

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE CIMENTAÇÃO POR MEIO DA
PERFILAGEM ACÚSTICA CBL/VDL: ESTUDO DE CASO DO
POÇO ESCOLA 1-GWL-1-RN**

AUTORES:

Natalino da Silva Souza^{1,3}, Evelyn Kailanny Campelo de Oliveira^{1,3}, Paloma Andrade Rebouças^{1,3}, Lucas Silva Pereira Sátiro², Leonardo Carvalho de Montalvão², Gilvandro César de Medeiros², Cláudio Regis dos Santos Lucas^{1,3}

INSTITUIÇÃO:

¹Faculdade de Engenharia/CAMPUSSAL/UFPA, ²Geowelllex do Brasil Serviços Petrolíferos, ³Laboratório de Ciência e Engenharia de Petróleo (LCPetro)

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE CIMENTAÇÃO POR MEIO DA
PERFILAGEM ACÚSTICA CBL/VDL: ESTUDO DE CASO DO
POÇO ESCOLA 1-GWL-1-RN**

Resumo

A perfuração de poços de petróleo envolve várias etapas críticas, incluindo a cimentação, que é essencial para a sustentação mecânica e isolamento das zonas permeáveis do poço. Fatores como o tipo de fluido no anular, rugosidade da parede do tubo, filme de lama, canalizações na interface, tempo de pega e volume de cimento influenciam a aderência do cimento. Para subsidiar o controle da aderência da cimentação em poços de petróleo, uma variedade de ferramentas e métodos são empregados, incluindo tecnologias acústicas, como o CBL/VDL (Perfil de aderência de cimento/densidade variável). O presente trabalho traz como objetivo avaliar a aderência do cimento nas interfaces cimento-revestimento-cimento-formação do poço escola onshore 1-GWL-1-RN, através das técnicas de interpretação dos perfis CBL/VDL integradas a dados de poço. O poço foi perfurado pela empresa Geowellex na cidade de Macaíba/RN, e foi desenvolvido para permitir a qualificação de recursos humanos e a validação de tecnologias em diversos contextos relacionados à perfuração de poços. É um poço raso, com aproximadamente 120 m de profundidade, perfurado com broca de 12 ¼", e revestido com revestimento Grau K-55 (OD = 9 5/8"; Peso = 36 lb/pé), em fase única e situado numa zona de formação arenítica. A densidade da pasta foi de 13,0 lb/gal e a cimentação foi realizada por gravidade, intencionalmente anormal, para permitir estudos de avaliação da qualidade da cimentação. A análise dos perfis CBL/VDL identificou cinco intervalos de profundidade com falhas: A, B, C, D, E, F e G. Os intervalos A (6-37 m) e G (113-116 m) apresentaram amplitudes médias de 50 mV e 40 mV, respectivamente, com azul do *Radial Bond* indicando anular livre de cimento. Os intervalos B (54-58 m), C (62-64 m), D (97-98 m) e E (101 m) mostraram amplitudes médias de 23 mV, 25 mV, 23 mV e 22 mV, respectivamente, com *Radial Bond* variando de amarelo a azul claro, indicando aderência parcial do cimento. O intervalo F (108-112 m) teve amplitude média de 42 mV, com *Radial Bond* variando de azul intenso a amarelo, sugerindo má aderência. Este estudo alcançou seu objetivo de investigar a cimentação do poço utilizando a ferramenta CBL/VDL/GR/CCL, visando validar tecnologias em diversos contextos relacionados à perfuração de poços. Demonstrou ainda que a cimentação atípica, visando um *mindset* de P&D para estudo no poço em questão, foi realizada com eficácia, mantendo o critério de segurança.

Palavras-chave: Perfilagem acústica; CBL/VDL; Cimentação.

Abstract

Drilling oil wells involves several critical steps, including cementing, which is essential for mechanical support and isolation of the well's permeable zones. Factors such as the type of fluid in the annulus, roughness of the tube wall, mud film, channeling at the interface, setting time, and cement volume influence cement adhesion. To support the control of cement adhesion in oil wells, a variety of tools and methods are employed, including acoustic technologies like the CBL/VDL (Cement Bond Log/Variable Density Log). This work aims to evaluate the cement adhesion at the cement-casing-cement-formation interfaces of the onshore school well 1-GWL-1-RN through the interpretation techniques of CBL/VDL logs integrated with well data. The well was drilled by Geowellex in the city of Macaíba/RN and was developed to enable the qualification of human resources and the validation of technologies in various contexts related to well drilling. It is a shallow well, approximately 120 m deep, drilled with a 12 ¼" bit and cased with Grade K-55 casing (OD = 9

5/8”; Weight = 36 lb/ft), in a single stage and located in a sandstone formation zone. The slurry density was 13.0 lb/gal, and the cementing was carried out by gravity, intentionally abnormal, to allow studies evaluating cementing quality. The analysis of the CBL/VDL logs identified five depth intervals with failures: A, B, C, D, E, F, and G. Intervals A (6-37 m) and G (113-116 m) presented average amplitudes of 50 mV and 40 mV, respectively, with blue Radial Bond indicating a cement-free annulus. Intervals B (54-58 m), C (62-64 m), D (97-98 m), and E (101 m) showed average amplitudes of 23 mV, 25 mV, 23 mV, and 22 mV, respectively, with Radial Bond ranging from yellow to light blue, indicating partial cement adhesion. Interval F (108-112 m) had an average amplitude of 42 mV, with Radial Bond ranging from deep blue to yellow, suggesting poor adhesion. This study achieved its goal of investigating the well's cementing using the CBL/VDL/GR/CCL tool, aiming to validate technologies in various contexts related to well drilling. It also demonstrated that the atypical cementing, aiming for an R&D mindset for studying the well in question, was effectively carried out while maintaining safety criteria.

Keywords: Acoustic logging; CBL/VDL; Cementing.

Introdução

A perfuração de poços de petróleo é um processo complexo, composto por várias etapas críticas para garantir a segurança e eficácia da operação (Skogdalen; Vinnem, 2012). Uma dessas etapas fundamentais é a cimentação do poço, realizada após a conclusão de cada fase de perfuração (Vlachou; Piau, 1997). Durante a cimentação, um tubo de aço conhecido como revestimento é descido no poço, e entre este tubo e a parede do poço (formação geológica) é aplicado o cimento (Lécolier *et al.*, 2007). A cimentação desempenha um papel crucial na sustentação mecânica do poço, isolando as zonas permeáveis e corrigindo anomalias da perfuração (Nelson, 1990). Essa medida é essencial para assegurar a integridade estrutural do poço e minimizar vazamentos de fluidos indesejados (Garnier *et al.*, 2007).

Vários fatores podem influenciar a aderência do cimento nas interfaces revestimento-formação, como o tipo do fluido no anular, a rugosidade da parede externa do tubo, canalizações na interface, o tempo de pega e o volume de cimento projetado (Jutten; Hayman, 1993; Nygaard, 2010). Para garantir um controle eficaz da aderência da cimentação em poços de petróleo, diversas ferramentas e métodos são empregados, incluindo tecnologias sônicas e ultrassônicas (Allouche, 2006). Entre as ferramentas mais utilizadas está o CBL/VDL (Perfil de Aderência de Cimento/Perfil de Densidade Variável). O CBL/VDL é amplamente reconhecido como a ferramenta de aquisição mais econômica e rápida para avaliar a qualidade da cimentação (Prashant, 2021). Tornou-se uma técnica de perfilagem essencial e vital, empregada antes de testes de poço ou operações de produção, e é crucial durante operações de *workover* para avaliar a integridade do revestimento antes de desviar o poço (Kiy *et al.*, 2015).

O CBL/VDL é uma técnica de registro acústico que se baseia na atenuação da impedância acústica do cimento e do fluido de perfuração (ou água) nas ondas acústicas que se propagam ao longo do eixo do revestimento, refletindo a integridade da ligação entre o cimento e o revestimento (Pardue; Morris, 1963). Esta ferramenta registra três medidas simultâneas: o tempo de trânsito, o sinal de amplitude do revestimento e o trem de ondas. Além disso, o perfil pode acompanhar as curvas de

Raios Gama (GR) e do Localizador de Uniões ou Luvas (CCL) (Fertl; Pilkington; Scott, 1974). Os dados registrados são processados para obter estimativas de vários parâmetros que descrevem o estado dos componentes do poço, como o revestimento e o cimento (Jutten; Corrigan, 1989). A partir desses resultados, pode-se interpretar o potencial do poço para isolamento hidráulico.

O presente trabalho traz como objetivo principal a avaliação da aderência do cimento na interface cimento-revestimento-cimento-formação do poço escola onshore 1-GWL-1-RN, através das técnicas de interpretação dos perfis CBL/VDL integrada a dados de poço. Esse projeto foi desenvolvido com o intuito de permitir a qualificação de recursos humanos e a validação de tecnologias em variados contextos relacionados à perfuração de poços da empresa Geowellex do Brasil Serviços Petrolíferos.

Metodologia

Perfuração e completação

O poço escola 1-GWL-1-RN foi perfurado na cidade de Macaíba, Rio Grande do Norte, pela empresa Geowellex. Este é um poço raso e vertical, com profundidade total de 120 m. A perfuração foi realizada em fase única, utilizando uma broca de diâmetro 12 1/4".

O revestimento utilizado foi do tipo Grau K-55, com diâmetro externo (OD) de 9 5/8", diâmetro interno (ID) de 8,9202" e peso de 36 lb/ft. A cimentação foi realizada por gravidade, de forma intencionalmente anormal, para permitir estudos de avaliação da qualidade da cimentação. O topo da cimentação no anular foi projetado para ficar a 30 m de profundidade, enquanto a sapata foi posicionada a 119,04 m de profundidade. A pasta de cimento foi projetada para ter uma densidade de 13,2 lb/gal; contudo, após a mistura, a densidade final medida foi de 13,0 lb/gal.

Avaliação da Qualidade de Cimentação

Para avaliação da aderência do cimento nas interfaces cimento-revestimento-cimento-formação foi empregada a perfilagem acústica CBL/VDL. A caracterização das leituras foi realizada metro a metro no poço e apresentado em uma carta, onde cada leitura é dividida em um segmento ou faixa (*Track*). Além disso, as ferramentas típicas de testes da perfilagem acústica como Gamma Ray (GR) e Localizador de Luvas (CCL) foram consideradas.

A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático da medição CBL/VDL em um modelo de revestimento único. O transmissor acústico (T) está posicionado a 3 pés do receptor R1 e a 5 pés do receptor R2. A fonte do CBL está a 3 pés de distância.

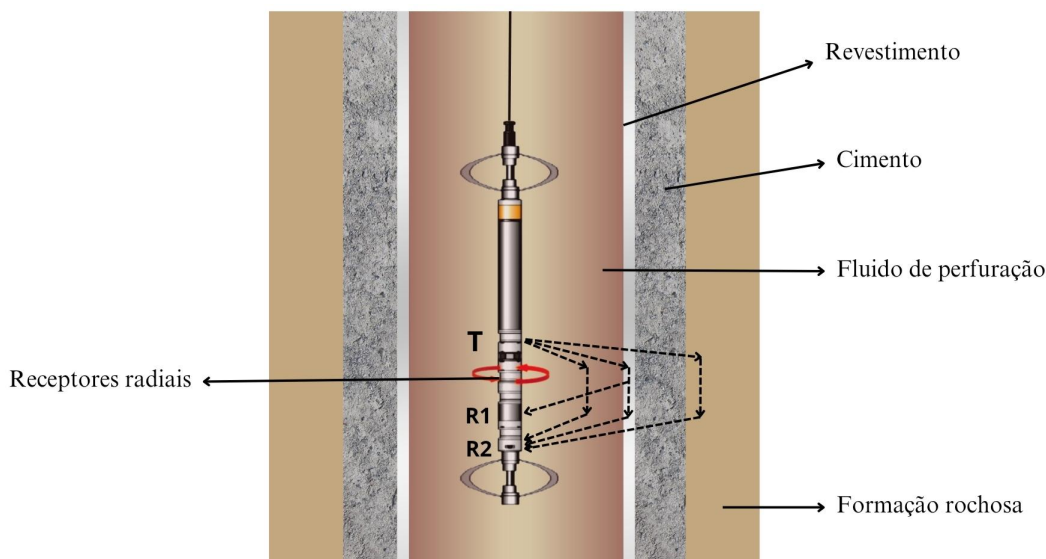


Figura 1 - Diagrama Esquemático de Medição CBL/VDL

O receptor R1 capta a onda de revestimento e registra a amplitude. A amplitude da onda frontal depende do grau de cimentação entre o cimento e a parede externa do revestimento, permitindo assim avaliar a qualidade da primeira interface (entre o revestimento e a bainha de cimento). No entanto, a qualidade da cimentação da segunda interface (entre a bainha de cimento e a formação) não pode ser determinada por esta configuração, para isso usa-se a ferramenta VDL.

O espaçamento da fonte VDL é de 5 pés. O receptor R2 capta a onda de revestimento, a onda de revestimento de cimento, a onda de formação e a onda direta (figura 1). O registro é feito através de modulação de brilho, permitindo verificar a cimentação tanto da primeira quanto da segunda interface do poço de revestimento.

Para superar as limitações da ferramenta CBL convencional, foi introduzida a ferramenta CBL *Radial Bond*, que permite uma avaliação mais precisa da distribuição do cimento e a localização exata de ligações parciais e canalizações. Esta ferramenta emprega um ou mais transdutores sensíveis azimutalmente para analisar a qualidade do cimento ao redor da circunferência do revestimento. Os dados obtidos são apresentados como imagens azimutais, também conhecidas como "mapas", da qualidade do cimento, geradas pela interpolação das medições individuais azimutais. Cada projeto de ferramenta inclui uma medição de forma de onda VDL convencional de 5 pés, fornecendo informações detalhadas sobre a ligação do cimento à formação geológica.

Resultados e Discussão

A perfilagem acústica CBL/VDL foi realizada no poço, cobrindo um trecho de 6 a 115 metros de profundidade. A análise dos perfis CBL/VDL junto ao *Radial Bond* permitiu identificar a localização exata do topo da cimentação, ocorrendo a partir de 38 metros de profundidade. Esta profundidade foi marcada por uma deflexão acentuada nas curvas do CBL, com valores tendendo a ser

inferiores a 30 mV. As imagens do *Radial Bond* mostraram faixas amareladas de tons mais escuros nesse intervalo.

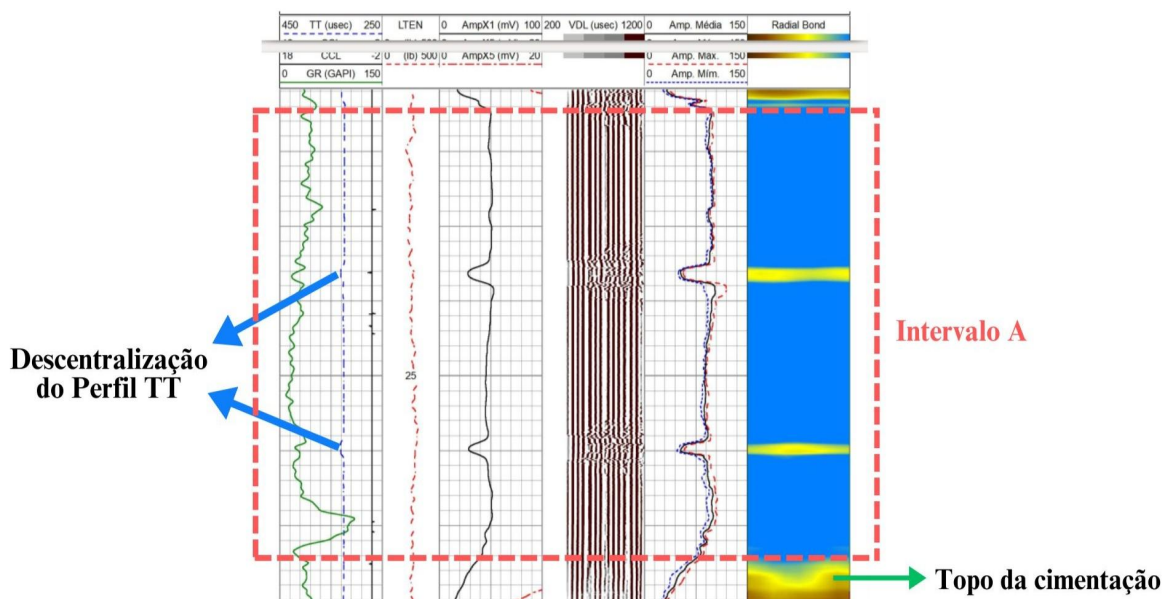


Figura 2: Perfil CBL/VDL na profundidade de 6 a 43 m

No intervalo de perfilagem entre 6 e 37 metros de profundidade, denominado de intervalo A, foram obtidos valores médios de 50 mV de amplitude no perfil CBL, com sinais fortes e retas paralelas no perfil VDL, além de faixas completamente azuis no *Radial Bond*. Esses dados indicam a presença de revestimento livre, ou seja, a ausência de cimento no anular. Foi constatado também um anular livre adicional de 8 metros em relação ao previsto no projeto. Contudo, nesse mesmo intervalo de profundidade, foram observadas deflexões nas amplitudes do perfil CBL nas profundidades de 6, 17 e 29 metros. Essas deflexões resultaram em uma diminuição média da amplitude no intervalo, com valores inferiores a 30 mV, o que marcou a faixa amarela no *Radial Bond*, indicando a descalibração do perfil TT nas respectivas zonas.

Nos intervalos de profundidade de 54 a 58 m e 62 a 64 m (Figura 3), bem como de 97 a 98 m e 101 m (Figura 4), denominados respectivamente como intervalos B, C, D e E, foram observados valores médios de amplitude de 23 mV (com pico de 30 mV), 25 mV, 23 mV e 22 mV, respectivamente. O *Radial Bond* variou de coloração amarelo a azul claro em pequenas faixas, enquanto o perfil VDL mostrou sinais fortes com retas paralelas, indicando uma baixa atenuação das ondas acústicas no cimento na interface cimento-formação. Esses resultados sugerem aderência parcial do cimento nas interfaces cimento-revestimento-cimento-formação. A descentralização do perfil TT também pode ser vista entre o intervalo de 44 a 112 m, nas profundidades de 54, 59, 73 e 96 m, causando descalibração visível nos perfis *Radial Bond*, VDL, CCL e GR.

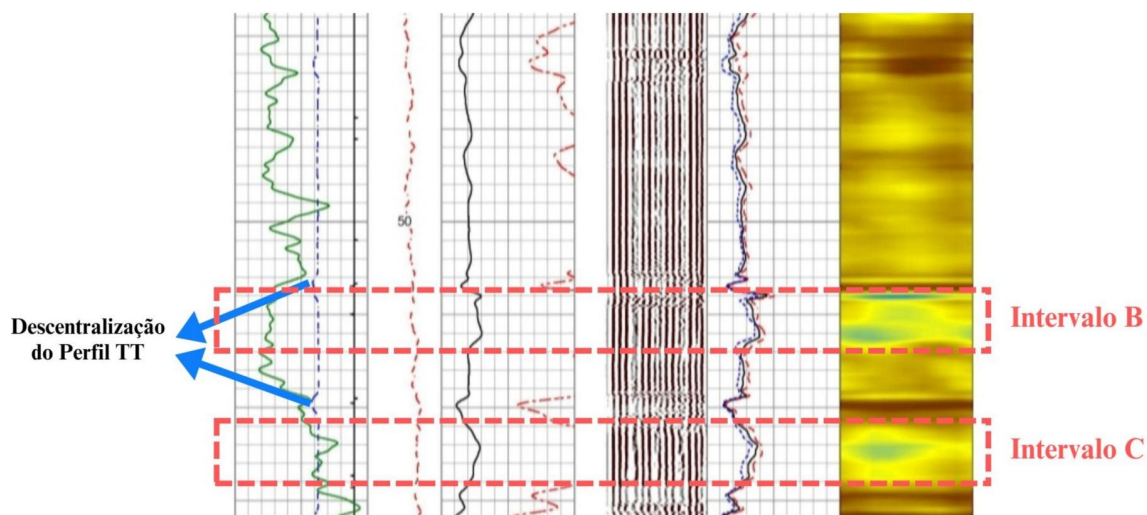


Figura 3 - Perfil CBL/VDL na profundidade de 44 a 67 m

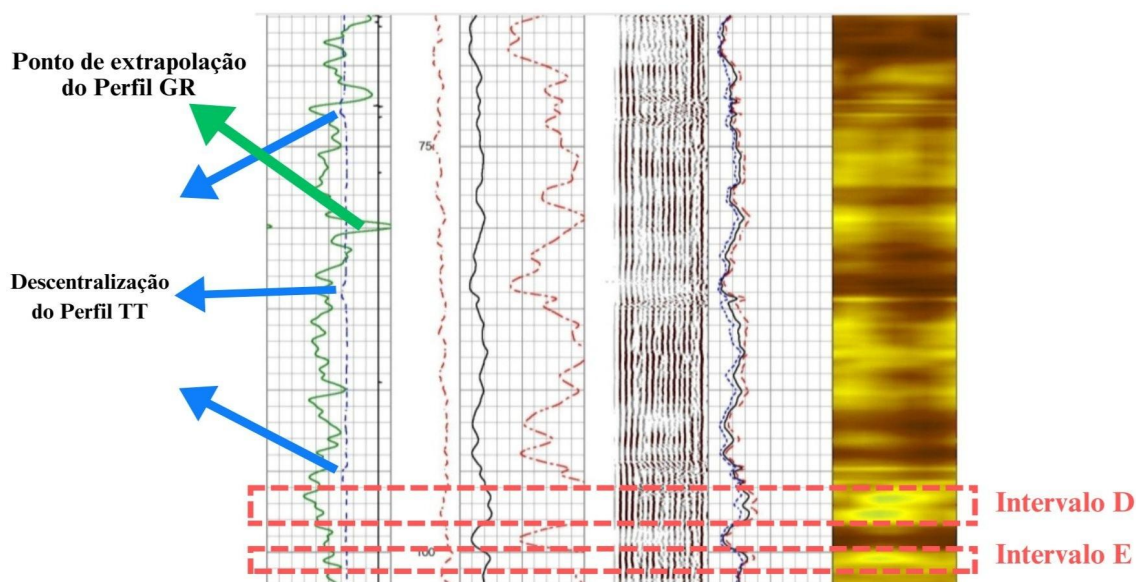


Figura 4 - Perfil CBL/VDL na profundidade de 68 a 112 m

De 108 a 112 metros, denominado de intervalo F, mostrado na Figura 5, teve uma amplitude média de 45 mV no CBL. O *Radial Bond* apresentou uma tendência à coloração azul na interface cimento-revestimento e amarela na interface cimento-formação. O perfil VDL apresentou sinais fortes e faixas paralelas com baixas ondulações, indicando má aderência do cimento em todas as interfaces cimento-formação e, principalmente, cimento-revestimento. Foi considerado o intervalo cimentado com maior falha. Além disso, nesse intervalo foi observado a base da cimentação que ocorreu aos 111 m de profundidade, indicado pelo aumento dos valores de amplitude para aproximadamente 40 mV.

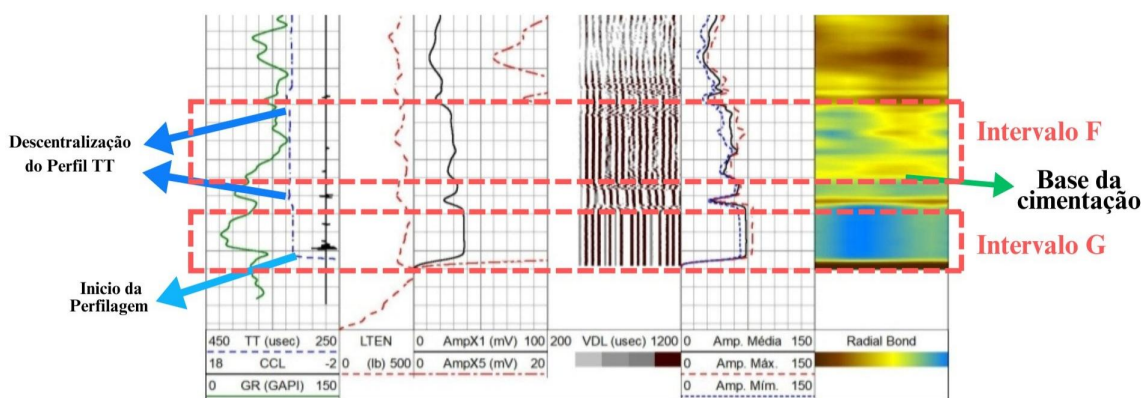


Figura 5 - Perfil CBL/VDL no intervalo de 113 a 120 m

O último intervalo foi observado na profundidade de 113 a 116 m, Figura 5, denominado intervalo G, os valores médios do CBL foi de aproximadamente 40 mV, o perfil VDL apresentou retas paralelas com sinais fortes, o *Radial Bond* encontrou-se na coloração azul, indicando revestimento livre de cimento. Duas novas zonas de descentralização do perfil TT foram encontradas nas profundidades de 107 e 113 m, provocando mudanças significativas nas leituras dos demais perfis.

Durante a perfilagem do poço, os perfis CCL e GR foram registrados ao longo de toda a extensão, permitindo a correlação de profundidade entre o poço aberto e o revestido, e assegurando a precisão na determinação da profundidade real do poço. No entanto, o perfil CCL não conseguiu identificar com precisão as conexões dos revestimentos, exibindo várias oscilações em intervalos de profundidades curtas, possivelmente devido a descalibrações eventuais do perfil TT e da própria ferramenta.

A litologia da formação não pôde ser qualificada utilizando o perfil GR, pois foi observado um pico de extrapolação na curva a uma profundidade de 80 m, Figura 4, indicando uma possível descalibração do perfil e superestimação dos valores de GAPI. Em função desses fatores, os autores decidiram não realizar a classificação litológica baseando-se apenas no perfil GR, seguindo critérios científicos rigorosos. Para obter uma maior assertividade na determinação da litologia da formação, seria necessário correlacionar os dados do perfil GR com outros perfis litológicos, como o perfil sônico (DT), perfil de indução (ILD) e perfil de densidade (RHOB). Além disso, estudos geológicos detalhados por meio de testemunhagem seriam imprescindíveis.

Conclusões

As análises das correlações dos perfis CBL/VDL permitiram determinar com precisão as zonas de falhas na cimentação, onde ocorreram, principalmente, em 7 intervalos de profundidade diferentes denominadas A, B, C, D, E, F e G. Cada intervalo foi classificado de acordo com o grau de aderência da cimentação com base nos valores quantitativos do perfil CBL e qualitativos do perfil VDL e correlações dos perfis GR e CCL. Portanto, apresentamos as principais conclusões do artigo:

- A operação intencionalmente anormal da cimentação no poço foi um sucesso, pois grande parte do perfil CBL registrou valores de amplitude maiores que 10 mV e baixa atenuação de ondas acústicas observadas no perfil VDL;
- Foram encontrados o topo e a base da cimentação do poço, respectivamente, nas profundidades de 38 m e 111 m;
- Observou-se que a descalibração/descentralização da ferramenta TT influenciou pertinentemente nos resultados das ferramentas CBL/VD, *Radial Blond*, CCL e RG;
- Os intervalos A e G apresentaram revestimento livre, enquanto os intervalos B, C, D e E apresentaram aderência parcial do cimento nas interfaces cimento-revestimento-cimento-formação;
- O intervalo F apresentou má aderência do cimento, principalmente, na interface cimento-revestimento com picos de amplitudes de 45 mV no CBL.

Agradecimentos

Agradecemos a empresa Geowellex do Brasil Serviços Petrolíferos pela disponibilização dos dados de perfilagem do poço escola 1-GWL-1-RN, ao Laboratório de Ciência e Engenharia de Petróleo (LCPetro) e a Faculdade de Engenharia/CAMPUSSAL/UFPA pela infraestrutura.

Referências Bibliográficas

ALLOUCHE, Mickael, et al. **Cement job evaluation. En Well cementing.** Sugar Land, Texas, USA: Schlumberger, p. 549-612, 2006.

BOYD, D. **Radiology and Cement Bond Log Interpretation: Similarities and Differences.** Presentation: Session 5: Well Integrity Evaluation, SPE Workshop: Sustainability Through Smarter Well Integrity, Abu Dhabi, U.A.E., 2018.

KADHIM, Fadhil S., et al. **Evaluation of Cementation Job Using Cement Bond Log.** Iraqi Journal of Oil & Gas Research. Iraqi Journal of Oil & Gas Research, Vol. 2, No. 1, 2022.

FERTL, Walter; Pilkington, P. E.; SCOTT, James. **A look at cement bond logs.** Journal of Petroleum Technology. 26, 607–617, 1974. doi: 10.2118/4512-PA.

GARNIER, A., et al. **Characterization of Cement Systems to Ensure Cement Sheath Integrity.** Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, U.S.A., April 2007. doi: <https://doi.org/10.4043/18754-MS>

GROSMANGIN, M.; KOKESH, P.; MAJANI, P. **A sonic method for analyzing the quality of cementation of borehole casings.** J. Petrol. Technol. 13, 165–171, 1961. doi: <https://doi.org/10.2118/1512-G-PA>.

HAYMAN, A.; HUTIN, R.; WRIGHT, P. **High-resolution cementation and corrosion imaging by ultrasound.** SPWLA 32nd Annual Logging Symposium, p. 25, 1991.

JUTTEN, J.; CORRIGALL, E. **Studies with narrow cement thickness lead to improved CBL in concentric casings.** J. Pet. Technol. 41(11), 1989.

JUTTEN, J.; HAYMAN, A. **Microannulus effect on cementation logs: Experiments and case histories.** Society of Petroleum Engineers, paper 25377, 1993.

KYI, Ko Ko; WANG, Arthur. **Issues with Cement Bond and Cement Evaluation Logs - Case Studies from Offshore Malaysia.** International Petroleum Technology Conference, Doha, Qatar, December 2015. doi: <https://doi.org/10.2523/IPTC-18538-MS>.

LÉCOLIER, E.; RIVEREAU, G.; LE SAOÛT, G.; AUDIBERT-HAYET, A. **Durability of Hardened Portland Cement Paste used for Oiwell Cementing.** Oil & Gas Science and Technology, Rev. IFP, v. 62, no 3, p. 335-345, 2007.

PARDUE, GH; Morris, RL. **Cement Bond Log-A Study of Cement and Casing Variables.** J Pet Technol 15 (1963): 545–555. doi: <https://doi.org/10.2118/453-PA>.

PRASHANT, Saini; HARINANDAN, Kumar; TARUN, Gaur. **Cement bond evaluation using well logs: A case study in Raniganj Block Durgapur, West Bengal, India.** Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. 2021. doi: [10.1007/s13202-021-01151-z](https://doi.org/10.1007/s13202-021-01151-z).

NYGAAR, R. **Well Design and Well Integrity.** Energy and Environmental Systems Group, University of Calgary, Canadá, 2010.

SKOGDALEN, J. E.; VINNEM, J. E. **Quantitative risk analysis of oil and gas drilling, using deepwater horizon as case study.** Reliability Engineering & System Safety, Elsevier, v. 100, p. 58–66, 2012.

VAN KUIJK, R., et al. **A novel ultrasonic cased-hole imager for enhanced cement evaluation.** International Petroleum Technology Conference, p. 14, 2005. doi: <https://doi.org/10.2523/IPTC-10546-MS>.

VLACHOU, Paraskevi-voula; PIAU, Jean-michel. **The influence of the shear field on the microstructural and chemical evolution of an oil well cement slurry and its rheometric impact.** Cement and Concrete Research 27, 1997.

WANG, Hua; TAO, Guo; SHANG, Xuefeng. **Understand acoustic methods for cement bond profiling.** The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 139, no. 5, p. 2407-2416, 2016.