

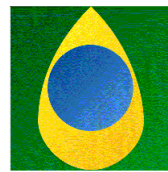


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CORRELAÇÃO DE POÇOS COM MÚLTIPLOS PERFIS ATRAVÉS DA REDE
NEURAL MULTICAMADAS**

MÁDIO DA SILVA AMARAL



anp
Agência
Nacional do
Petróleo



BELÉM
2001

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOFÍSICA

CORRELAÇÃO DE POÇOS COM MÚLTIPLOS PERFIS ATRAVÉS DA
REDE NEURAL MULTICAMADAS

TESE APRESENTADA POR

MÁDIO DA SILVA AMARAL

COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DE GRAU DE
MESTRE EM CIÊNCIAS NA ÁREA DE GEOFÍSICA

Data de Aprovação: 23/11/2001

COMITÊ DE TESE:

Prof. Dr. André José Neves Andrade (Orientador)

Prof. Dr. Carlos Augusto Gonçalves

Prof. Dr. Jadir da Conceição da Silva

BELÉM - PA

2001

AMARAL, Mádio da Silva. **Correlação de poços com múltiplos perfis através da rede neural multicamadas**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 2001. 34p.

Tese (Mestrado em Geofísica) – Curso de Pós-Graduação em Geofísica, UFPA, 2001.

1. GEOFÍSICA DE POÇO 2. REDE NEURAL ARTIFICIAL
3. INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA I. ANDRADE, André José Neves,
Orientador II. Título

Dedico este árduo trabalho aos meus pais, Antônio Maria do Amaral (*In Memoriam*) e Maria Ivone da Silva Amaral, por terem gerado-me e dado suporte educacional e de caráter, os quais fazem-me sobreviver neste mundo de desigualdades e discriminações.

Ao meu orientador, Prof. Dr. André Andrade, pela colaboração e companheirismo durante todas as etapas, os quais foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos meus irmãos, Marcelo, Márcio e Bianca, pelo companheirismo.

À minha namorada, Ana Cláudia, pela compreensão.

Aos meus colegas e amigos companheiros geólogos e geofísicos, que colaboraram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao CNPq, e ao convênio de infra-estrutura ANP/FINEP - UFPA.

*“As pessoas não devem lamentar-se
por serem pobres ou ricas, e sim,
dar graças à Deus por terem o privilégio
de participar do verdadeiro milagre que é a vida.”*

Mádio da Silva Amaral

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA -----	i
AGRADECIMENTOS -----	ii
EPÍGRAFE -----	iii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES -----	v
ABSTRACT -----	2
1- INTRODUÇÃO -----	3
2- METODOLOGIA -----	6
2.1- CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA-----	6
2.2- REDE NEURAL ARTIFICIAL-----	13
2.2.1- Rede Neural Multicamadas -----	14
2.3- CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA AUTOMÁTICA-----	15
2.3.1- Conjunto de Treinamento -----	16
3- RESULTADOS -----	18
3.1- ASPECTOS GEOLÓGICOS-----	18
3.2- CONSTRUÇÃO DO BLOCO DIAGRAMA-----	21
4- CONCLUSÕES -----	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	33

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS:

Figura-1: Seção transversal mostrando um exemplo sintético de uma correlação a partir de perfis geofísicos de poço.....	9
Figura-2: Exemplo de uma interpretação equivocada da geologia durante o processo de correlação realizada pelo intérprete.....	11
Figura-3: Analogia entre os neurônios naturais e os neurônios artificiais.....	14
Figura-4: Rede neural artificial multicamadas mostrando a estrutura das camadas e os sentidos dos sinais durante a fase de aprendizagem e operação.....	16
Figura-5: Função de ativação do tipo sigmóide.....	17
Figura-6: Províncias sedimentares da Venezuela (Mejía, <i>et al.</i> , 1988).....	19
Figura-7: Mapa Paleogeográfico do Mioceno Médio (Mejía, <i>et al.</i> , 1988).....	20
Figura-8: Mapa de localização dos poços e das seções.....	21
Figura-9: Treinamento realizado pela rede utilizando-se de quatro tipos de perfis durante a fase de correlação.....	22
Figura-10: Poços utilizados durante a fase de operação.....	23
Figura-11: Correlação automática realizada pela rede de topo e base de cinco poços.....	24
Figura-12: Seção S1 , composta pelos poços W706, W991 e W1112.....	26

Figura-13: Seção S2, composta pelos poços W706, W1112 e W866.....	27
Figura-14: Seção S3, composta pelos poços W706, W893 e W966.....	28
Figura-15: Seção S4, composta pelos poços W893, W1112 e W991.....	29
Figura-16: Bloco diagrama mostrando o comportamento do datum de correlação ao longo dos perfis, resultado da correlação automática.....	30

TABELAS:

Tabela-1: Comparação entre a correlação realizada pelo intérprete e pela rede neural (profundidades em metros).....	25
---	----

RESUMO

A correlação estratigráfica busca a determinação da continuidade lateral das rochas, ou a equivalência espacial entre unidades litológicas em subsuperfície, a partir de informações geológico-geofísicas oriundas de poços tubulares, que atravessam estas rochas. Normalmente, mas não exclusivamente, a correlação estratigráfica é realizada a partir das propriedades físicas registradas nos perfis geofísicos de poço. Neste caso, busca-se a equivalência litológica a partir da equivalência entre as propriedades físicas, medidas nos vários poços de um campo petrolífero.

A técnica da correlação estratigráfica com perfis geofísicos de poço não é uma atividade trivial e sim, sujeita a inúmeras possibilidades de uma errônea interpretação da disposição geométrica ou da continuidade lateral das rochas em subsuperfície, em função da variabilidade geológica e da ambigüidade das respostas das ferramentas. Logo, é recomendável a utilização de um grande número de perfis de um mesmo poço, para uma melhor interpretação.

A correlação estratigráfica é fundamental para o engenheiro de reservatório ou o geólogo, pois a partir da mesma, é possível a definição de estratégias de exploração de um campo petrolífero e a interpretação das continuidades hidráulicas dos reservatórios, bem como auxílio para a construção do modelo geológico para os reservatórios, a partir da interpretação do comportamento estrutural das diversas camadas em subsuperfície.

Este trabalho apresenta um método de automação das atividades manuais envolvidas na correlação estratigráfica, com a utilização de vários perfis geofísicos de poço, através de uma arquitetura de rede neural artificial multicamadas, treinada com o algoritmo de retropropagação do erro. A correlação estratigráfica, obtida a partir da rede neural artificial, possibilita o transporte da informação geológica do *datum* de correlação ao longo do campo, possibilitando ao intérprete, uma visão espacial do comportamento do reservatório e a simulação dos possíveis paleoambientes.

Com a metodologia aqui apresentada foi possível a construção automática de um bloco diagrama, mostrando a disposição espacial de uma camada argilosa, utilizando-se os perfis de Raio Gama (RG), Volume de Argila (Vsh), Densidade (ρ_b) e de Porosidade Neutrônica (ϕ_n) selecionados em cinco poços da região do Lago Maracaibo, na Venezuela.

ABSTRACT

Stratigraphic correlation using well logs is a non-trivial geological activity and subject to endless possibilities of misunderstanding about the geometry or continuity of rock layers, for many reasons, like the geological variability and the ambiguous answers of the log tools. Thus, it is common to utilize a great log suite from the same well, for better comprehension.

The stratigraphic correlation is a fundamental tool for a geologist or petroleum geophysist, because from its knowledge it is possible to interpret the hydraulic continuities of the reservoirs and to reconstruct the geological setting environment, which may corroborate for the construction of the reservoir geological model.

This work produces an automation of manual activities involved in the stratigraphic correlation, with the use of the various well logs, and a convenient architecture of artificial neural network, trained with the backpropagation algorithm.

The stratigraphic correlation, obtained from this method, makes the transport of the geological information possible along the basin and gives the interpreter, a general view of the structural behavior of the oil reservoir.

With This methodology was possible the automatic construction of a geological block diagram showing the spatial disposition of a particular shale layer, from the well logs: Gamma Ray (GR), Clay Volume (V_{sh}), Density (ρ_b) and the Neutron Porosity (ϕ_n), selected in the five wells on the Maracaibo Lake basin, in Venezuela.

1- INTRODUÇÃO

A correlação estratigráfica busca a determinação da continuidade lateral das rochas, ou a equivalência espacial entre diversas unidades litológicas em subsuperfície, a partir da informação oriunda de poços que atravessam estas rochas.

A correlação estratigráfica pode ser realizada com base em diversos critérios, como: identificação de elementos fósseis; posição relativa na seqüência sedimentar (idade da rocha); textura; relações faciológicas e perfis geofísicos de poço. Normalmente, mas não exclusivamente, a correlação pode ser realizada a partir das propriedades físicas registradas nos perfis geofísicos de poço. Neste caso, busca-se a equivalência litológica a partir da equivalência entre as propriedades físicas, medidas nos vários poços de um campo petrolífero. Na correlação realizada a partir dos perfis, as formações são descritas basicamente através de suas propriedades físicas, petrofísicas e da seqüência estratigráfica.

A metodologia adotada pelo intérprete pode ser descrita como a interpretação de alguns dos perfis disponíveis em um poço, chamado poço base, na busca de um particular evento geológico, que aparece caracterizado em todos os poços, e assim tenha uma representatividade regional. Essa particular característica nas curvas do perfil é referida como um *datum de correlação*. De posse deste datum, com os respectivos intervalos de profundidade, o geólogo procura identificar nos vários perfis dos outros poços do mesmo campo, a sua possível continuidade lateral. Definida a continuidade lateral do datum, são então estabelecidas as linhas de correlação, que guiarão a definição da continuidade das outras unidades litológicas atravessadas por estes poços.

A correlação estratigráfica através dos perfis geofísicos é uma das ferramentas principais da geologia para o modelamento da subsuperfície, e muito do esforço realizado pelos geólogos têm sido procurar métodos práticos, rápidos e confiáveis, que possibilitem o transporte da informação geológica de um ponto a outro da bacia, com o objetivo de buscar a reconstituição dos vários ambientes geológicos em que se dispõem as rochas em profundidade, corroborando para a construção de um modelo geológico para o reservatório de interesse.

As correlações estratigráficas manuais envolvem sempre longos períodos de tempo, o que torna seu trabalho cansativo e tedioso. Estas correlações são geralmente executadas com apenas um ou dois perfis de poço, o que potencialmente leva a indeterminações da disposição geométrica

ou continuidade das rochas em subsuperfície, em função da variabilidade geológica e da ambigüidade das respostas das ferramentas. Assim, é recomendável a utilização de um grande número de perfis de um mesmo poço para uma melhor interpretação. Quanto maior o número de perfis geofísicos envolvidos na correlação, maior será o grau de certeza e melhor será a visualização do comportamento do reservatório ao longo dos perfis.

Neste trabalho, apresenta-se uma arquitetura de rede neural artificial, que possibilita a automação das atividades manuais da correlação estratigráfica com a utilização de vários perfis geofísicos de poço.

As redes neurais artificiais vêm mostrando-se como uma excelente ferramenta de auxílio na interpretação de dados geofísicos (Luthi *et al.*, 1995; Gonçalves *et al.*, 1995; Andrade & Luthi, 1997 e Fischetti & Andrade, 1999), pois uma de suas principais características, é a capacidade de simular o comportamento do intérprete geofísico.

Luthi *et al.* (1995) utilizaram as redes neurais aplicadas para a correlação estratigráfica com apenas um tipo de perfil (Vsh) para cada poço. Utilizaram uma arquitetura de rede neural multicamadas, treinada com o algoritmo de retropropagação do erro. O processamento ocorria a partir do reconhecimento em um poço, dito poço-base, de um *datum* de correlação o qual é apresentado à rede, na fase de treinamento. Na fase de operação este *datum* era identificado nos perfis dos outros poços.

Gonçalves *et al.* (1995) usaram técnicas estatísticas multivariada e a rede neural artificial multicamadas com retropropagação do erro para a identificação das heterogeneidades em formações complexas e avaliação de seus limites. No seu trabalho, fez uma comparação entre os resultados obtidos pela rede neural artificial e as técnicas estatísticas.

Andrade & Luthi (1997) utilizaram uma rede multicamadas, onde os perfis foram associados a séries temporais. A correlação dos perfis dos poços gerada se dava camada a camada, e os vários topos e bases eram correlacionados simultaneamente pela rede.

Fischetti & Andrade (1999) usaram a rede neural direta multicamadas para a identificação das primeiras quebras em traços sísmicos, a partir de dados sintéticos obtidos de um modelo convolucional e da teoria do raio.

A arquitetura de rede aqui apresentada utiliza-se dos mesmos critérios de apresentação dos dados, ou seja, admite-se um poço como poço-base, sobre o qual interpreta-se nos vários perfis as posições de topo e base das camadas de interesse. Esta interpretação será a base do

conjunto de treinamento utilizado pela rede neural. O processamento sobre os vários perfis dos outros poços, busca a equivalência com as formas das curvas armazenadas no conjunto de treinamento. Com a rede neural aqui apresentada é possível correlacionar vários tipos de perfis de cada poço, com os perfis dos outros poços envolvidos na correlação. Esta operação pode se dar a qualquer momento durante a perfilagem, o que lhe confere uma boa praticidade e rapidez na incorporação de novos dados, para a construção de blocos diagramas ilustrativos do comportamento do reservatório ou reservatórios em estudo. Outro aspecto importante na utilização da rede aqui apresentada é o treinamento da rede com vários perfis de um poço, pois com a utilização de vários perfis, a rede ganha mais suporte na caracterização e identificação do *datum* a ser correlacionado durante a fase de operação, uma vez que a rede faz uma comparação entre todos os perfis envolvidos no processo, resultando numa maior precisão e confiabilidade para o intérprete.

Para a execução da correlação com os múltiplos perfis foram selecionados cinco poços da região do Lago Maracaibo, na Venezuela, onde se utilizaram os perfis de Raio Gama (RG), Volume de Argila (Vsh), Densidade (ρ_b) e de Porosidade Neutrônica (ϕ_n).

2- METODOLOGIA

Nesta seção, apresenta-se a arquitetura de rede neural artificial, que possibilita a simulação do comportamento do intérprete para a realização da correlação estratigráfica utilizando-se vários perfis geofísicos. A partir do mapeamento de características específicas das curvas (*datum*) nos vários perfis de todos os poços envolvidos na correlação, pode-se obter um modelo descritivo da geologia de subsuperfície, e visualizar em profundidade, o comportamento das rochas reservatório.

2.1- CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA

A correlação estratigráfica é uma das principais ferramentas da geologia para a determinação da equivalência entre unidades estratigráficas, e muito do esforço realizado pelos geólogos tem sido procurar métodos de correlação práticos e cada vez mais precisos e eficientes.

O conceito de correlação é fundamental, ou mesmo, central para a estratigrafia. Entretanto, a despeito da sua importância, o significado de correlação, quando aplicado à estratigrafia, é ambíguo e aberto ao debate. A maneira como um determinado geólogo trata a correlação mostra a essência de sua filosofia geológica.

Para a realização da correlação utilizando os perfis geofísicos de poço, deve-se levar em consideração certos critérios geológicos, denominados como leis da estratigrafia e critérios geofísicos, como o conceito de eletrofácies (Serra & Abbott, 1982).

Dos princípios básicos da estratigrafia, utilizados pelos geólogos nas correlações estratigráficas, destacam-se:

- Princípio da Superposição. Na fase de deposição ou de acumulação dos sedimentos, a camada superior é mais jovem que a subsequente.
- Princípio da Horizontalidade dos Estratos. Nas acumulações dos sedimentos, os sedimentos tendem a se depositar em camadas aproximadamente horizontais.
- Princípio da Continuidade Lateral. Existe uma continuidade lateral das camadas e desenvolvem-se até que uma superfície preexistente as intercepte.
- Princípio da Intersecção. Quando uma rocha é truncada por outra, a rocha mais antiga é a que está sendo truncada, enquanto que a mais nova é a que trunca esta.

- **Princípio da Inclusão.** No caso de uma rocha conter os fragmentos de outra, ela será mais nova que a rocha que se constitui destes fragmentos.
- **Princípio do Uniformitarismo.** O presente é a chave do passado. Todos os fenômenos físicos que ocorrem hoje são os mesmos que ocorreram no passado, não variando a intensidade. Através deste princípio, os geólogos buscam explicações mais convincentes e concretas dos fenômenos que hoje persistem na terra.
- **Princípio do Atualismo.** As leis naturais que regem os fenômenos geológicos no presente, são as mesmas que agiram no passado, mas sua intensidade e configuração mudam com o tempo.
- **Princípio da Sucessão Faunística.** Cada espécie fóssil viveu por um determinado tempo, não podendo reaparecer jamais após sua extinção. Conhecido o tempo de existência de uma espécie, as rochas que apresentam esses fósseis tem a mesma idade de formação dos fósseis.
- **Princípio da Identidade Paleontológica ou Zoneamento paleontológico.** Consiste em admitir que um conjunto de estratos de mesmo conteúdo paleontológico é de mesma idade que outro conjunto de estratos que contenha o mesmo conteúdo paleontológico. Este princípio não é válido para todos os fósseis, pois muitos fósseis têm longa duração. É necessário usar fósseis iguais, isto é, fósseis de pequena distribuição vertical (duração) e ampla dispersão horizontal.
- **Princípio da Correlação.** Mostra que a equivalência estratigráfica é materializada em mapas geológicos locais, regionais e mundiais.
- **Lei da Sucessão de Fácies ou Lei de Walther.** Estabelece que as fácies que sobrejazem outras concordantemente em uma seqüência vertical devem ter sido adjacentes lateralmente quando da deposição.
- **Princípio da Continuidade.** A natureza não dá saltos, é contínua no tempo e no espaço.

A correlação desde o início da estratigrafia baseou-se essencialmente na equivalência da litologia e do conteúdo fóssil (paleontologia), mas a procura de uma melhor metodologia de correlação tem sido infundável. Após a década de cinquenta, a estratigrafia voltou-se também para os métodos físicos, químicos e mineralógicos para a realização de novas formas de correlação e novas escalas de tempo geológico. Atualmente, os perfis mais antigos com aquisição analógica são digitalizados para serem usados no processo de automatização da

correlação, porém, mesmo a correlação automática deve ser cuidadosamente examinada pelo geólogo, pois em muitos casos o computador pode realizar correlações errôneas, principalmente em áreas com complicação estrutural ou mudanças de fácies.

Os critérios geofísicos se referem principalmente ao conceito de eletrofácies, onde os perfis de poço registram as diferentes propriedades físicas das rochas (litologia, mineralogia, natureza e importância dos fluidos, textura, acamamento, distribuição do tamanho do grão e mergulho dos estratos) encontradas durante a perfuração de um poço. Essas medidas (radioatividade natural, potencial espontâneo, densidade, porosidade, resistividade e sônico) definem para cada camada uma eletrofície, expresso pelo carácter das curvas registradas, e podem ser usados em correlação. Serra & Abbott (1982), define o termo eletrofície como o conjunto de respostas dos perfis de poço que caracterizam um sedimento, e permite que este seja passível de ser distinguido de outros sedimentos.

Feita esta classificação em cada perfil de poço selecionado pelo intérprete, os perfis serão agrupados, e obedecendo a conceitos geológicos fundamentais da estratigrafia, inicia-se o que chamamos de correlação manual. Na Figura 1, apresenta-se um exemplo sintético da correlação de poços com a utilização dos perfis geofísicos, onde se mostra a curva do raio gama associado a uma interpretação litológica para três poços.

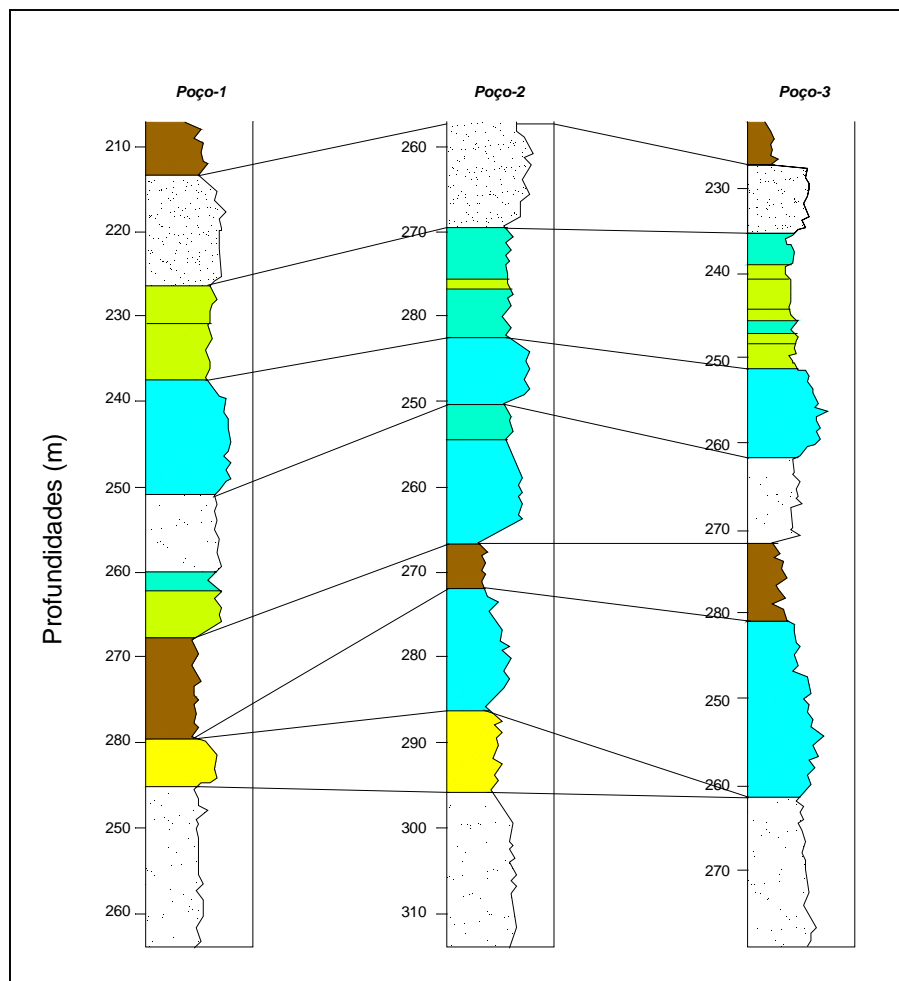


Figura-1: Seção transversal mostrando um exemplo sintético de uma correlação a partir de perfis geofísicos de poço.

Para a correlação de poços com os perfis geofísicos são utilizados normalmente a comparação das formas das curvas do potencial espontâneo (SP) e das curvas de resistividade, como os melhores métodos de correlação (Lang, 1986). As propriedades correlativas das rochas são medidas através de várias ferramentas de perfilagem, que são relativamente inalteradas pelo ambiente do poço.

As respostas dos perfis (elétrico, nuclear, acústico, dipmeter, etc.) que indicam os aspectos quantitativos, bem como, qualitativo (características das curvas) representam, portanto, os elementos componentes das eletrofácies. Conhecendo-se assim estas relações fundamentais das respostas das várias ferramentas utilizadas na perfilagem, pode-se definir a litologia presente na formação através das eletrofácies (Serra, 1989).

As eletrofácies trazem informações sobre a composição mineralógica das rochas presentes na formação, sua textura e também suas estruturas sedimentares, ou seja, os perfis de poço vão nos mostrar um aspecto particular das propriedades das rochas. Na realidade, quando da utilização de uma a duas curvas de perfil, nem sempre esta identificação é o suficiente para a determinação das características equivalentes das rochas. Neste caso, se faz necessário uma combinação entre um maior número de perfis, o que definirá com clareza as características das rochas analisadas. Um conjunto diversificado de perfis de poço representará melhor os parâmetros geológicos, ou em outras palavras, um espectro suficientemente rico em detalhes das litofácies através dos dados do perfil.

Pirson (1977) associa uma fácies e um ambiente deposicional a cada forma das curvas do perfil e as interpreta como um indicador da velocidade dos processos de transgressão e regressão. Este tipo de análise de curvatura é muito usado pelos geólogos para a construção dos mapas de fácies, essenciais para a reconstituição dos vários ambientes deposicionais utilizados nos processos de correlação.

Um outro termo muito utilizado pelos geofísicos é a eletrosequência. Serra & Abbott (1982) definiu o termo, como sendo o intervalo de profundidade em que a resolução vertical da ferramenta apresenta uma evolução progressiva e contínua entre os dois valores extremos do parâmetro de medida, traçando uma rampa. Estas variações podem ser refletidas em diversos fatores, tais como: mudança progressiva na composição mineralógica com a profundidade; evolução dos parâmetros texturais, aumento de saturação na zona de transição entre reservatórios de água e óleo, etc.

As litologias e seus ambientes deposicionais, podem então ser definidos nos perfis por este tipo de análise e critérios geológicos e geofísicos, obtendo-se assim, uma representação da realidade geológica quanto à continuidade lateral do reservatório através da correlação dos poços.

Na prática, um geólogo tenta estabelecer o traçado lateral contínuo de uma unidade litoestratigráfica identificado num perfil para o outro, assim sucessivamente, pois desta forma, pode-se estabelecer a possível equivalência entre as unidades litoestratigráficas. Partindo-se deste princípio, nem sempre a realidade é condizente, pois podem ocorrer eventualmente erros durante a interpretação, como mostra a Figura 2, o que levará a uma pseudo-interpretação da correlação.

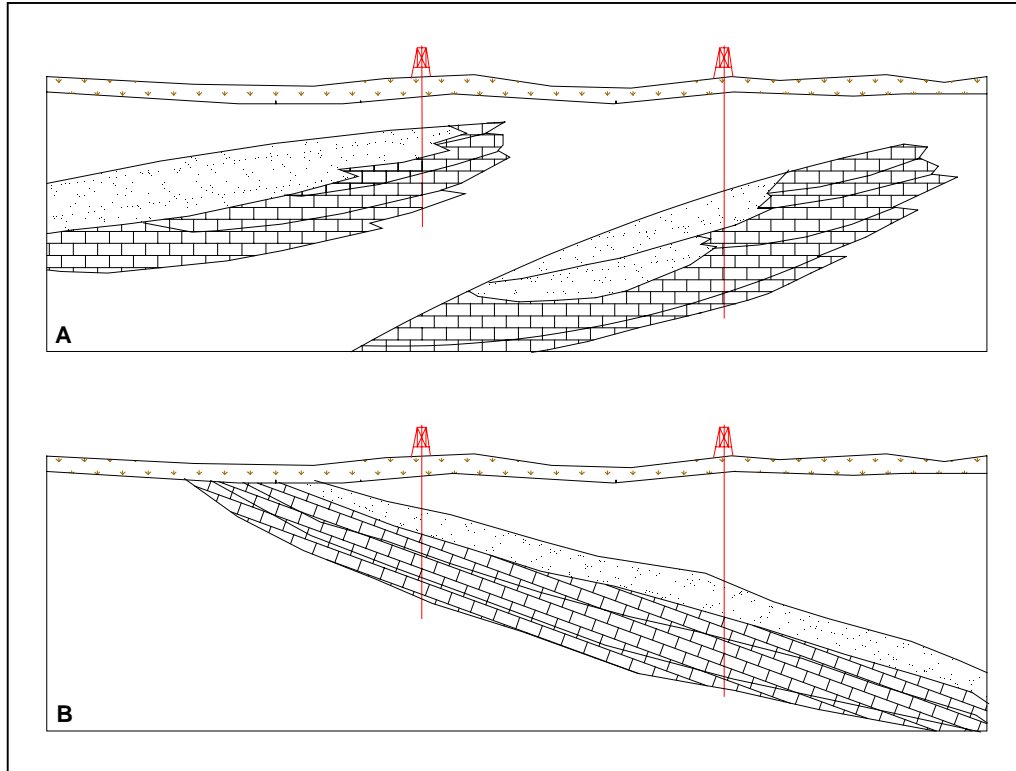


Figura-2: Exemplo de uma interpretação equivocada da geologia durante o processo de correlação realizada pelo intérprete.

Neste caso, um exemplo comum de uma interpretação equivocada da geologia, realizada pelo intérprete, a partir das perfilagens realizada em dois poços de uma mesma região. Na situação A da Figura 2, tem-se a situação real do comportamento da geologia representativo de seu ambiente deposicional, enquanto na situação B, temos uma possível interpretação feita pelo intérprete.

Durante a correlação, um critério muito utilizado pelos geólogos nas correlações de subsuperfície, é a semelhança litológica, correlacionando partes isoladas de uma unidade estratigráfica. A semelhança ou identidade litológica pode ser estabelecida com base na variedade de propriedades petrofísicas das rochas expressa pelo caráter das curvas registradas nos perfis geofísicos de poço. Entretanto, este critério tem levado muitos geólogos a equivocarse e cometer erros, que só mais tarde serão reparados por outros pesquisadores que reestudam a área. Este fato é revelado pelas características litológicas, pois podem formar-se em ambientes deposicionais semelhantes amplamente separados no tempo e no espaço, que muita das vezes são

imperceptíveis na interpretação dos perfis de poço. Este tipo de correlação é particularmente difícil em seqüências cíclicas, tais como os ciclotemas ou quando uma unidade muda de fácies, dificultando sobremaneira o trabalho do intérprete.

Quanto ao relacionamento com camadas inferiores e superiores, as unidades estratigráficas tem uma relação seqüencial com discordâncias, dobramentos, rochas intrusivas, extrusivas e metamórficas. A relação de uma unidade individual a tais feições pode ser de considerável valor para o estabelecimento da correlação de uma unidade sobre uma área limitada. Entretanto, tais feições não devem ser consideradas para áreas amplas ou além dos confins da bacia sob estudo.

Um tipo muito comum de correlação estratigráfica é realizada no que chamamos de correlação através de amostras de calha. Este tipo de correlação muito comum dos geólogos se dá no momento da perfuração de um poço, onde amostras extraídas pela broca provindas do fundo do poço são coletadas em superfície, identificadas mineralogicamente e posicionadas de acordo com as suas respectivas profundidades, compondo-se assim, num perfil litológico correlacionável a outros perfis de poços circunvizinhos. Na realidade, este tipo de correlação na maioria das vezes não é a expressão da verdade, pois a depender de incontáveis variáveis, tais como, profundidade, tempo de perfuração, bombeio do fluido de perfuração, etc., tais amostras não representam as profundidades referidas pelo operador, tornando o método inseguro e impreciso.

Um problema muito comum de correlação advém do efeito terminologia, o qual se dá quando uma mesma unidade estratigráfica possui incorretamente dois ou mais nomes, dificultando sobremaneira o trabalho de mapeamento e identificação das unidades. Quando as mesmas seções estratigráficas apresentam diferentes subdivisões e nomenclatura, o trabalho do geólogo consiste também em correlacionar nomes em vez de correlacionar formações.

Em verdade, os geólogos devem fazer uma leitura à cerca da literatura da área de estudo, procurando familiarizar-se com a multiplicidade de nomes locais dado a uma unidade de rocha que possua grande extensão geográfica em diferentes subdivisões políticas ou fisiográficas, não se deixando ficar limitado apenas em observações adquiridas nas operações de campo.

2.2- REDE NEURAL ARTIFICIAL

A inteligência artificial surgiu como uma tentativa de adequar o modo de pensamento do homem, através de programas computacionais. Esta ousadia partiu do princípio de que o cérebro

humano, uma verdadeira máquina capaz de produzir e guardar milhares de informações ao longo do tempo, e executá-las assim que ordenado, foi alvo de diversos estudos, e então despertou o interesse de diversos aficionados pelo assunto, os quais vem buscando ao longo do tempo, adequá-las a nossa realidade numa tentativa de sanar os mais diversos problemas.

Atualmente, a inteligência artificial abarca diversas linhas de pesquisa e técnicas, que vem mudando constantemente a cada nova adaptação aos problemas, onde cada vez se apresentam mais complexos, e naturalmente, mais inteligentes. Paralelamente, estas técnicas estão sendo combinadas para a solução dos mais diversos problemas ainda não solucionados pelo homem, e são chamadas hoje em dia de “*Sistemas Híbridos*”.

As redes neurais baseiam-se exatamente na neurotransmissão ocorrida nos animais para lançar suas bases de fundamentação. Diante disto, faz-se uma analogia entre as células nervosas vivas e o processo eletrônico. Partindo-se deste princípio, técnicas vem sendo utilizadas para o reconhecimento de padrões humanos, como fala e visão.

Combinando diversos neurônios pode-se formar o que se chama de rede de neurônios, ou simplesmente, uma rede neural. As entradas podem ser conectadas em muitos neurônios com vários pesos, resultando desta forma numa série de saídas, uma para cada neurônio. Em comparação com o sistema biológico, são representadas pelo contato dos dendritos com outro neurônio, formando as sinapses. A Figura 3 faz essa analogia entre os neurônios naturais e artificiais.

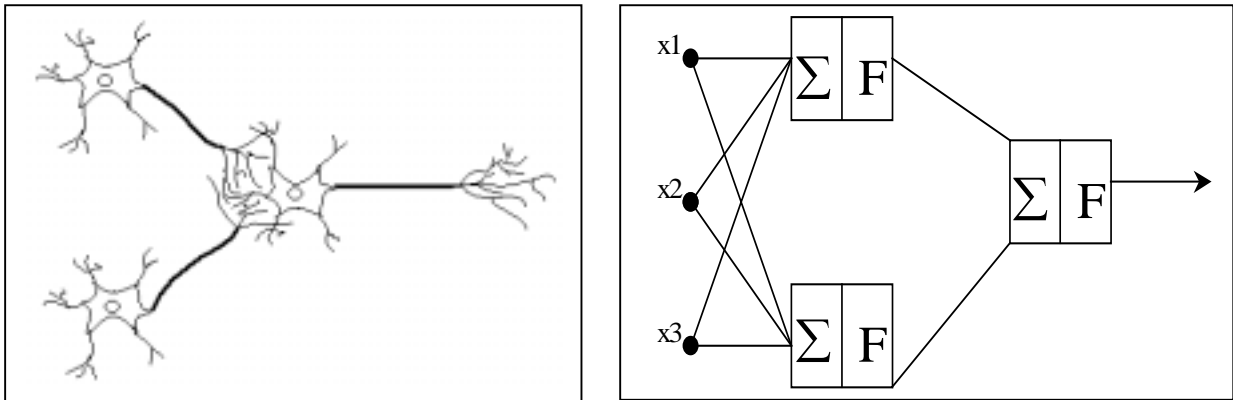


Figura-3: Analogia entre os neurônios naturais e os neurônios artificiais.

A criação de algoritmos para os sistemas neurais é motivada pelo conhecimento de que o cérebro humano trabalha de forma inteiramente diferente dos computadores digitais convencionais, que operam sob algoritmos seqüenciais (Haykin, 2001).

2.2.1- Rede Neural Multicamadas

A rede neural direta multicamadas, também chamada perceptrons multicamadas, apresenta uma arquitetura típica composta por um conjunto de camadas, que são agrupamentos de neurônios artificiais, dispostos ordenadamente em função da direção de propagação do sinal no seu interior.

Esta classe de rede neural artificial mostra ser possível treiná-la eficientemente com camadas ocultas de modo a produzir uma aproximação através de qualquer função (Haykin, 2001).

Este tipo de rede neural artificial foi aplicado com sucesso para resolver vários problemas da interpretação geofísica, como Gonçalves, *et al.* (1995); Andrade & Luthi (1997) e Fischetti & Andrade (1999). Tornou-se a técnica mais popular de aprendizagem das redes neurais a partir dos estudos de Parker (1985) e Rumelhart & McClelland (1986).

Nesta seção, apresentaremos nosso problema de aproximação da correlação automática em vários perfis de poços como uma forma de um problema de decisão através do treinamento da rede neural direta multicamadas alimentada com o algoritmo da retropropagação do erro.

2.3- CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA AUTOMÁTICA

O processo da correlação automática busca simular o modo como o intérprete toma decisões para fazer a correlação dos perfis de poço. Este processo pode ser mostrado da seguinte forma: 1) identificar o *datum* de interesse nos perfis do poço base e 2) de posse deste *datum*, identificar nos outros poços a continuidade lateral a partir do *datum*.

Na forma manual, o intérprete tem que escolher entre um grupo finito, composto por todos os eventos registrados nos perfis do poço base, um evento baseado na sua experiência e nos critérios de análise dos perfis. Deste modo, as características requeridas para a simulação do sistema visual do intérprete, através da rede neural são:

- Os perfis geofísicos serão a única fonte de informação.
- Localização em profundidade nos perfis dos outros poços do *datum* interpretado nos perfis do poço base.

A simulação do processo de decisão do intérprete, baseado na concepção de uma rede neural com aprendizado supervisionado, necessita da interferência do intérprete para a definição do conjunto de treinamento, iniciando uma escolha apropriada de um grupo de perfis de poços, onde ele identifica a profundidade de ocorrência de topo e base do *datum*.

A arquitetura da rede neural para a realização da correlação estratigráfica com múltiplos perfis (Figura 4), é formada por 3 (três) camadas, sendo que a primeira camada, possui o número de neurônios igual ao número de perfis utilizados no processo de correlação, que no nosso caso são 4 (quatro) neurônios correspondente aos perfis de Raio Gama (GR), Volume de Argila (Vsh), Densidade (ρ_b) e Porosidade Neutrônica (ϕ_N). A segunda camada é composta por 50 neurônios processadores, com a função sigmóide como função de ativação, e a camada de saída, que é composta por um único neurônio que, a cada intervalo de profundidade produzirá um vetor binário (0,1), contendo o valor 1(um) exatamente nas profundidades de topo e base correspondente à existência da correlação, e zeros em todas as profundidades não correlacionadas com o treinamento.

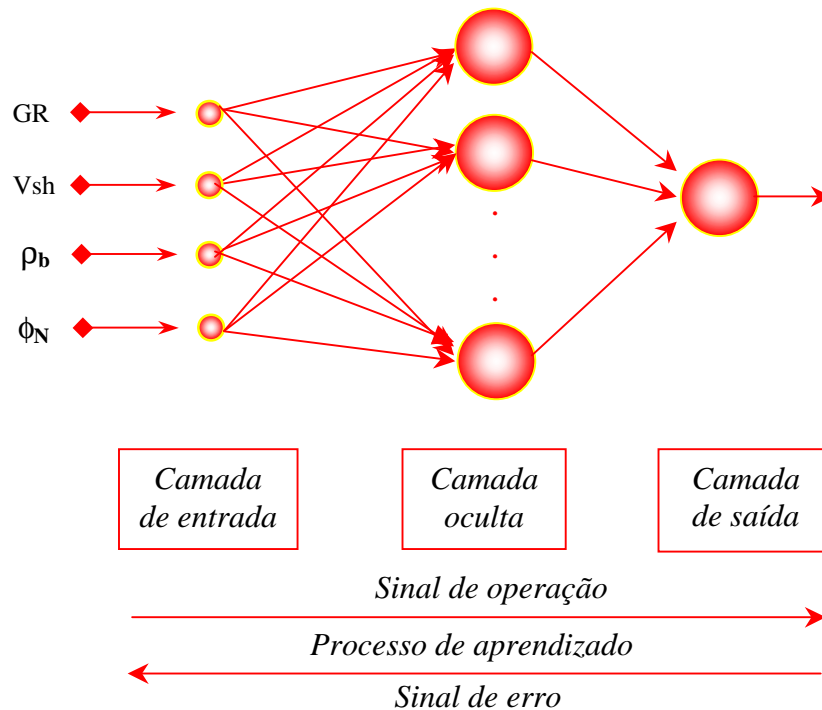


Figura-4: Rede neural artificial multicamadas mostrando a estrutura das camadas e os sentidos dos sinais durante a fase de aprendizagem e operação.

2.3.1- Conjunto de Treinamento

A arquitetura da rede neural para a realização da correlação estratigráfica com múltiplos perfis, é formada por três camadas, sendo que a primeira camada possui o número de neurônios igual ao número de perfis utilizados no processo de correlação. Assume-se que foram efetuadas as correlações ambientais e que as amostras dos perfis correspondam ao mesmo ponto mensurado em profundidade. A segunda camada é composta por 50 neurônios processadores, com a função sigmóide como função de ativação (Figura 5). A camada de saída, definida através de uma função linear, segundo o teorema da aproximação de funções das redes neurais treinadas com o algoritmo da retropropagação do erro, é composta por um único neurônio que, a cada intervalo de profundidade produzirá uma saída igual a 1 (um), quando da existência de correlação, e um valor próximo de 0 (zero) para a inexistência de correlação. Deste modo, se a rede é treinada para a busca de uma única camada por todos os poços envolvidos no processamento, o sinal ideal de saída da rede será um vetor binário (0,1), contendo o valor 1(um) exatamente nas profundidades de topo e base correspondente a existência de correlação, e zeros em todas as profundidades não correlacionadas com a camada de treinamento.

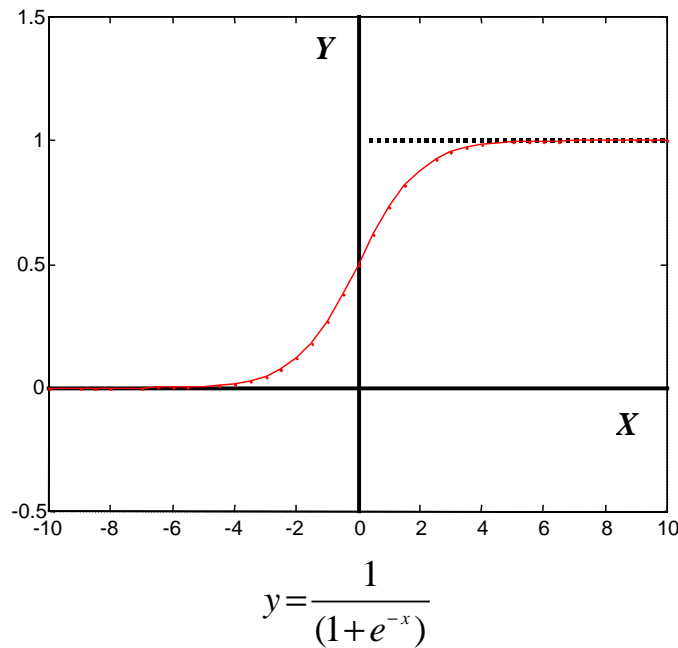


Figura-5: Função de ativação do tipo sigmóide.

Tomamos o conjunto de treinamento para a simulação da decisão visual do intérprete para a correlação automática, com as seguintes características.

- O conjunto de estímulos é formado por um grupo de perfis que apresenta vários eventos. As litologias características que formarão, então estimulam o conjunto que será escolhido pelo intérprete.
- O conjunto de respostas desejado é criado numa forma binária, no qual o valor 1 (um) indica a litologia presente e o valor 0 (zero), do outro modo. A definição da posição da litologia dentro da resposta do vetor desejado pode ser acompanhado de acordo com o conhecimento empírico do intérprete.

Neste processo de aprendizado há um ajuste dos pesos para que a classificação desejada seja obtida, ou seja, na identificação ou não do *datum* de correlação nos múltiplos perfis envolvidos no processo. Do contrário, os pesos serão reajustados até que a resposta da rede seja a saída desejada. Desta forma teremos após o término do treinamento as correlações de topo e base alcançados pela rede a partir do poço, dito poço base.

3- RESULTADOS

Este trabalho envolvendo rede neural artificial para a correlação automática com múltiplos perfis, faz parte de um estudo realizado em trechos de perfis de 5 (cinco) poços característicos da formação Lagunillas, localizado no Bloco IV do campo de Bachaquero, Lago Maracaibo, Venezuela.

Nos últimos 65 anos foram realizados diversos levantamentos geofísicos e geológicos na Venezuela, e perfurou-se aproximadamente 3.400 poços exploratórios, e como resultado, descobriu-se aproximadamente 50 bilhões de barris de reservas comprovadas (Mejía *et al*, 1988). Seus campos petrolíferos apresentam grande abundância de armadilhas estratigráficas e de acumulações de petróleo controladas estruturalmente, que por sua vez, na maioria das vezes, estão inter-relacionados na maioria dos campos petrolíferos. Estas interações do meio geológico com o objetivo da perfilagem de poço, que é o descobrimento de possíveis reservatórios de hidrocarbonetos, bem como, seu comportamento ao longo destes grandes campos petrolíferos, podem ser solucionados através da correlação automática de múltiplos perfis geofísicos, utilizando-se a rede neural multicamadas, a qual a partir dos perfis, gera em profundidade o comportamento da geologia local ou mesmo no âmbito regional da área estudada.

3.1- ASPECTOS GEOLÓGICOS

A Venezuela está situada no extremo setentrional da América do Sul, limitada ao norte pela placa continental do mar do Caribe que se prolonga até o oceano Atlântico; ao sul e sudeste forma parte do Escudo da Guayana e limitada com o Brasil e Guiana respectivamente; ao sudoeste é limitada pela Cordilheira dos Andes e a oeste pela Cordilheira Oriental e a Serra do Perijá, limite com a Colômbia.

Pelas suas características tectono-estruturais, história geológica e a existência de petróleo na Venezuela, foram divididas cinco províncias, das quais quatro são sedimentares e uma ígnea-metamórfica, vistas na Figura 6 (Mejía, *et al.*, 1988). Porém, dentro destas cinco províncias, estudamos apenas a província Maracaibo-Falcon, a qual está inserida a área estudada.

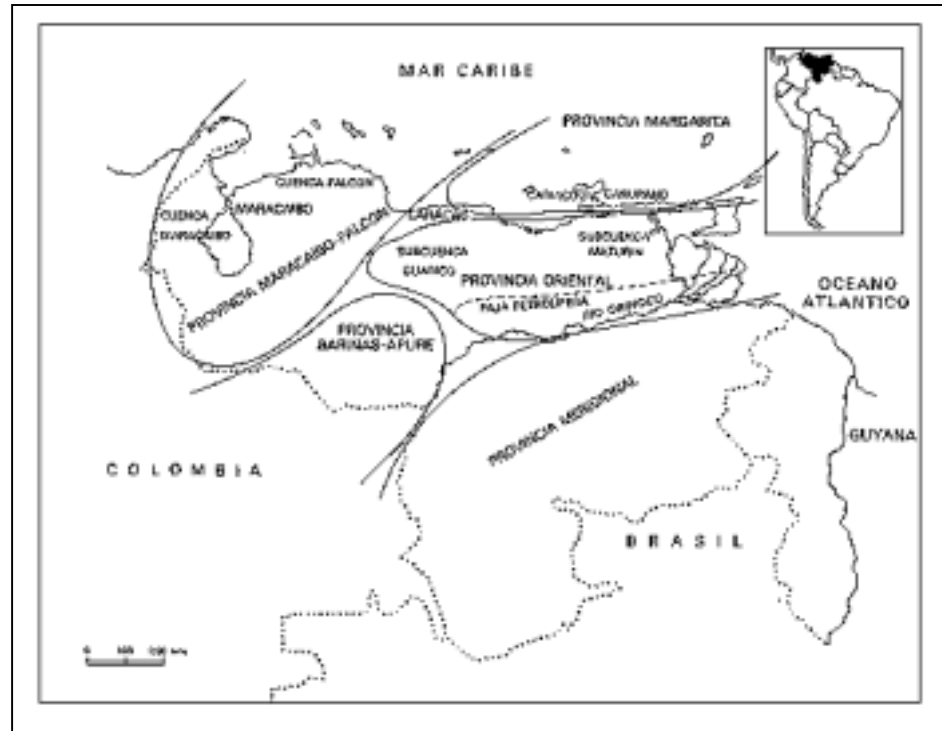


Figura-6: Províncias sedimentares da Venezuela (Mejía, *et al.*, 1988).

Baseado em estudos anteriores a cerca da geologia da área (Mejía, *et al.*, 1988 e Bryant, *et al.*, 1998), identificou-se através das correlações dos perfis dos poços, seqüências de arenitos e folhelhos intercalados, distribuindo-se por toda a área estudada. Observando-se a distribuição destas seqüências ao longo dos poços através dos perfis de RG (raio gama) pela correlação automática, principalmente destacada pelos folhelhos (Figura 16), pode-se relacionar aos vários ciclos deposicionais ocorridos durante o Cenozóico, Época do Mioceno, depois de vários ciclos deposicionais. Estes ciclos se deram principalmente por ambientes costeiros, conforme mostrado através de um mapa paleogeográfico (Figura 7).

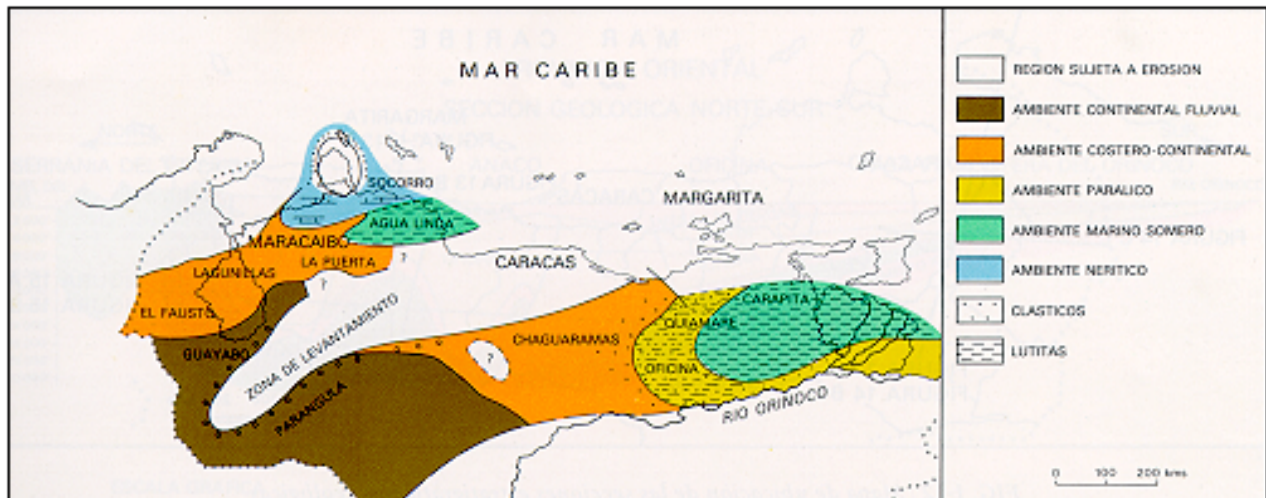


Figura-7: Mapa Paleogeográfico do Mioceno Médio (Mejía, *et al.*, 1988).

A estratigrafia da Formação Lagunillas é formada principalmente por seqüências de folhelhos, argilas e arenitos armazenadores de petróleo. Nesta seção, destaca a presença da formação Palmar, ao sudeste da Província. Correlaciona também o Grupo El Fausto com a Formação Lagunillas, posicionado na porção leste (Mejía, *et al.*, 1988).

A grande distribuição lateral da seqüência de arenito-folhelho provavelmente se dá principalmente pelos processos de transgressão marinha, distribuindo estes sedimentos durante a deposição da Formação Lagunillas.

A partir de interpretações sedimentológicas e das razões de boro/ilíta dos testemunhos, e de perfis geoquímicos, estabeleceu-se um novo conceito deposicional para o reservatório, definindo o Membro Lagunillas como sendo composto por uma seqüência transgressiva de três ciclos. Estes ciclos compreendem seqüências de arenitos e folhelhos. Estes arenitos são, sobretudo, provenientes de canais, apresentando granulometria grossa a fina. Os folhelhos apresentam-se intercalados e associados a deltas influenciados pela maré, representados por um extenso folhelho lagunal (Bryant & Villarroel, 1995).

As áreas portadoras de petróleo da bacia de Maracaibo foram submetidas a diversos eventos tectônicos, os quais condicionaram processos sedimentares e estratigráficos ao longo do tempo geológico. Estes eventos variaram intercaladamente entre fases extencionais e compressionais, expondo toda a área a longos períodos de erosão e de basculamento, o qual

influenciou na distribuição espacial do óleo confinado através de processos biodegradacionais (Ivan, *et al.*, 1998).

3.2- CONSTRUÇÃO DO BLOCO DIAGRAMA

Procede-se a uma aplicação da metodologia apresentada para a construção de um bloco diagrama representativo do comportamento estrutural de uma camada argilosa, assumida como *datum* de correlação, em cinco poços da região do Lago Maracaibo, Venezuela. Para a visualização do comportamento do *datum* de correlação, mostra-se na Figura 8 um mapa hipotético da localização dos cinco poços estudados, constituída de quatro seções as quais abrangem todos os poços utilizados no processo de correlação automática.

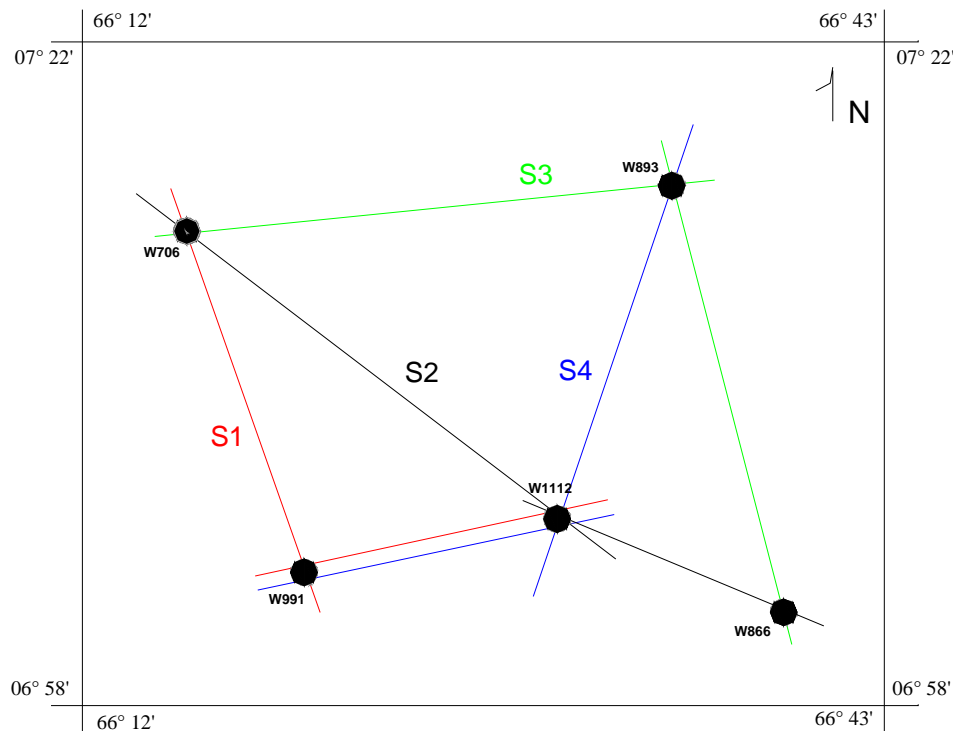


Figura-8: Mapa de localização dos poços e das seções.

Na fase de treinamento foi escolhido como poço base, o poço W1112, onde foram utilizados perfis de Raio Gama (RG), Volume de Argila (Vsh), Densidade (ρ_b) e Porosidade Neutrônica (ϕ_N), como pode ser visto na Figura 9.

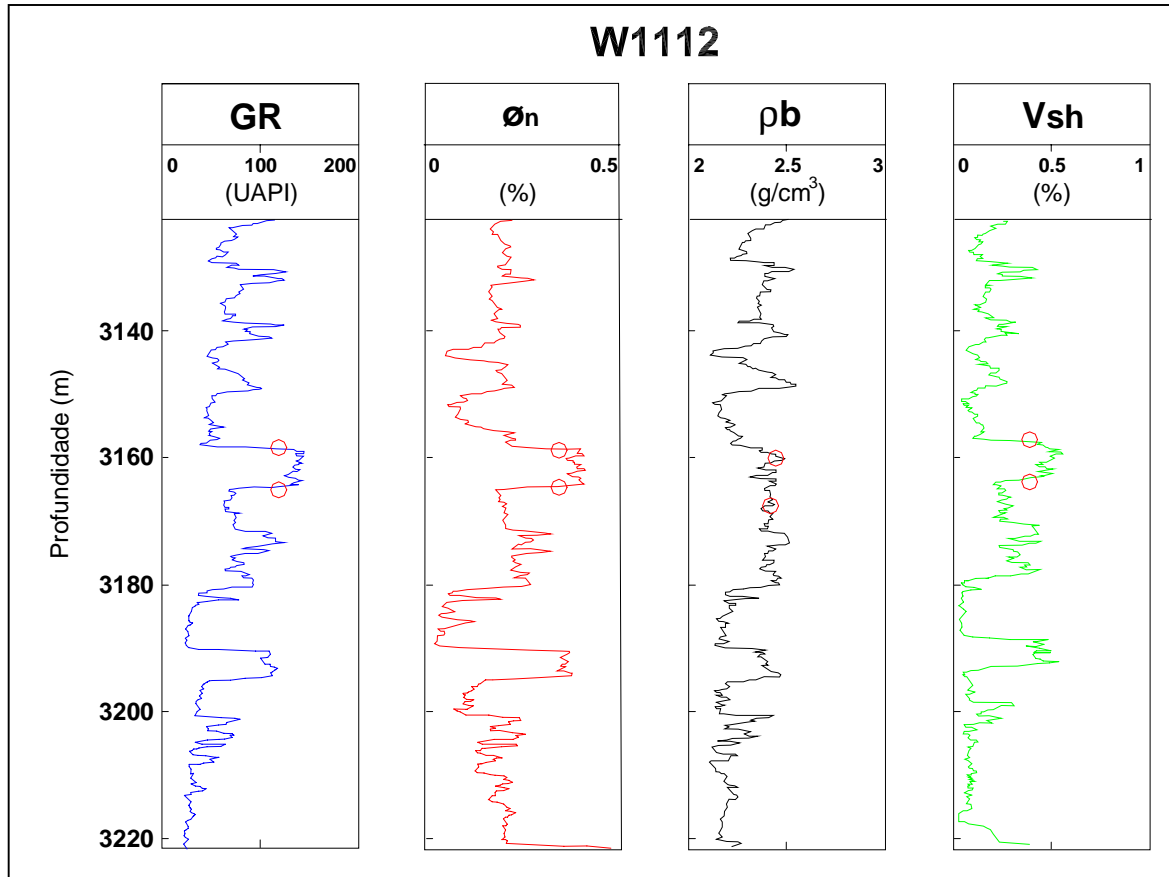


Figura-9: Treinamento realizado pela rede utilizando-se de quatro tipos de perfis durante a fase de correlação.

O poço tomado como poço base, é um poço denominado de W1112, como mostrado na Figura 9. Escolheu-se como topo do *datum*, a profundidade de 3.158,76 (m), e como base, a profundidade de 3.164,52 (m), representados como círculos nos perfis.

Os perfis de Raio Gama (RG), Volume de Argila (Vsh) e Porosidade Neutrônica (ϕ_N) apresentam em seu aspecto geral, respostas bastante semelhante no que diz respeito às respostas da ferramenta para com a formação tomada como *datum*. Este efeito nos perfis executa o trabalho de melhorar o armazenamento ou a construção da memória da rede neural, na sua fase de treinamento. O perfil de densidade é incorporado ao conjunto de treinamento no sentido de que a rede incorpore a maior quantidade de informação sobre o *datum* de correlação.

A fase de operação da rede ocorreu em diversas associações, como visto na Figura 8, através das seções S1, S2, S3 e S4. A operação da rede buscou um particular evento, *datum* de

correlação em todos os outros poços que no caso, está representado pelo mapeamento de uma camada de folhelho, base de um dos reservatórios da Formação Lagunillas.

A Figura 10 mostra três dos quatro perfis utilizados para a realização da correlação dos cinco poços na Formação Lagunillas.

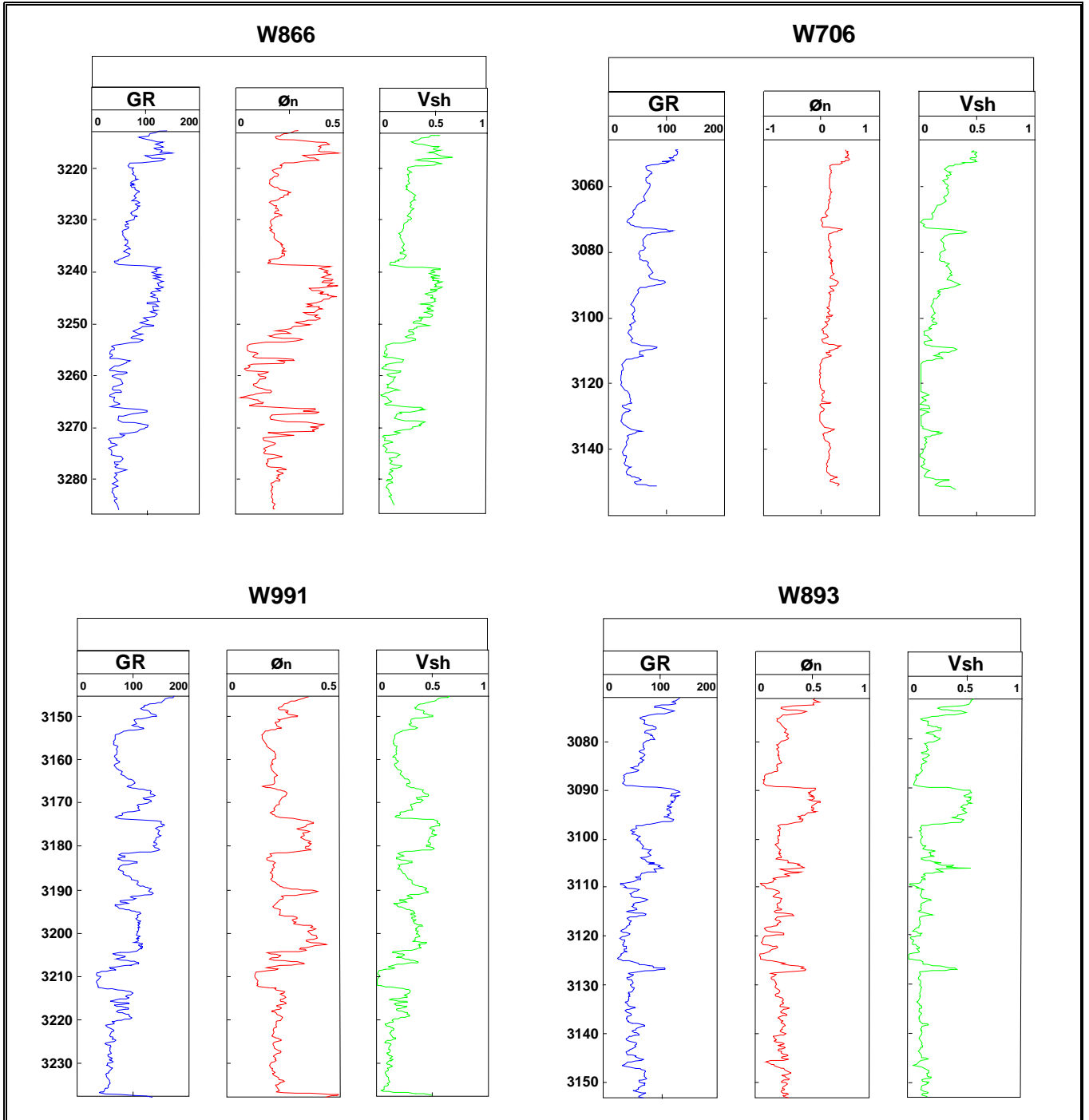


Figura-10: Poços utilizados durante a fase de operação.

Na Figura 11, é mostrado o resultado do processamento da correlação automática realizada pela rede neural, através da correlação do perímetro delimitado pelos cinco poços representados por círculos nos perfis de argilosidade (Vsh), de cada poço, mostrando as profundidades de topo e base do *datum* de correlação. Na Tabela 1, é apresentada uma comparação entre a correlação do topo e base do *datum*, produzido pela rede e a correlação realizada por um intérprete. Apresenta-se também o cálculo do erro absoluto em metros entre as duas abordagens.

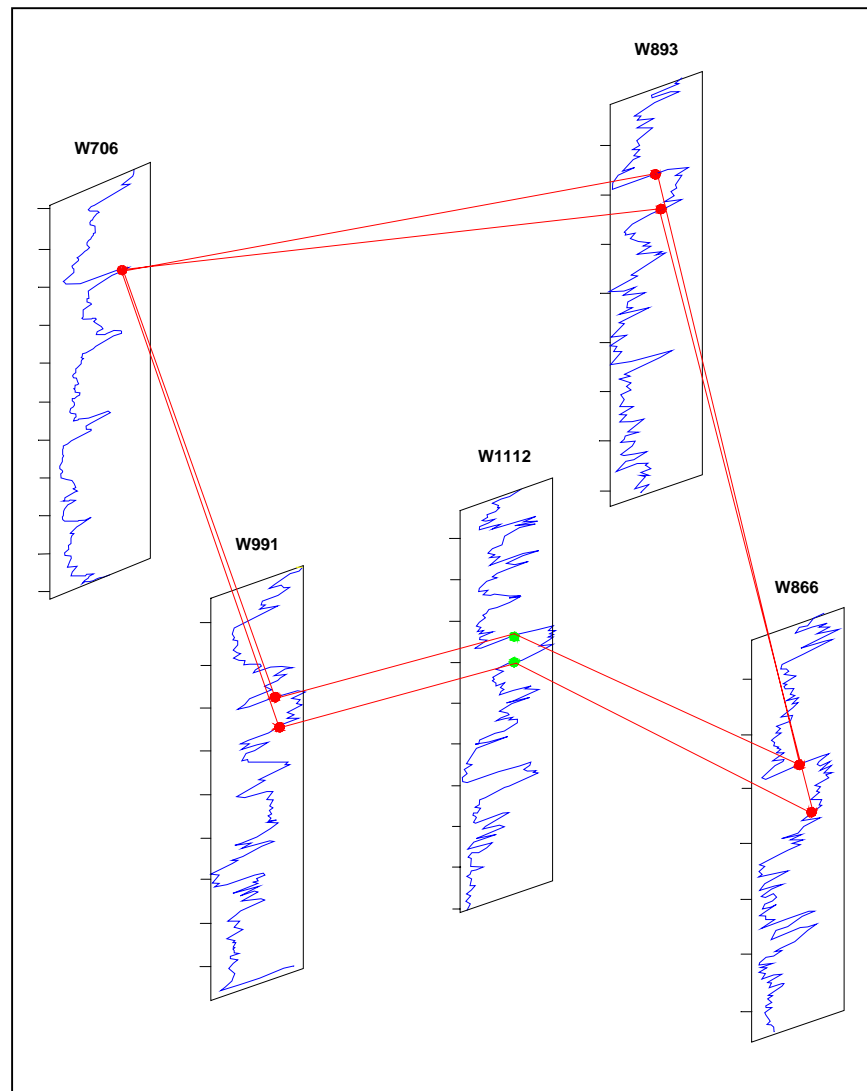


Figura-11: Correlação automática realizada pela rede de topo e base de cinco poços.

Tabela-1: Comparação entre a correlação realizada pelo intérprete e pela rede neural (profundidades em metros).

Poços	Intérprete		Rede Neural		Erro	
	Topo	Base	Topo	Base	Topo	Base
W1112	3158.76	3164.52	3158.7	3164.4	0.06	0.12
W991	3173.94	3181.26	3173.7	3180.8	0.24	0.46
W893	3089.61	3097.17	3089.8	3095.3	0.19	1.87
W866	3239.13	3243.6	3239.2	3245.9	0.07	2.23

Na Figura 12, apresenta-se a seção representativa da continuidade lateral do folhelho de direção NW–SE (segundo a seção **S1**). Observa-se que o *datum* de correlação adquire um acentuado mergulho na direção do poço W706 para o poço W991. Acompanhando este mergulho, tem-se um considerável aumento na espessura da camada de folhelho, o que não se observa no poço W706, situado mais a NW do mapa de localização.

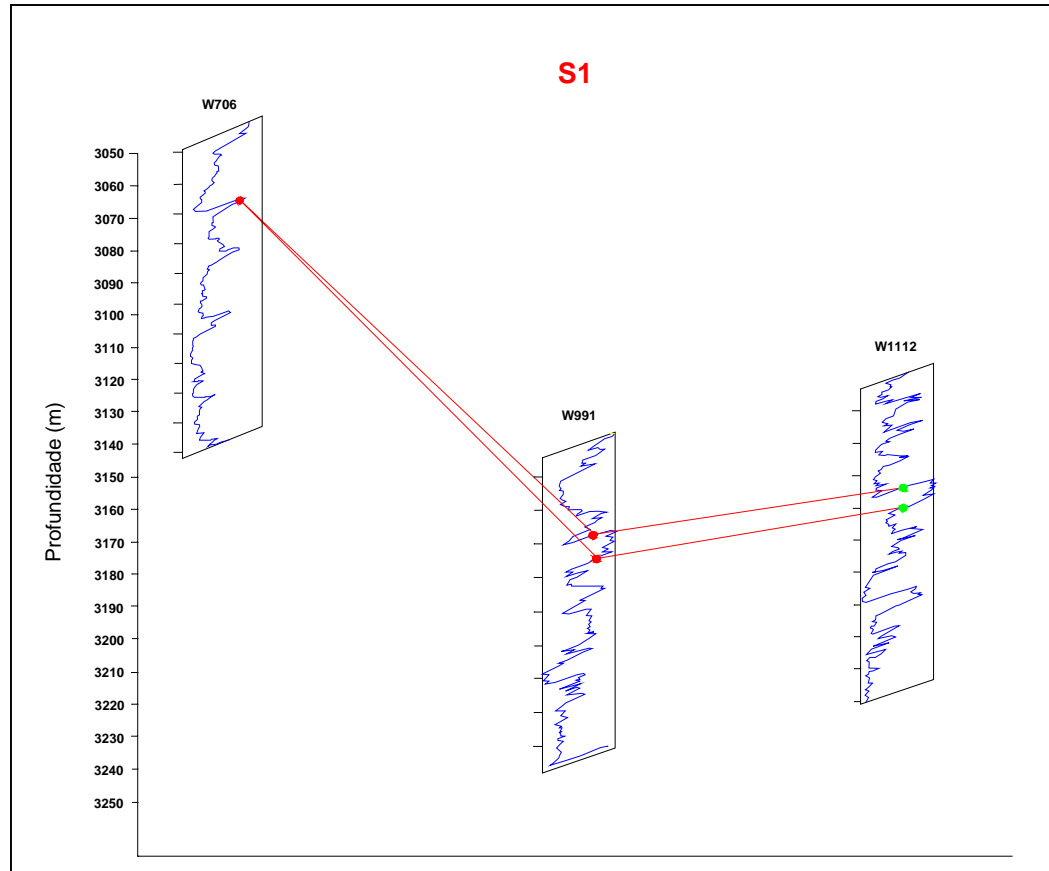


Figura-12: Seção **S1**, composta pelos poços W706, W991 e W1112.

A seção S2 é mostrada na Figura 13. Apresenta a mesma direção da seção **S1**, porém, compreende os poços W706, W1112 e W866. Observa-se o contínuo aumento da espessura da camada de folhelho, principalmente na transição do poço W1112 para o poço W866, localizado na porção mais a SE do mapa de localização da área. Nesta área, observa-se também um crescente aumento na profundidade do *datum* correlacionado.

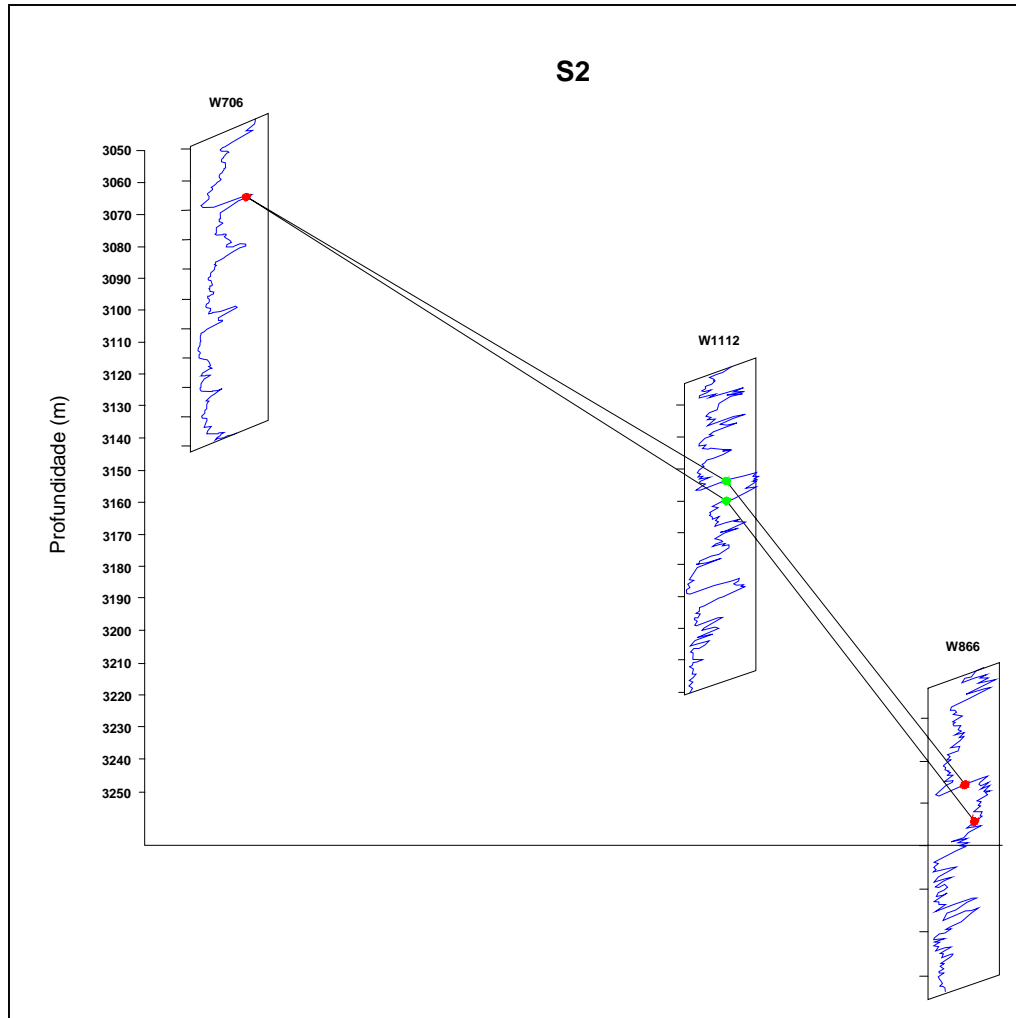


Figura-13: Seção S2, composta pelos poços W706, W1112 e W866.

A seção **S3** é apresentada na Figura 14, perfazendo a posição mais a leste do mapa de localização, representada pelos poços W706, W893 e W866. Apresenta um contínuo aumento na espessura da camada de folhelho, com suave transição de profundidade do *datum* correlacionado entre os poços W706 para o W893, porém, com um aumento considerável na espessura do folhelho e na profundidade do topo do *datum* correlacionado entre os poços W893 para o W866, passando da profundidade de topo de 3089m para a profundidade de 3239m.

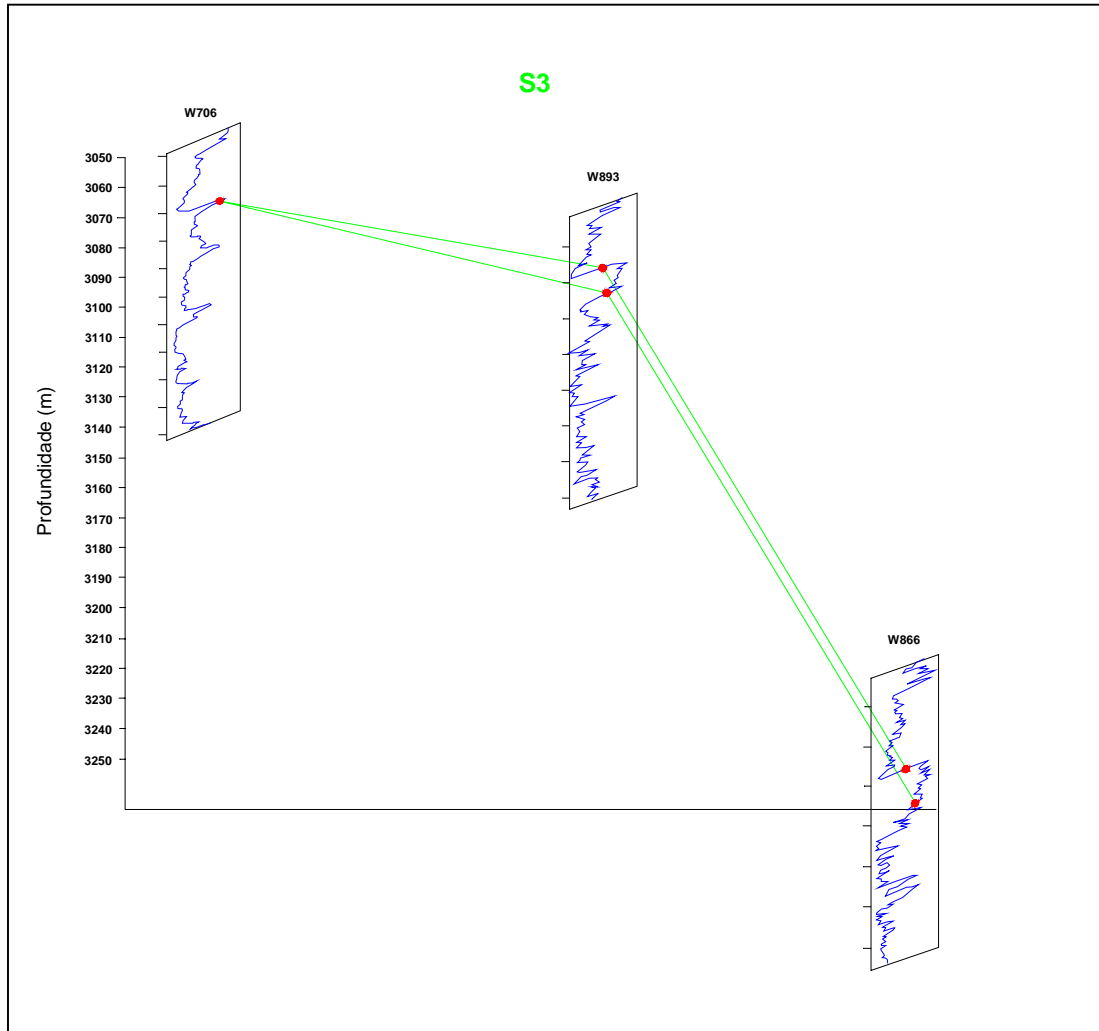


Figura-14: Seção **S3**, composta pelos poços W706, W893 e W866.

Na seção **S4**, representada pela Figura 15, perfazendo a parte mais central do mapa de localização da área (direção NE–SW), representado pelos poços W893, W1112 e W991, observa-se um suave aumento na espessura do folhelho e na profundidade do *datum* correlacionado.

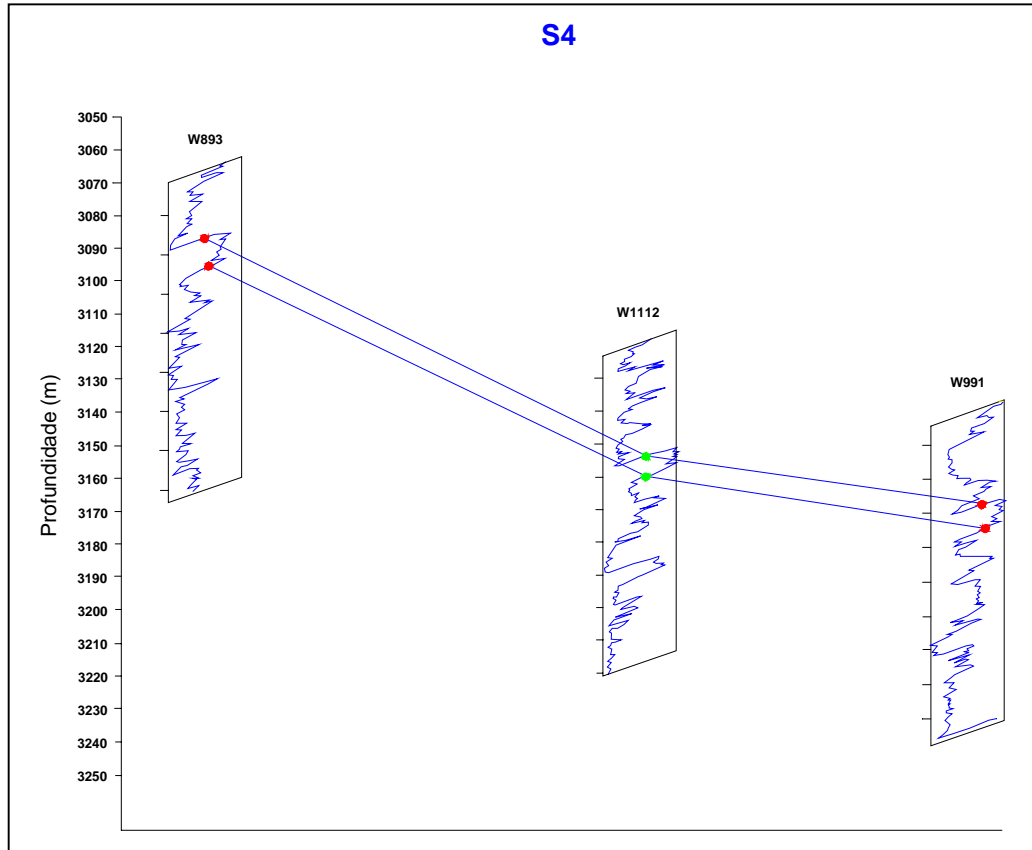


Figura-15: Seção S4, composta pelos poços W893, W1112 e W991.

A partir das correlações dos perfis foi montado um bloco diagrama (Figura 16), posicionando-se os poços de forma ilustrativa, mostrando-se a distribuição espacial do *datum* de correlação.

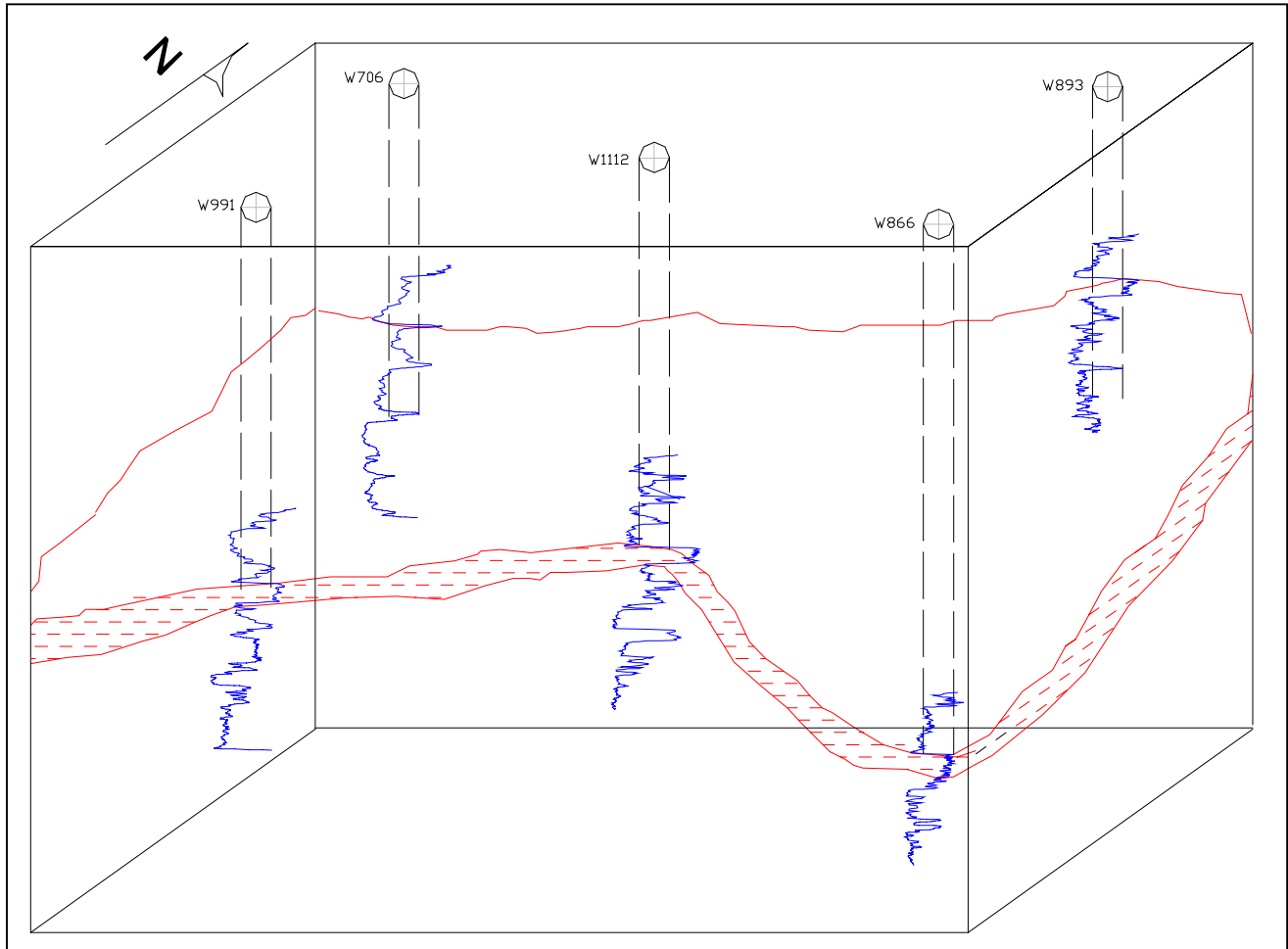


Figura-16: Bloco diagrama mostrando o comportamento do datum de correlação ao longo dos perfis, resultado da correlação automática.

No bloco diagrama tem-se a visão completa do comportamento do *datum* de correlação ao longo dos 5 (cinco) poços. Na porção NW do bloco, observa-se uma grande diminuição na espessura da camada de folhelho, o contrário das partes S e SE, onde a argilosidade é considerável. Observa-se também um grande aumento de profundidade do *datum* correlacionado nesta mesma área, principalmente na parte SE da área estudada, o que reflete no aspecto tectônico da área como um anticlinal, que possivelmente está associado aos fraturamentos e falhamentos ocorridos durante a evolução tectônica da bacia.

4- CONCLUSÕES

A correlação estratigráfica automática a partir de vários perfis geofísicos de poço utilizando as redes neurais artificiais, surge como uma nova abordagem para a modelagem da geologia de subsuperfície, que com a definição do comportamento em profundidade dos reservatórios, seja este na diversidade estratigráfica ou na complicação estrutural, habilita o intérprete a melhor avaliar e discriminar os possíveis campos produtores de hidrocarbonetos.

A rede neural artificial multicamadas mostra-se como mais uma ferramenta para a correlação de poços, a partir da utilização de vários perfis, alcançando resultados que podem se equivaler quando comparados aos resultados obtidos por um intérprete, como mostrado na Tabela 1, onde os valores alcançados pela rede são muito próximos àqueles definidos pelo intérprete.

Além dos resultados alcançados pela rede serem muito próximos dos resultados assinalados pelo intérprete, o modelo de rede aqui apresentado, se propõe a facilitar a vida do geólogo, auxiliando-o na correlação com múltiplos perfis de forma rápida, prática e eficiente, livrando-o da correlação tradicional, que envolve longos períodos de tempo, e que na maioria das vezes é cansativo e tedioso, o que aumenta as possibilidades de erro durante a correlação manual, o que não acontece quando da utilização da correlação automática, pois em questão de minutos pode-se fazer a correlação de vários perfis de diferentes poços, e ainda visualizar o comportamento do reservatório de interesse ao longo da bacia, e com isso, gerar um modelo geológico. Estas informações podem ser geradas durante a aquisição dos dados de perfilagem, e com isso, conciliar os dados de outros poços previamente correlacionados aos dados dos novos poços a serem inseridos na correlação. Assim, ainda em campo, o intérprete pode acompanhar o modelamento do reservatório por toda a bacia de estudo, e discriminar as novas perfurações a partir do modelo gerado pela correlação automática.

A utilização de vários perfis pela rede neural multicamadas mostrou-se eficiente para a realização da correlação estratigráfica, uma vez que o *datum* de correlação foi convenientemente mapeado em todos os perfis dos poços envolvidos. Destaca-se ainda, a grande exatidão na operação da rede na busca do *datum* com os quatro tipos de perfis utilizados no trabalho, resultando numa maior confiabilidade quanto à busca pelo intérprete de um possível reservatório de interesse.

O comportamento do *datum* de correlação observado no bloco diagrama montado a partir das correlações dos cinco poços, mostra-nos um possível anticlinal associado aos eventos tectônicos ocorridos na bacia durante sua evolução. Segundo Ivan *et al.* (1998), estas áreas portadoras de petróleo na bacia de Maracaibo, a qual está inserido o Membro Lagunillas, foram submetidas a diversos eventos tectônicos, variando entre fases extencionais e compressionais, expondo toda a área a longos períodos de erosão e de basculamento, o qual influenciou na distribuição espacial do óleo confinado.

Apesar da complexidade de se transportar informações geológicas de um ponto para outro da bacia, o método apresentado é mais uma ferramenta a disposição do geólogo para auxiliá-lo na delimitação do reservatório de interesse, de modo à facilmente integrar a informação de novos poços para a proposição do modelo geológico para o reservatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. J. N. & LUTHI, S. M. 1997. Correlação estratigráfica de perfis de poço através de rede neural direta multicamadas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 5., São Paulo, 1997. *Anais...*, São Paulo, SBGf, v.1, p. 369-372.
- BRYANT, I. D. & VILLARROEL, H. G. 1995. *Sedimentology of the lower Lagunillas reservoir, pilot area, bloque IV, Lake Maracaibo, Venezuela*. p.1-15 (SPE).
- BRYANT, I. D.; BAYGÜN, B.; HERRON, M. M.; MATTESON, A.; RAMAMOORTHY, R.; STEWART, L.; TARIQ, S. M.; COLL, C.; CORDOVA, P.; VILLARROEL, H. G.; HERNÁNDEZ, L.; JIMENEZ, Z.; LEÓN, K.; RONDÓN, L. 1998. *Integration of old and new measurements to optimize redevelopment of the lower Lagunillas reservoir of bloque IV, Lake Maracaibo, Venezuela*. Society of Petroleum Engineers. SPE Reservoir Evaluation & Engineering. p.180-191. Paper (SPE 36096).
- FISCHETTI, A. I. & ANDRADE, A. 1999. Automatic first break picking in seismic traces by neural network. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 6., Rio de Janeiro, 1999. *Anais...*, Rio de Janeiro, SBGf. CD-ROM.
- GONÇALVES, C. A.; HARVEY, P. K.; LOVELL, M. A. 1995. Using a multilayer neural network and statistical techniques to characterize oceanic crust. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 4., Rio de Janeiro, 1995. *Anais...*, Rio de Janeiro, SBGf, v.2, p.747-748.
- HAYKIN, S. 2001. *“Redes neurais – princípios e prática”*. 2.ed., Porto Alegre, Bookman.
- IVAN, R.; NAVARRO, A.; GHOSH, S. 1998. *Nueva frontera exploratoria en la cuenca petrolífera del Lago de Maracaibo: Zulia Orienta, Venezuela Occidental*. p. 565-582.

- LANG, W., H. 1986. Correlation with multiple logs. *The Log Analyst*.
- LUTHI, S. M.; BRYANT, I.; VILLAROEL, H. G. 1995. "Well log correlation using backpropagation neural networks". In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 4., Rio de Janeiro, 1995. *Anais...*, Rio de Janeiro, SBGf, v.2, p.733-736.
- MEJÍA, D. P.; KISER, G. D.; MAXIMOWITSCH, B.; YOUNG, G. A. 1988. *Geologia de Venezuela*. pag.: I.1 – I.23.
- PARKER, D. B. 1985. *Learning – logic: casting the cortex of the human brain in silicon*. Technical Reporter TR-44, Center for Computational Research in Economics and Management Science.
- PIRSON, S. J. 1977. *Geologic Well Log Analysis*. 2. ed., Houston, Gulf.
- RUMELHART, D. E., & J. L. McCLELLAND (eds.). 1986. *Parallel Distributed Processing: explorations in the microstructure of cognition*, Vol. 1. Cambridge, MA, MIT Press.
- SCHLUMBERGER WELL SERVICES. 1989. "*Principios/Aplicaciones de la Interpretación de Registros*". Mexico. p.1-198.
- SERRA, O. 1989. *Sedimentary Environments from Wireline logs*. Schlumberger. 2. ed., p.1-234.
- SERRA, O. & ABBOTT, H.T. 1982. The Contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy. In: FALL TECHN. CONF. SPE OF AIME, 55., *Analles...* (paper SPE 9270).