

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

IMAGEAMENTO TRIDIMENSIONAL DE UM *BLOWOUT* EM NÍSIA FLORESTA, LITORAL ORIENTAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Verônica Dantas de Araújo^{1,2}, Yoe Alain Reyes Perez^{1,5}, Leonardo Menezes¹, Anderson de Medeiros Souza², Ronaldo Cavalcante Freire^{1,5}, Marcus Vinicius de Medeiros Moura¹, Daniel Siqueira de Gauw¹, Daniel Alexander Silva dos Santos¹, Ana Paula M. R. Pelosi³, Valéria Centurion Córdoba⁴, Francisco Pinheiro Lima Filho.⁴

¹ UFRN/Pós-graduando PPGG/GEA

² UFRN/ANP-PRH-22/GEA

³ UFRN/GEA/Bolsista DTI-CNPq

⁴ UFRN/PPGG/DG/GEA (Grupo de Estudo de Análogos a Reservatórios Petrolíferos),
Campus Universitário, Lagoa Nova, Caixa Postal: 1639, CEP 59078-970, Natal/RN, Brasil,

e-mail: pinheiro@geologia.ufrn.br

⁵ Bolsista CAPES

Resumo – A caracterização da geometria interna de sistemas de dunas é fundamental na formulação de modelos evolutivos. O GPR (*Ground Penetrating Radar*) vem ampliando espaço nestas pesquisas, permitindo o imageamento da geometria interna de dunas eólicas, com alta resolução e dezenas de espessura. Esta técnica foi utilizada na Praia de Búzios (litoral oriental do RN), onde ocorrem campos de dunas com extensas áreas de *blowouts* e formação de dunas de *blowout* na porção mais afastada do litoral. Além da determinação da geometria interna das dunas e interdunas, foi realizada também a caracterização da geometria externa dessas feições utilizando-se GPS Geodésico. A interpretação dos radargramas permitiu o reconhecimento de 04 “radar fácies”, bem como a determinação de superfícies limitantes de 04 ordens. Os radargramas foram georreferenciados e visualizados com auxílio do *software* GoCad, possibilitando a caracterização da geometria 3D dos depósitos eólicos estudados. As geometrias obtidas podem ser utilizadas para comparação com outras adquiridas em depósitos análogos a reservatórios petrolíferos. Identificadas as analogias é possível parametrizar as formas geométricas dos depósitos e gerar modelos estocásticos que simulem o desconhecido espaço interpoços em campos petrolíferos de origem eólica como, por exemplo, aqueles que ocorrem na Bacia do Amazonas e na Bacia Tucano-Jatobá.

Palavras-Chave: GPR; *blowouts*; geometria 3D; reservatórios petrolíferos

Abstract – The internal geometry characterization of dune systems has been fundamental for development of evolution models. The GPR (*Ground Penetrating Radar*) has been an important tool in such studies, producing high resolution images of internal geometry of aeolian dunes. This technique was applied in Búzios beach (eastern coast of Rio Grande do Norte State), where occur field dunes with extensive blowouts areas and blowout dunes formation in portion far away from coast. The GPS Geodesic was also useful in this study for characterization of dune and interdune geometries. Through the radagram interpretation was recognized 4 radar-facies and was characterized limit surfaces of 4 orders. These radargrams were georeferenced and visualized in GoCad software, being possible the 3D geometry characterization of studied aeolian deposits. The obtained results can be used for comparison with similar deposits analogue to petroleum reservoirs. Such analogy could possible to get a parameter of feature geometric and the development of stocastic models that simulate the unknown space between wells in petroleum fields of aeolian origin, such as those, which occur in the Amazonas and Tucano-Jatobá basins.

Keywords: GPR, blowouts, geometry 3D, petroliferous reservoirs

1. Introdução

O uso intensivo do GPR (*Ground Penetrating Radar*) em investigações sedimentológicas é bastante recente, tendo início apenas na década passada. Esta tecnologia vem ganhando forte aceitação entre os sedimentólogos e estratígrafos, pois possibilita a aquisição rápida de informações em subsuperfície rasa de depósitos sedimentares não consolidados (Neal & Roberts 2001). Anteriormente, a caracterização das estruturas internas de dunas era feita apenas a partir da exposição natural em cortes ou pela abertura de trincheiras em depósitos recentes, o que limitava as informações, já que a profundidade da trincheira estava restrita ao nível do lençol freático local. Assim, a utilização do GPR vem preencher esta lacuna, tornando-se bastante eficaz na determinação da arquitetura crono-estratigráfica e da geometria dos corpos sedimentares, em especial de depósitos eólicos. Desta forma, mostra-se importante na aquisição de geometrias para elaboração de modelos de formação e migração de dunas eólicas costeiras, podendo ser ressaltados os trabalhos de Schenk *et al.* (1993), Harari (1996), Bristow *et al.* (2000), Neal & Roberts (2001), Oliveira Jr. (2001) e Silva (2002).

2. Caracterização Geomorfológica da Área Estudada

O sistema de dunas descrito neste trabalho, que compreende um conjunto de dunas fixas e ativas, localiza-se próximo à Praia de Búzios, no município de Nísia Floresta - RN. Na região de dunas fixas, ocorrem acumulações eólicas do tipo parabólica (no geral com 0,4 a 3,0 km de comprimento por 0,3 a 0,5 km de largura), com morfologias simples do tipo Grampo (chegando a aproximadamente 1,6 km de extensão e 0,2 km de largura) e compostas do tipo Digitada (com extensão de 1 km e largura de 0,8 km máximos). Ocupando as áreas interdunares, são comuns pequenas lagoas, estando algumas delas na parte interna das dunas parabólicas.

A região de dunas ativas, ilustrada na Figura 1, é representada por *blowouts* ou corredores de vento (extensão de 0,4 a 0,8 km e largura máxima de 0,25 km), dunas de *blowouts* (de 0,3m de comprimento e 0,2 km de largura máxima) e dunas de sombra (*shadow dune*). Esta área encontra-se intensamente modificada pela ação antrópica, devido à ocupação por residências de parte da região dos corredores de vento. A faixa de praia pode chegar, em alguns locais, a 73 m.

3. Aquisição dos Dados em Subsuperfície com o Uso do GPR

Foram levantados perfis geofísicos, em um *blowout* de direção NW-SE, com o equipamento RAMAC da MALA GeoScience. Das seis linhas adquiridas, perfazendo um total de 2,15 km, três foram orientadas longitudinalmente ao *blowout* (incluindo também a duna de *blowout*) e três adquiridas transversalmente à duna de *blowout*, como mostra a Figura 1.

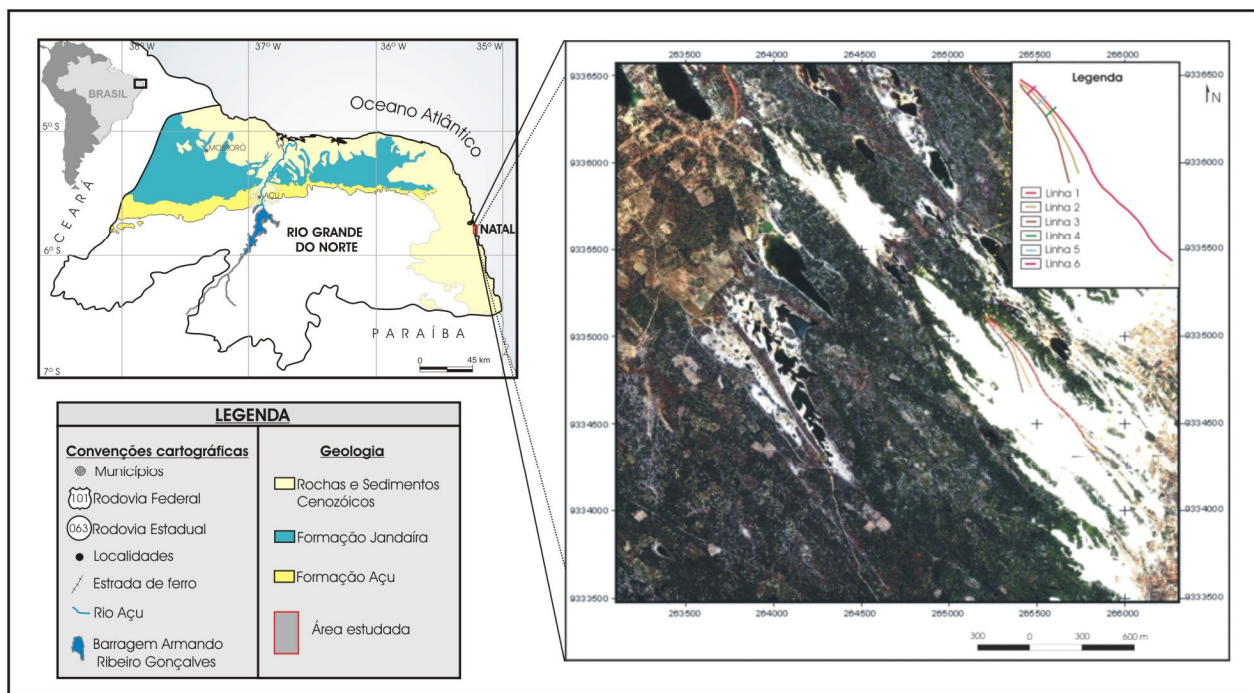


Figura 1. Localização da área estudada e dos 6 perfis de GPR adquiridos na Praia de Búzios (Imagens Ikonos ano 2002). Modificado de Mont'Alverne (1998).

Os três perfis longitudinais (linhas 1, 2, 3) apresentam extensão de 1007m, 483 e 484m, respectivamente. Já os perfis perpendiculares à duna de *blowout* (linhas 3, 4, 5), são menores e correspondem a 70, 58 e 51m. Os parâmetros de aquisição foram: (i) empilhamento de 32 vezes (o empilhamento refere-se ao número de medidas numa mesma estação), (ii) espaçamento de 0,2 m (intervalo de distância entre cada leitura) e (iii) antena com frequência de 200 MHz.

O principal objetivo foi definir a geometria 3D das dunas; tais perfis foram posteriormente utilizados na modelagem determinística. As antenas do GPR foram adaptadas a um trenó e acopladas a um quadriciclo, o qual também conduziu a estação móvel do GPS geodésico, modelo Topcon. O GPS geodésico tem dupla função na pesquisa, pois ao mesmo tempo em que localiza geograficamente os levantamentos geofísicos, permite a geração do modelo digital do terreno (MDT). A técnica RTK (*Real Time Kinematic*) é destinada ao posicionamento de alta precisão em tempo real, eliminando erros grosseiros que chegam à ordem de 22 metros em GPS comuns. Os resultados podem apresentar precisão subdecimétrica (Krueger 1996).

A penetração do sinal de GPR foi em média 13m para as linhas longitudinais e cerca de 7m para as linhas perpendiculares à duna. Com base no padrão de mergulho dos refletores, foi possível individualizar os *foresets*, superfícies limitantes que separam diferentes gerações de dunas, além de outros tipos de depósitos. O lençol freático representa um refletor facilmente identificado, servindo como um guia para as interpretações. A Figura 3 ilustra partes do procedimento e equipamentos utilizados no levantamento geofísico.

4. Interpretação Geológica dos Radargramas

Os dados de GPR foram tratados nos programas GRADIX v. 1.11 e RADAN v.4.0. A partir da digitalização e edição dos perfis utilizando o *software Corel DRAW*, foram individualizadas quatro “radar fácies”, esquematizadas na Figura 2 e descritas a seguir.

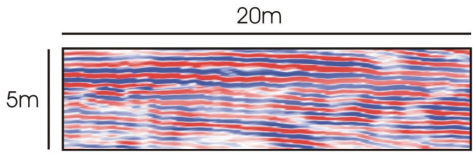
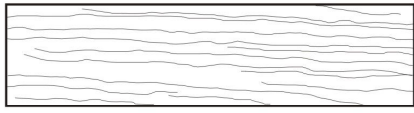
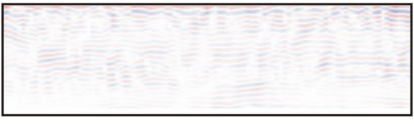
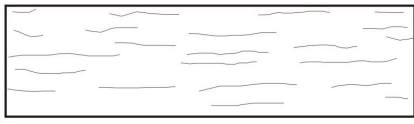
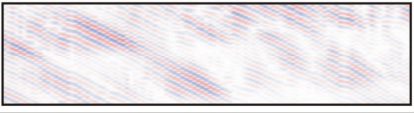
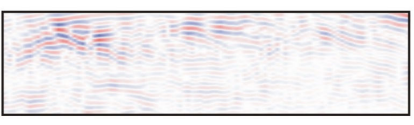
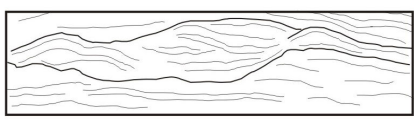
Radar Fácies	Padrão original	Padrão interpretado
R1		
R2		
R3		
R4		

Figura 2. Padrão das principais “Radar Fácies” identificadas para os perfis de GPR levantados no corredor de vento em Búzios.

- 1) Radar fácies sub-horizontal contínua (R1) – Corresponde a refletores bem marcados e subparalelos, apresentando-se frequentemente com terminação em *onlap* ou *downlap* no limite inferior, e truncamento erosional no limite superior, como observado na Figura 3. Esta fácies é mais frequente na região de dunas de *blowout*, sendo interpretada como produto do retrabalhamento da crista das mesmas.
- 2) Radar fácies sub-horizontal descontínua (R2) – Caracteriza-se por refletores subparalelos a paralelos descontínuos, impossibilitando, em muitos casos, a definição da terminação dos refletores. A interpretação sugerida é de que este padrão corresponda a lençóis de areia.
- 3) Radar fácies progradacional (R3) – Compreendem refletores oblíquos bastante proeminentes, apresentando-se com terminação em *downlap* (Figura 4) com o limite inferior, e em truncamento erosional com o limite superior. Os mergulhos dos planos frontais variam de 20 a 30 ° para NW. Esta radar fácies, comum em todas as linhas, é interpretada como os *foresets* da duna. A causa das variações observadas no mergulho é atribuída ao

plano em que a seção é vista. A direção dos mergulhos dos refletores indica o sentido da migração do sistema de dunas; condizente com a direção do vento predominante, que na área é de SE para NW.

- 4) Radar fácies montiforme (R4) – Esta fácies é caracterizada por refletores em forma de montículos. Estas feições são interpretadas como pequenas dunas (*e.g.* dunas de sombra) que foram soterradas, preservando sua forma original.

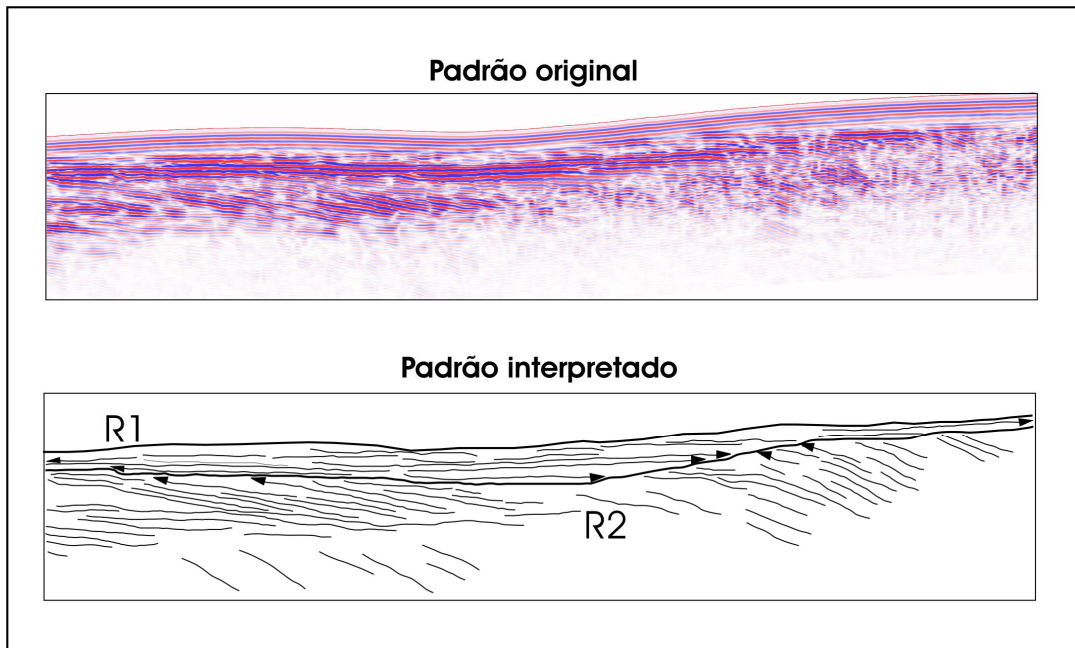


Figura 3. Terminação dos refletores em *onlap* da radar fácies R1.

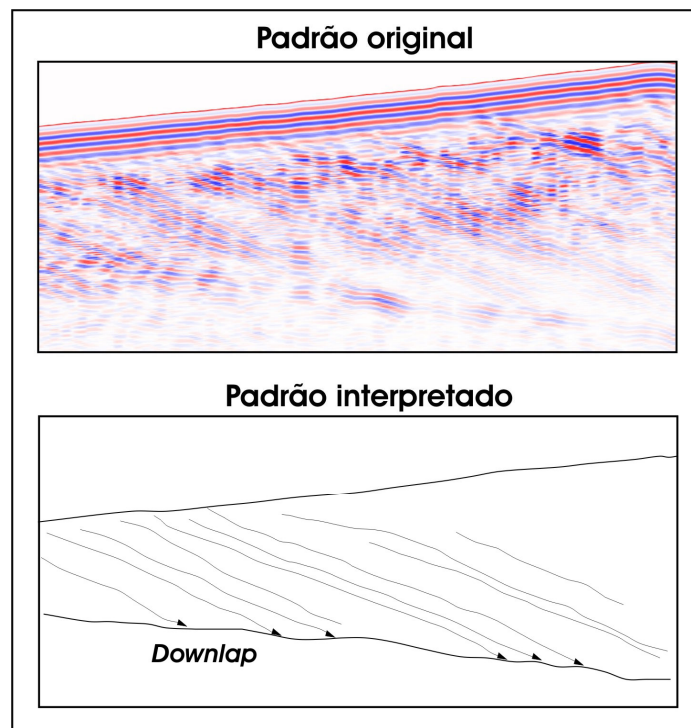


Figura 4. Terminações dos refletores observados para a radar fácies progradacional (R3).

Uma vez descritas as “radar fácies” foram interpretadas as superfícies limitantes conforme metodologia adaptada de Brooksfield (1977). A Figura 5 mostra parte da linha 1 (longitudinal ao *blowout*) e sua respectiva interpretação. As superfícies de 1ª ordem são planares ou convexas, as quais cortam estratificações cruzadas e outros tipos de estruturas de dunas. As superfícies de 2ª ordem limitam *set's* de estratificações cruzadas, e as de 3ª ordem são de pequena escala. A superfícies de 4ª ordem, neste caso, é representada pelos *foresets* (planos frontais).

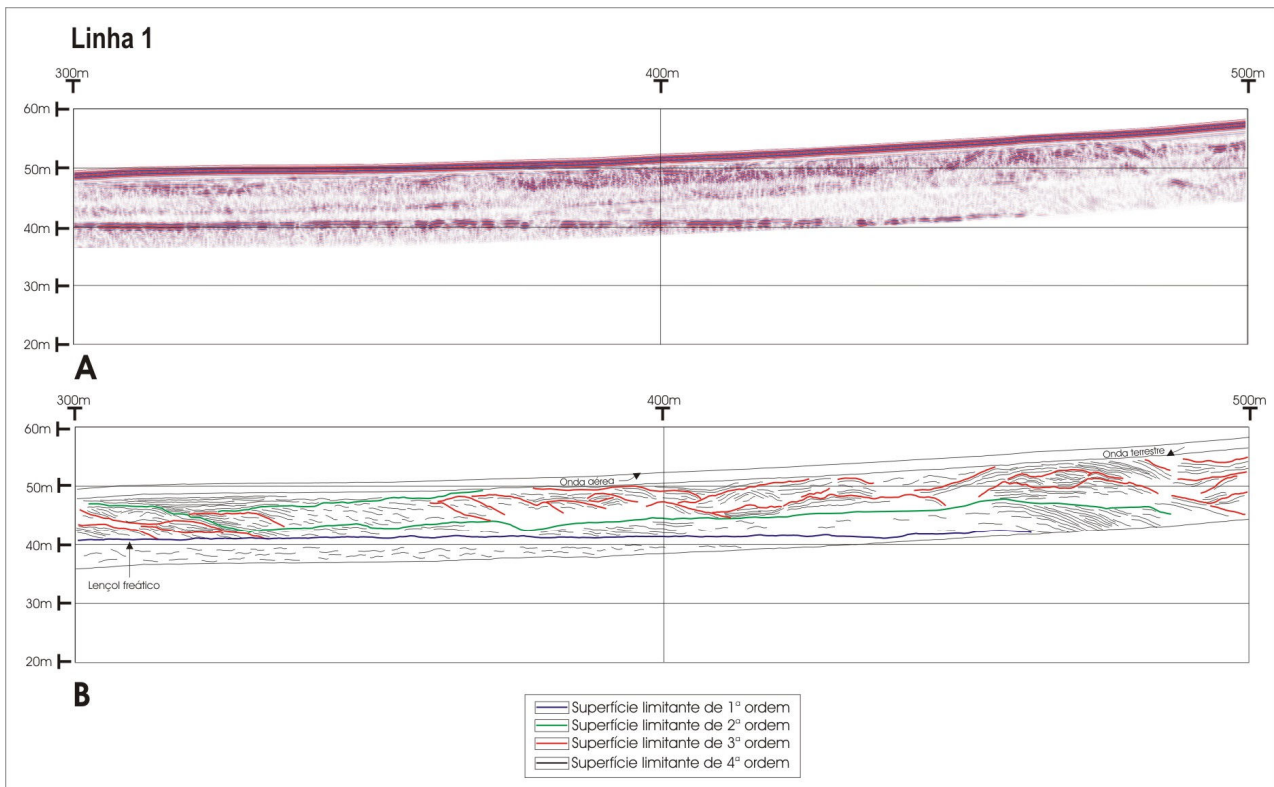


Figura 5. Visualização de parte da linha 1. A: Radargrama processado. B: Interpretação com a determinação das superfícies limitantes.

Para a modelagem determinística, foi utilizado o *software* Gocad v. 2.0.8. Inicialmente, os dados adquiridos com o GPS geodésico (coordenadas x, y e z) foram incorporados ao projeto como *Point Sets*, para gerar o Modelo Digital do Terreno, ilustrado na Figura 6A. Os perfis geofísicos e suas respectivas interpretações foram posteriormente geoposicionados em ambiente 3 D a partir da técnica *Drape*, que rebate para um plano tridimensional as informações adquiridas em duas dimensões, como observado na Figura 6B.

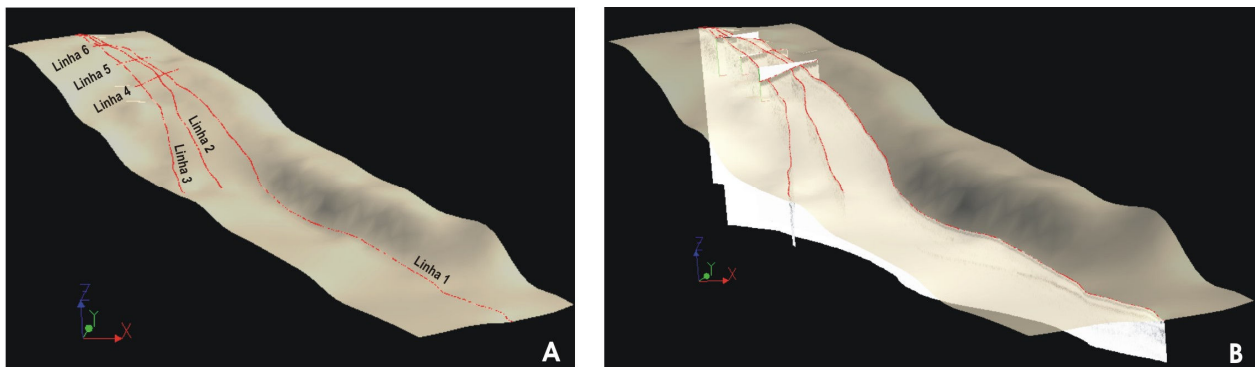


Figura 6. Visualização dos perfis geofísicos no software Gocad. A: Geração do MDT (Modelo Digital do Terreno). As linhas em vermelho correspondem aos perfis geofísicos obtidos. B: Linhas geoposicionadas em ambiente virtual.

6. Considerações Finais

O GPR é uma ferramenta poderosa na aquisição de dados sobre a estrutura interna de sistemas de dunas, sendo de grande valia na determinação de modelos evolutivos para estes depósitos sedimentares recentes. A interpretação dos radargramas permitiu diferenciar gerações de dunas, bem como determinar a hierarquia das superfícies limitantes, contribuindo, portanto, para um melhor entendimento do seu arcabouço crono-estratigráfico. As geometrias adquiridas poderão ser utilizadas em simulações estocásticas, fornecendo assim um modelo mais próximo do real, onde se conheça melhor a geometria de reservatórios petrolíferos de origem eólica, permitindo assim uma melhor exploração destes recursos energéticos.

7. Referências

- BRISTOW, C. S., CHROSTON, P. N., BAILEY, S. D. The structure and development of foredunes on a locally prograding coast: insights from ground penetrating radar surveys, Norfolk, UK. *Sedimentol.*, v. 47, p. 923-944, 2000.
- BROOKFIELD, M. E. The origin of bounding surfaces in ancient aeolian sandstones. *Sedimentology*, v. 24, p. 303-332. 1977.
- HARARI, Z. Ground Penetrating Radar (GPR) for imaging stratigraphic features and groundwater in sand dunes. *J. Appl. Geophys.*, v. 36, p. 43-52, 1996.
- KRUEGER, C. P. Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho. Geociências, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Tese de Doutorado em Ciências Geodésicas. 1996.
- MONT'ALVERNE, A. A. F., JARDIM DE SÁ, E. F., DERZE, G.R., DANTAS, J. R. A., VENTURA, P. E. O. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande Do Norte. Escala 1:500.000. Natal, DNPM/UFRN/PETROBRÁS/CRM. 1998.
- NEAL, A., ROBERTS, C. L. Internal structure of a trough blowout, determined from migrated ground-penetrating radar profiles. *Sedimentology*, v. 48, p. 791-810, 2001.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. G. Dois testes de imageamento com GPR em problemas de Controle Ambiental em regiões tropicais: migração de dunas e localização de dutos de óleo enterrados. Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 56p. 2001.
- SCHENK, C. J., GAUTIER, D. L., OLHOEFT, G. R., LUCIUS, J. E. Internal structure of an aeolian dune using ground-penetrating radar. In: Pye, K., Lancaster, N. Eds., *Aeolian Sediments Ancient and Modern*. Spec. Publ. Int. Assoc. Sedimentol., v. 16, p. 61-69, 1993.
- SILVA, E. A. J. As Dunas Eólicas de Natal – Datação e Evolução. Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 56p. 2002.