



Drone na Auditoria Ambiental: Potencialidades e Aplicações
Drone in the Environmental Audit: Potentialities and Applications

Cristiano Alves da Silva¹; Cynthia Romariz Duarte²;
José Antonio Beltrão Sabadia[†] & Michael Vandesteen Silva Souto²

¹Departamento Nacional da Produção Mineral, Superintendência CE,
Rua Dr. José Lourenço, 905, 60115-281, Meireles, Fortaleza, CE, Brasil

²Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia,
Bloco 912, Campus do Pici, Av. Mister Hull, s/n, 60440-554, Pici, Fortaleza, CE, Brasil
E-mails: geocristiano@gmail.com; cynthia.duarte@ufc.br; michael.souto@ufc.br

Recebido em: 04/08/2018 Aprovado em: 25/08/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_207_215

Resumo

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), conhecidas popularmente como Drones, são ferramentas capazes de gerar produtos de sensoriamento remoto de elevada acurácia, com grande perspectiva de potencial para utilização no processo de Auditoria Ambiental, executando tarefas antes exclusivas de aeronaves tripuladas. Entretanto, por se tratar de uma tecnologia relativamente recente, justifica-se a necessidade de ponderar a aplicabilidade do seu uso em estudos ambientais, sendo o objetivo deste artigo, avaliar as potencialidades e aplicações do uso de Drones no processo de Auditoria Ambiental, bem como apresentar uma metodologia para aquisição dos dados e identificação dos impactos ambientais, elencando as conformidades e não-conformidades do empreendimento auditado, dando subsídio para um planejamento efetivo de ações para minimização dos impactos. Os ortomosaicos gerados pelo Drone, neste estudo de caso, foram utilizados para realizar uma auditoria de conformidade, embasada na legislação e regulamentos aplicáveis, sendo uma ferramenta fundamental para verificar a real situação da mineradora mediante a legislação vigente no país, dando subsídio a implementação de ações corretivas das não-conformidades detectadas. Diante dos resultados obtidos foi possível concluir que o Drone apresentou dados promissores de forma rápida e a baixo custo, demonstrando ser uma importante ferramenta em auditorias ambientais, fornecendo informações necessárias para realização de um planejamento efetivo e implementação de ações corretivas das não-adequações detectadas, considerando o princípio da reparabilidade de dano ambiental, que obriga o poluidor e o predador a recuperar e/ou indenizar os danos causados.

Palavras-chave: VANT; Sensoriamento remoto; Mineração; Rejeito

Abstract

Remotely Aircrafts (RA), popularly known as Drones, are capable tools to generate highly accurate remote sensing products with a great potential perspective for use in the Environmental Audit process, performing previously exclusive tasks of manned aircrafts. However, because it is a relatively recent technology, it is justified the need to consider the applicability of its use in environmental studies. The purpose of this article is to evaluate the potentialities and applications of Drones in the Environmental Audit process, as well is present a methodology for data acquisition and identification of environmental impacts, listing the conformities and nonconformities of the audited enterprise, giving subsidy for an effective planning of actions to minimize impacts. Orthomosaics generated by the Drone in this studied case was used to carry out a compliance audit, based on the applicable legislation and regulations, being a fundamental tool to verify the real situation of the mining company through the legislation in force in the country, giving support to the implementation of corrective actions of detected nonconformities. In view of the obtained results it was possible to conclude that Drone presented promising quickly and low cost data, proving to be an important tool in environmental audits, providing necessary information to carry out an effective planning and implementation of corrective actions of detected non-adjustments, considering the principle of reparability of environmental damage, which obliges the polluter and the predator to recover and/or indemnify the damages caused.

Keywords: UAV; Remote sensing; Mining; Tailing

1 Introdução

Diante da importância da Auditoria Ambiental como instrumento de gestão responsável por determinar a natureza e a extensão de um determinado impacto ambiental, o sensoriamento remoto surge como um instrumento fundamental de diagnóstico e monitoramento, sendo capaz de gerar informações sobre alvos na superfície terrestre, sem que ocorra contato físico entre estes alvos e o sensor. Dentre as ferramentas utilizadas para esta finalidade, vem ganhando destaque o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), abreviatura do inglês “*Remotely Piloted Aircraft*”, amplamente conhecidas como Drone (do inglês Zangão) ou Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT).

Trabalhos como os de Ribeiro-Júnior (2011), Ferreira (2014) e Silva *et al.* (2015, 2016) demonstram que a fotogrametria digital, realizada com câmera de pequeno formato aerotransportada por Drones, utilizando o processo correlação de imagens sobrepostas devidamente orientadas, é um produto com precisão e confiabilidade compatíveis com as obtidas pela aerofotogrametria convencional.

De acordo com Silva *et al.* (2014), os *softwares* de processamento fotogramétrico desenvolvidos para imagens de Drones tem um alto grau de automatização, maior que na fotogrametria convencional, com a utilização de *softwares* vindos da visão computacional, que, com base na correlação de imagens, realizada por meio de medições de similaridade entre as imagens sobrepostas, identifica as coordenadas tridimensionais (x, y, z) da superfície fotografada. Contudo, esta ainda é uma tecnologia emergente, sujeita a muitas indagações sobre seu uso em estudos ambientais.

Neste contexto, este artigo teve como objetivo principal avaliar as potencialidades e aplicações do uso de Drones no processo de Auditoria Ambiental, bem como apresentar uma metodologia para aquisição dos dados e identificação dos impactos ambientais, elencando as conformidades e não-conformidades do empreendimento auditado, dando subsídio para um planejamento efetivo de ações para minimização dos impactos.

2 Referencial Teórico

O Drone é definido, de acordo com a IS nº 21-002 da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC),

como uma aeronave desenvolvida para voar sem piloto a bordo, controlada remotamente por um operador localizado em uma estação de controle em solo, desde que não utilizada para fins meramente recreativos, capazes de gerar ortomosaicos de elevada acurácia com baixo custo operacional (Silva *et al.*, 2015).

Para Oliveira (2013), a Auditoria Ambiental consiste em um processo de exame ou avaliação sistemática e independente que identifica as conformidades e as não-conformidades do auditado para com o objeto da auditoragem, sendo seu resultado um importante instrumento para o auditado melhorar continuamente sua atuação, proporcionando uma proteção cada vez maior do meio ambiente, por meio da implementação de ações corretivas das não-adequações detectadas na auditoria.

Existem diferentes formas de auditorias ambientais, que são definidas em função dos diversos objetivos a que elas se propõem. La Rovere *et al.* (2000) propõem sete classes de auditoria: (1) de certificação; (2) de descomissionamento; (3) de responsabilidade; (4) de conformidade; (5) de Sistema de Gestão Ambiental; (6) de sítios; e (7) pontual. Neste artigo, será demonstrado o uso de um Drone no processo auditoria de conformidade, que de acordo com Dutra (2007) verifica a adequação do auditado quanto aos padrões legais e/ou normativos embasado na legislação e regulamentos aplicáveis.

3 Procedimentos Metodológicos

Como área de estudo foi escolhida uma área degradada pela mineração de calcário laminado, explorada para fabricação de lajotas in natura, comercializada com o nome de “Pedra Cariri”, no município de Nova Olinda no Estado do Ceará (Figura 1).

De acordo com Silva (2015), a exploração da Pedra Cariri representa uma importante atividade econômica para as populações locais, figurando em alguns casos como a única alternativa de renda para os agricultores locais no período de estiagem, mas que possui como característica a baixa taxa de recuperação, estimada em apenas 40% de todo o material explorado, gerando um grande volume de rejeito

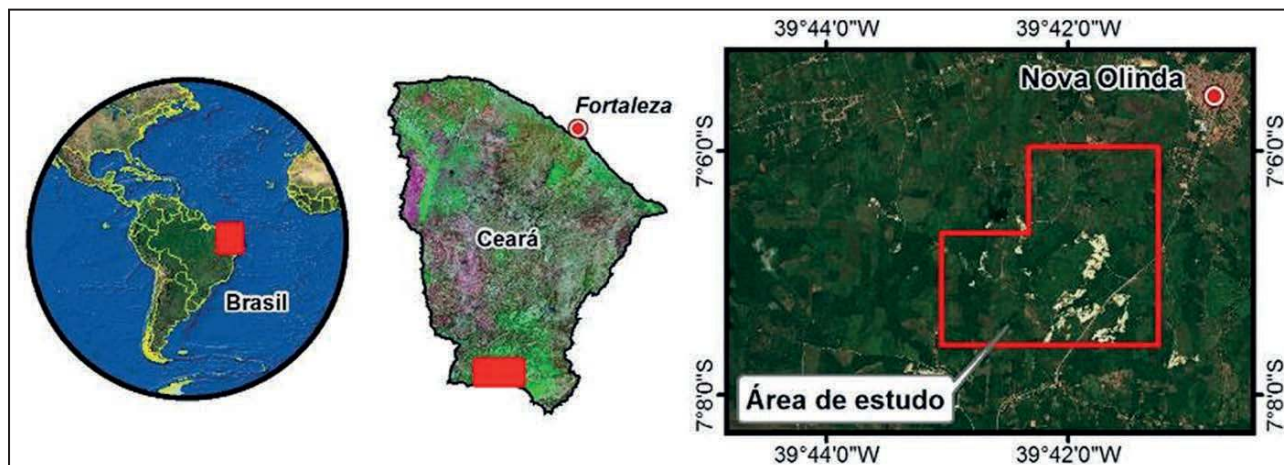


Figura 1 Localização da área de estudo.

em todas as etapas de produção, que na maioria das vezes é disposto de forma inadequada, assoreando rios e destruindo Áreas de Preservação Permanente (APP), isto em uma região onde prevalece a escassez hídrica (Figura 2).

O Drone utilizado neste trabalho (Figura 3) foi desenvolvido pela Universidade de Brasília (UnB) em parceria com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), tendo como principais características uma envergadura de 1,90 m, 45 min de autonomia de voo, equipada para captura das aerofotos com uma câmera digital de pequeno formato não métrica Sony Cyber-Shot DSC-RX100,

capacidade de carga paga (*payload*) de 700 g e peso total de 2,5 kg.

A metodologia empregada neste estudo de caso está dividida em quatro etapas: (1) planejamento de voo; (2) execução do voo; (3) pós-voo e (4) Auditoria Ambiental. Conforme ilustradas no fluxograma da Figura 4 e descritas em detalhe na sequência.

A etapa de planejamento de voo envolve a definição do alvo a ser sobrevoado, sendo posteriormente verificadas as condições necessárias para realização do voo, tais como fatores meteorológicos (vento e chuva), assim como autorização de voo das



Figura 2 Leito de rio assoreado pelo rejeito da Pedra Cariri.



Figura 3 Drone desenvolvido pela UnB em parceria com o DNPM. No detalhe, a câmara não métrica, modelo DSC-RX100, para captura das aerofotos.

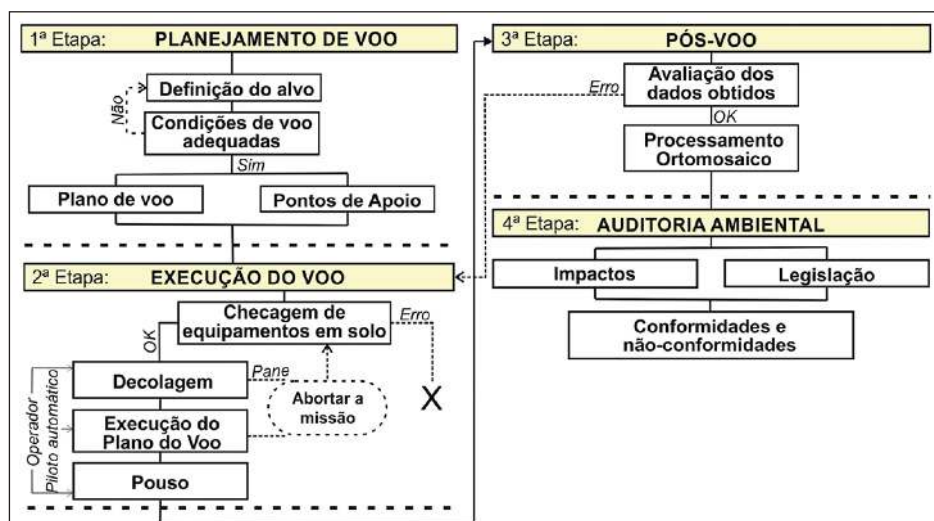


Figura 4 Fluxograma da metodologia empregada (adaptado de Silva, 2015).

autoridades competentes. A autorização para este trabalho se deu por meio da solicitação de um NOTAM (acrônimo de “Notice to Airmen”, que significa “Aviso aos Aeronavegantes”) ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), órgão ligado a Aeronáutica. O objetivo deste documento foi estabelecer um espaço aéreo segregado para operação do Drone, ficando proibida a operação em espaço aéreo compartilhado com aeronaves tripuladas, garantindo a segurança da navegação aérea.

Com todas as condições de voo adequadas, foi realizado o plano voo, a ser executado pelo piloto automático do Drone, e a pré-sinalização da área do sobrevoo, que consistiu em materializar em campo uma marcação artificial no terreno possível de ser identificada nas fotografias aéreas com objetivo de

proporcionar medições mais precisas das coordenadas dos pontos de apoio necessários para orientação das aerofotos obtidas pelo Drone.

A etapa de execução do voo inicia com a checagem dos equipamentos em solo, na hipótese de detecção de algum problema, por medida de segurança, a operação é cancelada. A decolagem é feita através de lançamento manual, ou seja, sem a necessidade de pista, dando maior mobilidade para operações em locais de difícil acesso. Ao atingir a altura de voo estabelecida no planejamento, o operador aciona o piloto automático, que imediatamente irá executar o plano de voo elaborado na etapa anterior. Vale salientar que durante esta fase o Drone opera de forma automática, mas não autônoma, sendo possível a intervenção do operador a qualquer momento.

Toda a operação do Drone foi controlada pela base de solo, que recebe em tempo real o vídeo da câmera frontal e os dados de telemetria (altitude, velocidade, localização, número de satélites captados pelo GPS e carga da bateria), conforme ilustrado na Figura 5.

O Drone utilizado neste trabalho está equipado com equipamentos de segurança, como a função de retorno para a base ou RTH (do inglês *returning to home*), acionada em caso de perda de sinal da base; e de um localizador via satélite que permite encontrar o equipamento, em caso de pane em que o avião não consiga retornar. A função RTH também é acionada automaticamente quando o plano de voo é finalizado, fazendo com que a aeronave retorne e realize voo em círculos sobre a base até que o operador assuma o comando e realize o procedimento de pouso.

Na etapa pós-voo é feita uma avaliação dos dados coletados, (fotografias e *track* do GPS). Nas fotografias verifica-se a qualidade da imagem quanto ao contraste e nitidez, e para o *track*, se toda a trilha do voo foi gravada sem interrupções e se durante o voo, devido ao vento, o Drone não se distanciou demasiadamente da linha planejada, causando perda no recobrimento lateral das fotografias.

De posse dos dados de voo inicia-se a fase de processamento para geração da nuvem de pontos que será a base para posterior geração do MDT, utilizando

do o *software* Agisoft Photoscan, solução baseada na tecnologia de reconstrução 3D *multiview*.

As três etapas básicas do processamento com o Photoscan são: (1) calibração automática da câmera – com base nos dados do EXIF das fotografias; (2) alinhamento das fotos – a partir dos pontos em comum entre as fotografias e pontos de apoio de solo; (3) geração da nuvem de pontos – com base correlação de imagens, feita por meio de medições de similaridade entre as imagens sobrepostas, são identificadas as coordenadas tridimensionais (x, y, z) da superfície fotografada.

Na etapa de Auditoria Ambiental, a partir dos ortomosaicos gerados pelo Drone, foi realizada uma auditoria de conformidade, identificando os impactos ambientais existentes à luz da legislação e regulamentos aplicáveis, permitindo elencar as conformidades e não-conformidades da mineração de calcário em Nova Olinada/CE, dando subsídio para um planejamento efetivo de ações de controle, visando à minimização dos impactos.

4 Análise e Discussão

O sobrevoo com Drone para Auditoria Ambiental da área de exploração de Pedra Cariri em Nova Olinda/CE foi executado a 200 m de altura, sendo capturadas 152 fotografias em 4 linhas de voo

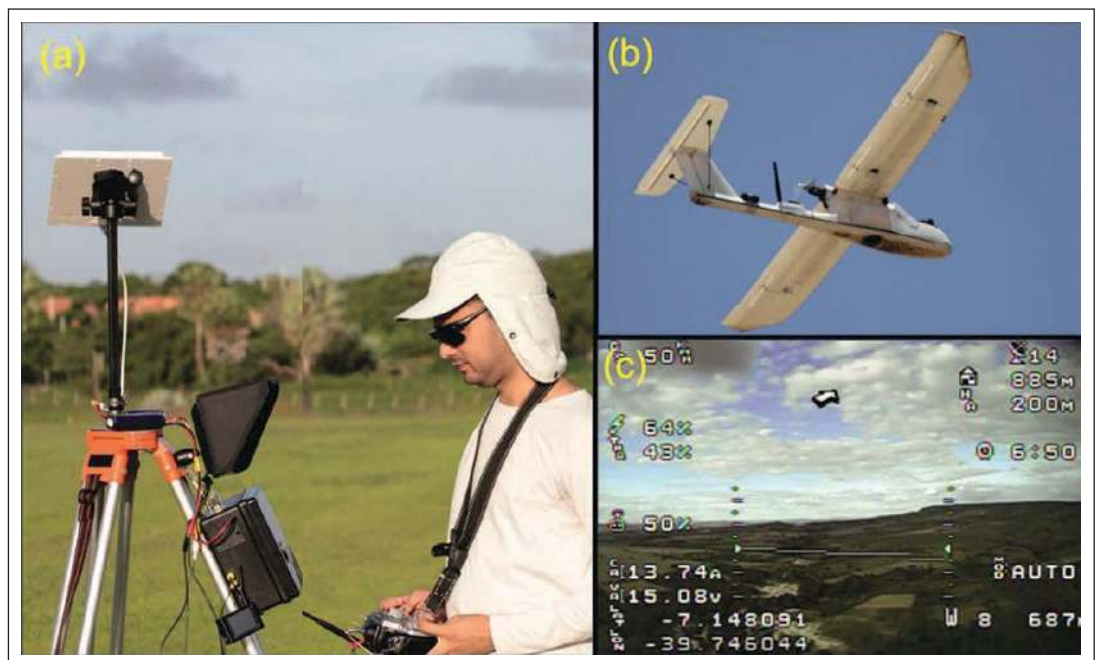


Figura 5 Drone em operação; (a) base de solo; (b) Drone; (c) vídeo recebido na base de solo (modificado de Silva, 2015).

com 80% de recobrimento longitudinal e 60% lateral, que após processadas deram origem a um ortomosaico de 5 cm de resolução espacial (Figura 6) e Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) classe A para escala de 1/300 (Tabela 1).

Sobre os ortomosaicos gerados pelo Drone, foram mapeadas todas as áreas de extração e pilhas de rejeito, bem como os recursos hídricos e suas respectivas APP, além de uma rodovia que corta a área

Características do Voo	Valores Observados
Altura do voo em relação à base	200 m
Resolução espacial do ortomosaico	0,05 m
Intervalo de tomada das fotografias	2 s
Área de cobertura da foto no solo	264 x 176 m
Número de fotos	152
Linhas de voo executadas	4
Recobrimento longitudinal	80%
Recobrimento lateral	60%
Padrão de Exatidão Cartográfica	Classe A Escala 1/300

Tabela 1 Características do voo realizado.

de estudo e sua faixa de domínio. Com base neste mapeamento foi possível realizar uma Auditoria Ambiental, com base na legislação ambiental pertinente, sendo identificada a não observância do novo Código Florestal, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, no que tange a proteção das APP, cuja lei em seu inciso II do Art. 3º define como área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. No caso da área de estudo, cortada pelos Riachos Alegre, S. Riachão, Jacu e Caboré, todos com calha inferior a 10m, aplica-se o disposto na alínea a, inciso II do Art. 4º, que enquadra como APP a faixa marginal de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de 30 (trinta) metros.

Também foi aplicada a legislação que trata sobre ocupação da faixa de domínio de rodo-



Figura 6 Ortomosaico gerado pelo Drone do DNPM com 5 cm de resolução.

vias estaduais no Ceará, onde prevalece o disposto na Lei nº 13.327/2003, que em seu Art. 2º define como faixa de domínio a base física sobre a qual se assenta uma rodovia, constituída pelas pistas de rolamento, canteiro central, obras de arte, acostamentos, sinalização e faixa lateral de segurança, cuja largura para este estudo de caso, de acordo com a Resolução nº 3/1978 do extinto Conselho Rodoviário do Ceará, ratificada pela Resolução nº 233/2002 do DERT/CE, é de quarenta (40) metros, sendo vinte (20) metros para cada eixo da rodovia, considerando tratar-se de região plana.

Neste contexto, a região minerada da área de estudo é de 83,05 ha, estando em conformidade com a área autorizada pelo DNPM, de 816,95 ha, que corresponde a uma intervenção direta de apenas 10,17% da área licenciada. Entretanto, excluindo as

áreas não passíveis de exploração, APP de 63,34 ha, e faixa de domínio da rodovia estadual CE-166 de 7,49 ha, este percentual de intervenção sobe para 11,13%.

No tocante as não-conformidades, foi mapeada uma área de 36,02 ha recoberta por rejeito, o que corresponde a 43,37% da área ocupada pela mineração do calcário laminado (83,05 ha), denotando o grave problema que é acúmulo deste material, dificultando as operações de lavra e principalmente sua disposição inadequada em APP, assoreando rios e invadido a faixa de domínio da CE-166 (Figura 7), sendo identificados 3,94 ha de APP degradadas, desta área, 0,91 ha estão ocupados com rejeito da exploração da Pedra Cariri, que também recobrem 0,11 ha da faixa de domínio da CE-166, conforme descrito na tabela contida no mapa da Figura 8.

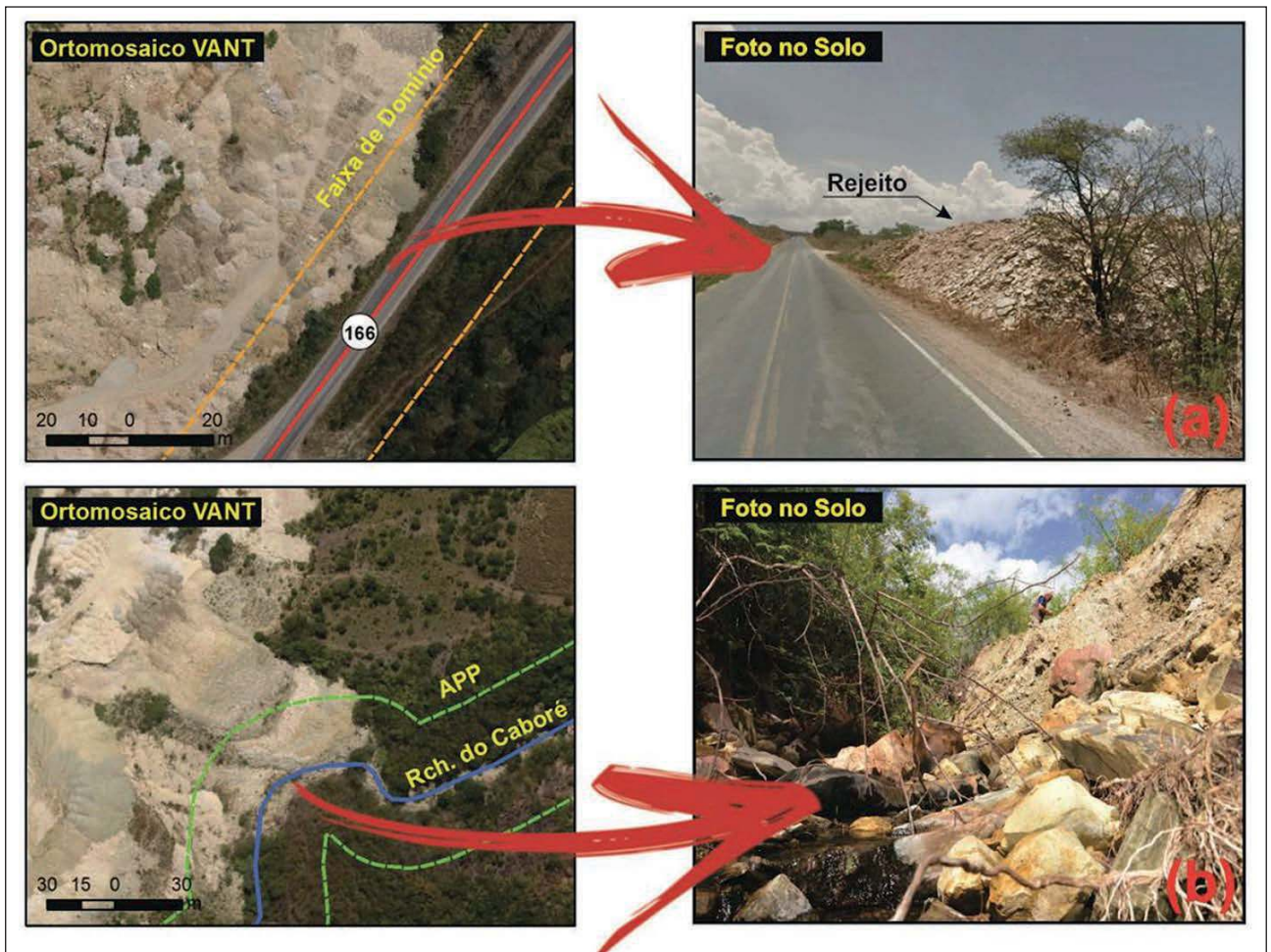


Figura 7 Não-conformidades detectadas; (a) rejeito acumulado dentro da faixa de domínio da CE-166; (b) pilha de rejeito avançando sobre a APP e barrando o Riacho Caboré.

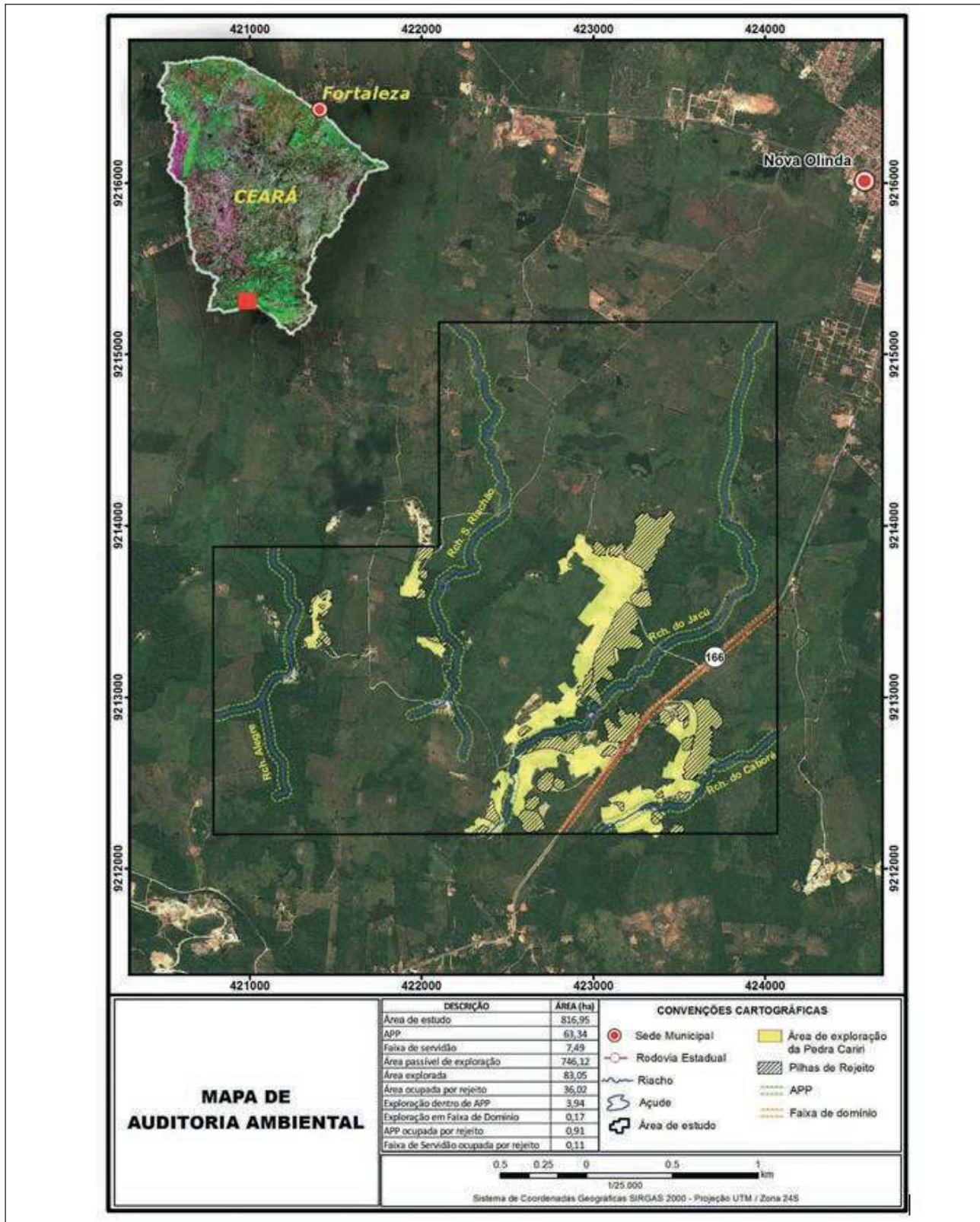


Figura 8 Mapa de auditoria ambiental.

5 Considerações Finais

Diante dos resultados obtidos é possível concluir que o Drone empregado neste trabalho apresentou dados promissores de forma rápida e a baixo custo, demonstrando ser uma ferramenta promissora em auditorias ambientais, fornecendo o subsídio necessário para promoção de um planejamento efetivo das ações corretivas para recuperação das APP, retirando o rejeito destas áreas e da faixa de domínio da rodovia, considerando o princípio da reparabilidade de dano ambiental, estampado em vários dispositivos legais, iniciando-se na Constituição Federal, Art.225, §3º, em que se diz que as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, as sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados. Bem como o Art. 4º VII, da Lei 6.938/81, que também obriga o poluidor e o predador a recuperar e/ou indenizar os danos causados.

Em suma, no tocante as potencialidades e aplicações do Drone no processo de Auditoria Ambiental, vale ressaltar seu uso na: (1) conformidade com a legislação ambiental; (2) fiscalização, por parte dos gestores públicos, de empreendimentos potencialmente degradadores do meio ambiente; (3) identificação e documentação do cumprimento de políticas, diretrizes e padrões ambientais; (4) avaliação, controle e redução do impacto ambiental; (5) prevenção de acidentes ambientais; (6) assessoramento aos gestores na implementação da qualidade ambiental do auditado; e (7) identificação e registro das conformidades e das não-conformidades com a legislação, com regulamentações e normas e com a política ambiental do auditado (caso exista).

6 Agradecimentos

A Superintendência do DNPM no Ceará, em especial o escritório do Centro de Pesquisas Paleon-

tológicas da Bacia do Araripe (CPCA) pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

7 Referências

- Dutra, L.M. 2007. Auditoria Ambiental e Conformidade Legal na Gestão Ambiental em Refinarias de Petróleo. *Revista Ciências Exatas*, 13(1): 59-67.
- Ferreira, A.M.R. 2014. *Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – VANT, para uso em aerolevantamentos*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, 97 p.
- La Rovere, E.L.; D'Avignon, A.L.A.; Pierre, C.V.; Kligerman, D.C.; Silva, H.V.O.; Barata, M.M.L. & Malheiros, T.M.M. 2000. *Manual de Auditoria Ambiental*. Rio de Janeiro, Qualitymark. 152 p.
- Oliveira, C.M. 2013. *Manual de Auditoria Ambiental - CONAMA, ISO, EMAS, e Auditorias Compulsórias Estaduais*. 2ª ed. São Paulo, Editora Cultura. 416 p.
- Ribeiro Júnior, S. 2011. *Determinação de volumes em atividades de mineração utilizando ferramentas do sensoriamento remoto*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Tese de Doutorado, 161p.
- Silva, C.A. 2015. *Avaliação da acurácia dos ortomosaicos e modelos digitais do terreno gerados por VANT e sua aplicação no cálculo de volume de pilhas de rejeito da Pedra Cariri*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Dissertação de Mestrado, 146p.
- Silva, C.A.; Duarte, C.R.; Souto, M.V.S.; Santos, A.L.S.; Amaro, V.E.; Bicho, C.P. & Sabadia, J.A.B. 2016. Avaliação da acurácia no cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LIDAR. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 22(1): 73-94.
- Silva, C.A.; Souto, M.V.S.; Duarte, C.R.; Bicho, C.P. & Sabadia, J.A.B. 2015. Avaliação da acurácia dos ortomosaicos e modelos digitais do terreno gerados pelo μ VANT/DNPM. *Revista Brasileira de Cartografia*, 67(7): 1495-1511.
- Silva, D.C.; Toonstra, G.W.A.; Souza, H.L.S. & Pereira, T.A.J. 2014. Qualidade de ortomosaicos de imagens de VANT processados com os softwares APS, PIX4D e Photoscan. *In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO*, 5, Recife, 2014. *Anais*, Recife, UFPE, p. 747-754.