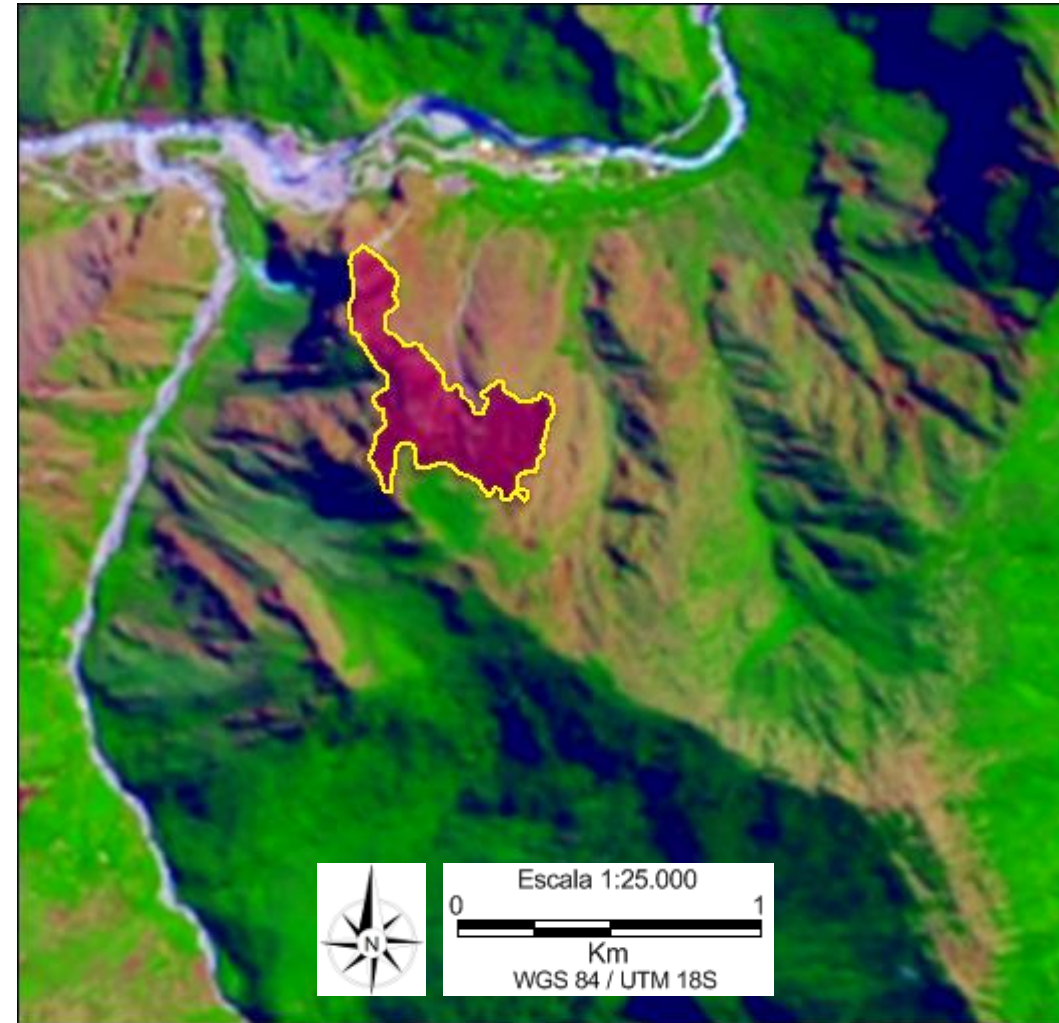
Da mesma forma pode-se dizer que o incêndio florestal de 2017 não alcançou nenhum dos principais caminhos Inka. Na parte alta (3.300 a 3.400 metros de altitude), a mancha do incêndio florestal está a 420 metros do caminho Inka. A uma altitude 2.830 metros, a mancha do incêndio florestal está a 230 metros do caminho Inka.

As imagens do Landsat utilizadas na detecção das áreas queimadas pelos incêndios florestais de 1988, 2013 e 2017 foram obtidas pelo satélite nos meses de junho, julho e agosto, indicando que os incêndios florestais ocorreram nos meses mais secos na região da Lacta de Machupicchu. Os fortes ventos colaboraram para a dispersão do incêndio desde a parte baixa até a parte alta das encostas localizadas na confluência dos rios Urubamba e Ahobamba.



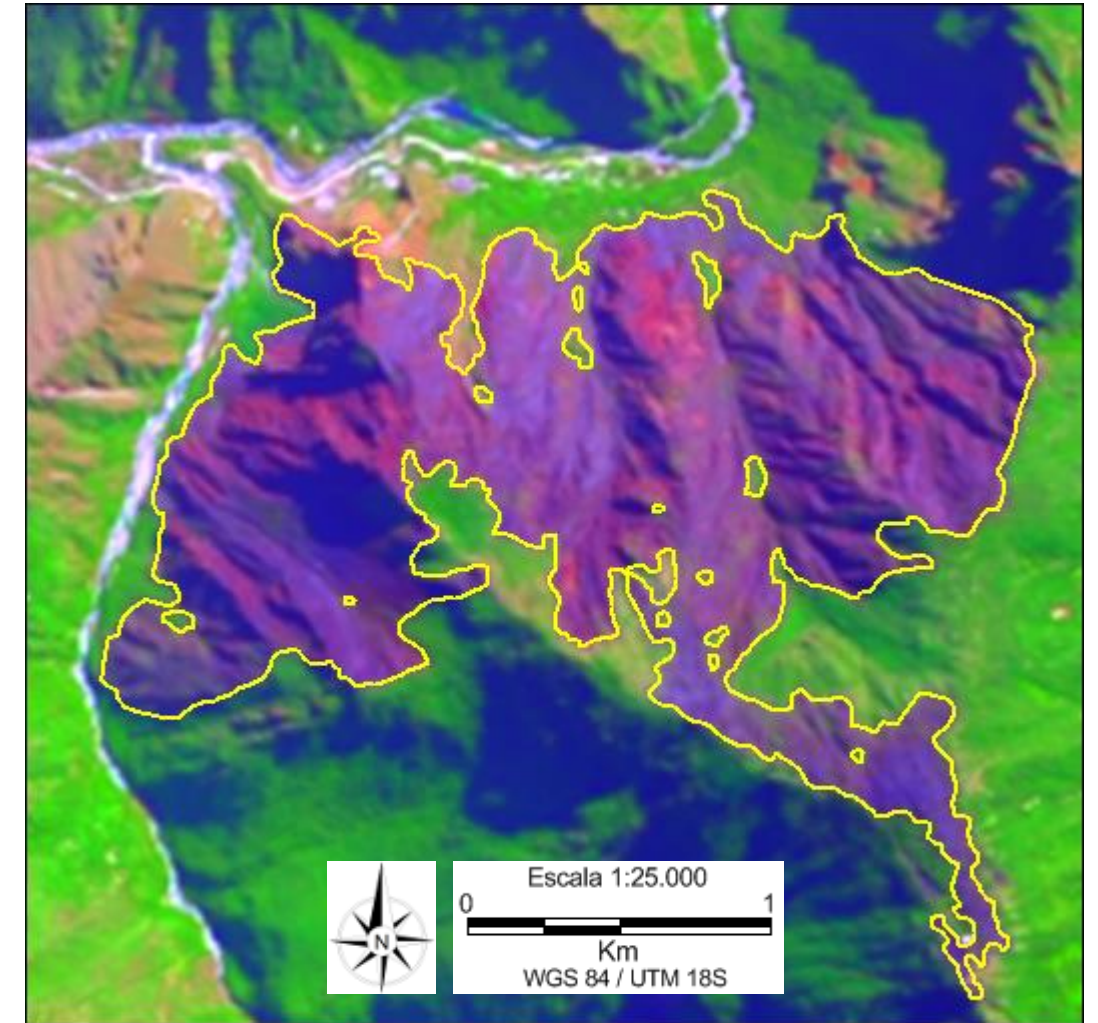
Incêndio Florestal 1988

- Área queimada: 215,9 Ha
- Perímetro: 16,29 Km



Incêndio Florestal 2013

- Área queimada: 21,85 Ha
- Perímetro: 3,43 Km



Incêndio Florestal 2017

- Área queimada: 347,3 Ha
- Perímetro: 22,26 Km

Fig. 25: Polígonos das áreas queimadas por incêndios florestais nas proximidades da Llacta de Machupicchu em 1988, 2013 e 2017 sobrepostos em imagens do satélite Landsat 5 de 22/06/1988 e do Landsat 8 de 30/08/2013 e 24/07/2017.

A visualização tridimensional da sobreposição do polígono da área queimada do incêndio florestal de 2017 em imagem do Landsat 8 e modelo digital de terreno (MDT) permite uma clara visão da extensão do incêndio no terreno e a sua proximidade a Lacta de Machupicchu, assim como o grau de dificuldade encontrado pela brigada de incêndio no combate deste incêndio florestal.

A sobreposição dos polígonos das áreas queimadas pelos incêndios florestais de 1988, 2013 e 2017 constata que esses incêndios ocorreram no mesmo local. É de grande importância que seja determinada a fonte que tem causado esses incêndios florestais no mesmo local para evitar a sua recorrência no futuro.

Segundo relatou o Chefe do Parque Arqueológico de Machupicchu, antropólogo Fernando Astete Victoria, não se conhece o responsável ou causa deste incêndio (DDC 2017).

O incêndio florestal de 2017 abrangeu a maior área e chegou mais próximo de sítios arqueológicos e caminho Inka entre os incêndios ocorridos nas proximidades da Llacat de Machupicchu até o presente.

A região tem vasto recurso cultural compreendido por vários importantes sítios arqueológicos e a rede de caminhos Inka. Um incêndio florestal de maiores proporções colocará em risco este recurso cultural.

Um estudo do impacto do incêndio florestal de 2017 na flora e fauna da região também é importante que seja realizado.

Graças à rápida ação e ao grande esforço dos bombeiros florestais, que tiveram de combater um incêndio em encostas íngremes e a altas altitudes, o incêndio florestal foi contido em 24 de julho de 2017. Foram cinco dias de trabalho árduo coordenado e articulado pelos bombeiros florestais do Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu (PANM).



Fig. 26: Grupo de bombeiros florestais que participaram das ações de combate ao incêndio florestal nas proximidades da Llacta de Machupicchu. Ao centro, Sr. David Gayoso García, Prefeito da Municipalidade Distrital de Machupicchu, e sua esposa. Fotografia tomada em 24 de julho de 2017.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao United States Geological Survey (USGS) pela disponibilidade de dados do satélite Landsat e ASTER GDEM, que é um produto do METI e NASA, ao Instituto Geográfico Nacional do Peru (IGN) pela disponibilidade de dados cartográficos, a Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco (DDCC) pelos dados disponíveis do Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu (PANM) e ao Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia (SENAMHI) do Peru pelos dados da estação meteorológica de Machupicchu.

REFERÊNCIAS

Chohfi, R.E. 1989 **Multidate Review of Images of the Machu Picchu Archaeological Park, Peru (1911-1988)**. Presented, SELPER IV Latin American Symposium on Remote Sensing, 19 a 24 de novembro, Bariloche, Argentina, Sociedade de Especialistas Latino-Americanos em Sensoriamento Remoto (SELPER).

DDCC 2011 **Santuario Histórico de Machupicchu: Sitios Arqueológicos y Caminos, Proyecto de Georeferenciación P.A.N.M.** Cusco: Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco (DDCC), Ministério de Cultura del Peru.

DDCC 2017 **Cultura Cusco Moviliza Bomberos Forestales Ante Incendio Iniciado en Quebrada de Aobamba** (quinta-feira, 20 de julho de 2017). Cusco: Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco (DDCC), Ministério de Cultura del Peru (<http://www.culturacusco.gob.pe/noticia/imagen/cultura-cusco-moviliza-bomberos-forestales-ante-incendio-iniciado-en-quebrada-de-aobamba/>, accessed on 01/21/2018).

DDCC 2018 **Área Funcional del Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu.** Cusco: Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco (DDCC), Ministério de Cultura del Peru (<http://www.culturacusco.gob.pe/area-funcional-del-parque-arqueologico-nacional-de-machupicchu/>, accessed on 01/15/2018).

Defant, F. 1951 **Compendium of Meteorology**, pp. 663–665. Boston: American Meteorological Society (AMS).

GDAL 2017 **GDAL Pansharpen.** GDAL/OGR 2.2.2 release. Geospatial Data Abstraction Library (<http://www.gdal.org/>, accessed on 01/30/2017).

IGN 1998 **Carta Topográfica del Peru na Escala 1:100.000, Hoja MACHUPICCHU Nº 336.** Código 100: 27q, Código Internacional: 2344 (Peru-IGN-2344-27q). Lima: Instituto Geográfico Nacional del Peru.

PE-274 2013 **Machu Picchu – Map of Inscribed Property. PE-274 Historic Sanctuary of Machu Picchu.** Lima: Ministerio de Cultura del Perú.

NASA 2018 **The World Reference System.** Landsat Science (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-worldwide-reference-system/>, accessed on 01/13/2018).

Richards, J.A. 1986 **Remote Sensing Didital Image Processing: An Introduction.** New York: Springer-Verlag.

UNESCO 2017 **Historic Sanctuary of Machu Picchu. World Heritage List.** Paris: World Heritage Center, UNESCO. (<http://whc.unesco.org/en/list/274>, accessed on 02/18/2018)

USGS 2017a **Landsat Missions**. Boulder: U.S. Geological Survey (USGS) (<https://landsat.usgs.gov/>, accessed on 10/29/2017).

USGS 2017b **ASTER Global DEM V2, Global Data Explorer**. Boulder: U.S. Geological Survey (USGS) (<https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>, accessed on 10/29/2017).

FONTES DAS FOTOGRAFIAS

Fig. 1: <https://br.pinterest.com/>

Fig. 3: https://scontent.fsjk2-1.fna.fbcdn.net/v/t1.0-9/20229178_1700962679945394_6575527347320215199_n.jpg?oh=5432bbb54fcf8283942c716d92333b24&oe=5A21A40D

Fig. 4: https://scontent.fsjk2-1.fna.fbcdn.net/v/t1.0-9/20264548_1700962683278727_7750126714775332864_n.jpg?oh=dcbaeda2f3e37baabf23abe9f4271717&oe=5A2D8191

Fig. 5: Foto de Javier Clemente
<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10212146205564638&set=p.10212146205564638&type=3&theater>

Fig. 6: https://scontent.fsjk2-1.fna.fbcdn.net/v/t1.0-9/20264950_1705792846129044_6968924335782079364_n.jpg?oh=e0a3ad116a092a51a743e1a35897cce8&oe=5A19FFA0

Fig. 7: https://scontent.fsjk2-1.fna.fbcdn.net/v/t1.0-9/20265077_1705793012795694_7469083221441048833_n.jpg?oh=171a4100a438aeec151954d55f8c7f4c&oe=5A23AED6

Fig. 8: https://scontent.fsjk2-1.fna.fbcdn.net/v/t1.0-9/20292817_1705793079462354_7271380003152581509_n.jpg?oh=46ac66ec7a0e9539946e429ba091c6f9&oe=5A1DB33D

Fig. 26: <https://munimachupicchu.gob.pe/index.php/component/k2/item/28-alcalde-de-machupicchu-felicita-a-los-bomberos-forestales>