



# As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 3

---

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a  
Economia e o Meio Ambiente 3

Atena Editora  
2019



2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 3 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 3)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-432-0 DOI 10.22533/at.ed.320192506</p> <p>1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS CERÂMICOS DE ALUMINA-ZIRCÔNIA PARA APLICAÇÃO COMO FERRAMENTAS DE CORTE	
Miguel Adriano Inácio	
Maria do Carmo de Andrade Nono	
José Vitor Cândido de Souza	
Sergio Luiz Mineiro	
Daniel Alessandro Nono	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3201925061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE MODELO ELASTOPLÁSTICO EM ROCHA CARBONÁTICA CARSTIFICADA	
Rayane Conceição Ribeiro da Silveira Mattos	
Daniel Araújo Farias de Melo	
Marinésio Pinheiro de Lima	
Tiago de Freitas Viana	
Igor Fernandes Gomes	
Leonardo José do Nascimento Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3201925062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
A INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO EM AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS COM APLICAÇÃO EM PRÓTESES ORTOPÉDICAS	
Glauber Rodrigues Cerqueira de Cerqueira	
Pedro Eliézer de Araújo Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3201925063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>42</b>
MICROPOROUS ACTIVATED CARBON FIBER FELT FROM BRAZILIAN TEXTILE PAN FIBER: PREPARATION, CHARACTERIZATION AND APPLICATION AS SUPERCAPACITOR ELECTRODE	
Jossano Saldanha Marcuzzo	
Aline Castilho Rodrigues	
Andres Cuña	
Nestor Tancredi	
Eduardo Mendez	
Heide Heloise Bernardi	
Mauricio Ribeiro Baldan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3201925064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>55</b>
ANÁLISE COMPARADA DE UM AGREGADO DE ESCÓRIA DE ACIARIA COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA LASTRO DE VIAS FÉRREAS DO TIPO <i>HEAVY HAUL</i> POR MEIO DE ENSAIOS TRIAXIAIS	
Bruno Guimarães Delgado	
Antônio Viana da Fonseca	
Eduardo Fortunato	
Daniela Raquel Ferreira Coelho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3201925065</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>71</b>
CARACTERIZAÇÃO EM FADIGA POR FLEXÃO ROTATIVA DE FIOS DE ARAME DE SOLDA	
Ingrid Ariani Belineli Barbosa	
Heide Heloise Bernardi	
William Marcos Muniz Menezes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3201925066</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>80</b>
ESTUDO DA MICROESTRUTURA NA ZONA TERMICAMENTE AFETADA COM A VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM	
Luís Henrique Pires da Silva	
Alex Sander Chaves da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3201925067</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>92</b>
ESTUDO DA USINAGEM DA SUPERLIGA A BASE DE FERRO-NÍQUEL UTILIZANDO FERRAMENTA CERÂMICA	
Eduardo Pires Bonhin	
Sarah David Müzel	
Marcel Yuzo Kondo	
Lúcia de Almeida Ribeiro	
José Vitor Candido de Souza	
Marcos Valério Ribeiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3201925068</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>100</b>
CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE NÉVOA SALINA ATENDENDO AOS REQUISITOS MÍNIMOS CONTIDOS NAS NORMAS ISO 9227 e ASTM B-117	
Leonardo de Souza Coutinho	
Alexandre Alvarenga Palmeira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3201925069</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>111</b>
MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA: COLHEITADEIRAS AXIAIS X RADIAIS	
Filipi José Arantes Lemos	
João Mario Mendes de Freitas	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250610</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>127</b>
MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA PARA O PROJETO DE MODELOS DE BIELAS E TIRANTES	
Jamile Maria Araujo Tavares	
Rejane Martins Fernandes Canha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250611</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>142</b>
ESTUDO NUMÉRICO DE UM EQUIPAMENTO DE SECAGEM	
Eduardo Dal Piva Schuch	
Magaiver Gabriel Lamp	
Conrado Mendes Morais	
Ângela Beatrice Dewes Moura	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250612</b>	

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>153</b>
SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA A COMBUSTÃO DE GASOLINA	
Felipe Michael Grein	
Jean Lucas Pereira	
Luiz Felipe Weck	
Olaf Graupmann	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250613</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>156</b>
MODELAGEM DE PID PARA SISTEMA DE CONTROLE DE RAMPAS DE TEMPERATURA EM BRASSAGEM	
Gabriel Queiroz	
Marcelo Barros de Almeida	
Márcio Jose da Cunha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250614</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>168</b>
MODELAGEM MATEMÁTICA DE SISTEMAS DINÂMICOS: UMA ABORDAGEM DIDÁTICA	
Lucas Divino Alves	
Neylor Makalister Ribeiro Vieira	
Emerson Paulino dos Reis	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250615</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>183</b>
APLICAÇÃO E ANÁLISE VIA MEC EM PROBLEMAS DE TERMOELASTICIDADE 2D	
Luis Vinicius Pereira Silva	
Gilberto Gomes	
João Carlos Barleta Uchôa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250616</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>198</b>
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA INJEÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO HETEROGÊNEO	
Raquel Oliveira Lima	
José Arthur Oliveira Santos	
Antônio Jorge Vasconcellos Garcia	
Felipe Barreiros Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250617</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>207</b>
TANQUES FLASH: DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS NO SOFTWARE DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO EMSO	
Erich Potrich	
Sérgio Correia da Silva	
Larissa Souza Amaral	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250618</b>	



<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>215</b>
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DEPOSIÇÃO ORGÂNICA EM OPERAÇÕES DE MISTURA DE PETRÓLEOS NO TANQUE DE ESTOCAGEM EM REFINARIAS DE PETRÓLEO	
Rosberguer de Almeida Camargo	
Mauren Costa da Silva	
Rafael Beltrame	
Darci Alberto Gatto	
Antônio Carlos da Silva Ramos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250619</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>223</b>
AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA MENSURAR A ILUMINÂNCIA EM UM AVIÁRIO EXPERIMENTAL	
Giovanni Polette Dalla Libera	
Victor Moreira Leão	
Vitor Augusto de Sousa	
Matheus Fernando Lima Zuccherelli de Souza	
Renata Lima Zuccherelli de Oliveira	
Marcelo Eduardo de Oliveira	
Adriano Rogério Bruno Tech	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250620</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>230</b>
CONTROLADOR FUZZY SINTONIZADO POR ALGORITMO GENÉTICO EM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	
Lenon Diniz Seixas	
Diego Solak Castanho	
Hugo Valadares Siqueira	
Fernanda Cristina Corrêa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250621</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>243</b>
CONTROLADORES ROBUSTO APLICADO A CONVERSORES CC-CC	
Luiz Otávio Limurci dos Santos	
Luiz Antonio Maccari Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250622</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>261</b>
PROPOSTA DE PLATAFORMA PARA ESTUDO DE MOTOR A RELUTÂNCIA VARIÁVEL 8/6	
Marcos José de Moraes Filho	
Luciano Coutinho Gomes	
Darizon Alves de Andrade	
Josemar Alves dos Santos Junior	
Wanberton Gabriel de Souza	
Cássio Alves de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250623</b>	

<b>CAPÍTULO 24 .....</b>	<b>275</b>
ESTUDO COMPARATIVO DE MODELAGENS DE ENROLAMENTOS DE UM TRANSFORMADOR UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS PARA ANÁLISES DE ESFORÇOS ELETROME CÂNICOS	
Pedro Henrique Aquino Barra Arnaldo José Pereira Rosentino Junior Antônio Carlos Delaiba	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250624</b>	
<b>CAPÍTULO 25 .....</b>	<b>287</b>
PROCEDIMENTO PARA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DO LAÇO DE HISTERESE MAGNÉTICA	
Vitor Hörbe Pereira Da Costa Antônio Flavio Licarião Nogueira Leonardo José Amador Salas Maldonado	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250625</b>	
<b>CAPÍTULO 26 .....</b>	<b>294</b>
SIMULAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO E CORRENTE ELÉTRICA EM TECIDOS BIOLÓGICOS	
Guilherme Brasil Pintarelli Afrânio de Castro Antonio Jr. Raul Guedert Sandra Cossul Daniela Ota Hisayasu Suzuki	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250626</b>	
<b>CAPÍTULO 27 .....</b>	<b>307</b>
SISTEMA DE PRESENÇA UTILIZANDO IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA	
Giovani Formaggio Mateus Ricardo Barroso Leite	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250627</b>	
<b>CAPÍTULO 28 .....</b>	<b>322</b>
SISTEMAS DEFASADORES EM ALTA FREQUÊNCIA UTILIZANDO MICROFITA EM SUBSTRATO FR4	
Jobson De Araújo Nascimento José Moraes Gurgel Neto Alexsandro Aleixo Pereira da Silva Regina Maria de Lima Neta	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250628</b>	
<b>CAPÍTULO 29 .....</b>	<b>333</b>
ANÁLISES DA RUPTURA EM TRECHO DA BR-060 NO MUNICÍPIO DE ALEXÂNIA, GOIÁS, E CONDIÇÕES APÓS SEIS ANOS DA RECUPERAÇÃO	
Rideci Farias Tiago Matias Lino Haroldo da Silva Paranhos Itamar de Souza Bezerra Ranieri Araújo Farias Dias Alexsandra Maiberg Hausser	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32019250629</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>346</b>

## SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA INJEÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO HETEROGÊNEO

### **Raquel Oliveira Lima**

Universidade Federal de Pernambuco;  
Recife - Pernambuco

### **José Arthur Oliveira Santos**

Universidade Federal de Sergipe;  
São Cristóvão - Sergipe

### **Antônio Jorge Vasconcellos Garcia**

Universidade Federal de Sergipe;  
São Cristóvão - Sergipe

### **Felipe Barreiros Gomes**

Universidade Federal de Sergipe;  
São Cristóvão – Sergipe

**RESUMO:** Nos dias atuais praticamente todos os aspectos dos problemas de engenharia de reservatórios são resolvidos através de simulações numéricas, uma vez que permitem a construção de modelos dinâmicos para prever o comportamento dos fluidos no reservatório e determinar cenários de produção e depleção baseados em diferentes variáveis. O emprego da injeção de água como método de recuperação para reservatórios heterogêneos ou que apresentam pouca continuidade deve ser avaliado previamente através de estudos de simulação, pois o efeito da injeção de água pode não se estender ao poço produtor e fazer com que a água escoe por fraturas ou caminhos preferenciais causando uma produção de água

elevada. A seleção adequada do arranjo de poços de acordo com a distribuição permo-porosa do reservatório pode retardar a produção da água injetada em alguns anos e aumentar a fração de óleo recuperada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Simulação de fluxo; Injeção de água; Locação dos poços.

### NUMERICAL SIMULATION OF WATER INJECTION IN HETEROGENEOUS PETROLEUM RESERVOIR

**ABSTRACT:** Nowadays practically all aspects of reservoir engineering problems are solved through numerical simulations, since they allow the construction of dynamic models to predict the behavior of fluids in the reservoir and to determine production and depletion scenarios based on different variables. The use of water injection as a recovery method for heterogeneous or low continuity reservoirs should be previously evaluated through simulation studies, since the effect of water injection may not extend to the producing well and cause the water to flow through fractures or preferred pathways causing high water production; Proper selection of the well arrangement according to the permo-porous distribution of the reservoir may delay the production of the injected water in a few years and increase the fraction of recovered oil.

**KEYWORDS:** Flow simulation; water injection; well arrangement.

## 1 | INTRODUÇÃO

As acumulações de petróleo possuem uma certa quantidade de energia quando são descobertas, denominada de energia primária. Durante o processo de produção em um reservatório de petróleo ocorre a dissipação dessa energia primária, causada pela descompressão dos fluidos do reservatório e pelas resistências encontradas pelos mesmos ao fluírem em direção aos poços de produção. O consumo da energia primária reflete-se principalmente no decréscimo da pressão do reservatório durante a sua vida produtiva (Rosa, 2006).

A energia primária do reservatório pode ser suplementada através da injeção de certos fluidos em poços selecionados. Em muitos casos, o esquema de produção é inicialmente previsto com implantação de algum método de recuperação suplementar, já que na maioria dos reservatórios, a manutenção da pressão é essencial para manter a vazão de produção. A estratégia inicial para desenvolver um projeto de recuperação suplementar é selecionar o fluido de injeção e a disposição dos poços mais adequada para o reservatório de acordo com as suas características geológicas e as propriedades dos fluidos que o saturam.

A injeção de água tem uma ampla história de aplicação na indústria do petróleo, sendo um método de recuperação secundária comum em todo mundo, uma vez que em muitas áreas produtoras a oferta de água é abundante e barata. Assim, água é injetada para suplementar a energia natural do reservatório, deslocar o óleo em direção aos poços produtores e manter as taxas de produção. Os trabalhos desenvolvidos por (Prasad *et al.*, 2000), (Silva, 2012), (Chandrashegaran, 2015), (Liu *et al.*, 2016) e (Clemes *et al.*, 2017), tratam da injeção de água em reservatórios de petróleo.

Em geral, devido à complexidade dos reservatórios e das equações diferenciais parciais que governam o fluxo em meios porosos, os modelos matemáticos são convertidos em formulações numéricas que são resolvidas para um conjunto discreto de pontos no reservatório através de algoritmos. Nos dias atuais praticamente todos os aspectos dos problemas de engenharia de reservatório são resolvidos através de simuladores de reservatórios, uma vez que permite que os engenheiros construam modelos dinâmicos para prever o movimento dos fluidos no reservatório e sejam capazes de determinar cenários de produção e depleção baseados em diferentes variáveis (ISLAM *et al.*, 2010).

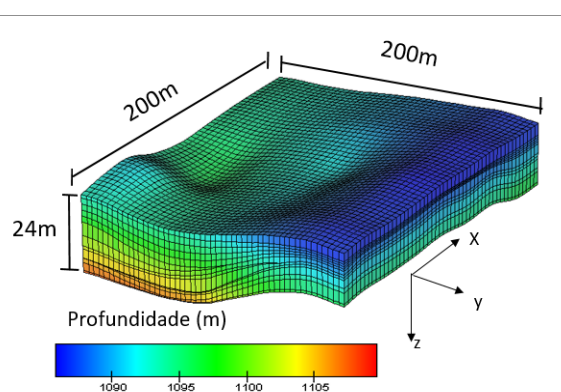
O objetivo deste estudo é avaliar a locação de poços produtores e injetores para um reservatório de petróleo heterogêneo submetido a injeção de água, através de modelos de simulação numérica.



## 2 | METODOLOGIA

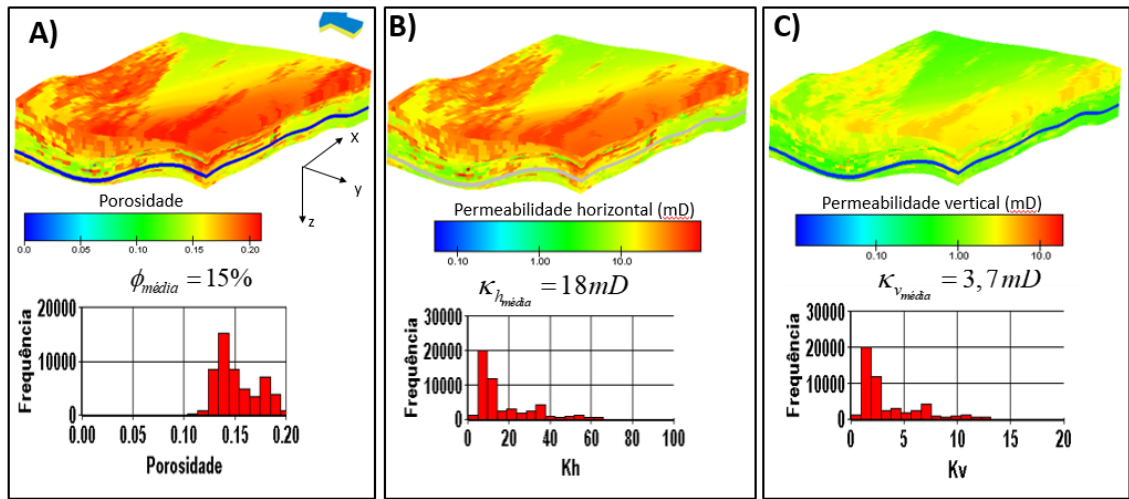
Os modelos de simulação foram executados no simulador de fluxo comercial *TEMPEST MORE* (versão 7.1) da ROXAR® com modelagem do tipo *Black-oil*. O sistema de discretização utilizado pelo simulador é o de volumes finitos. Mais informações sobre a formulação matemática empregada nesse *software* pode ser encontrada em (Roxar, 2012).

O modelo geológico foi construído no *software* RMS® (versão 2013.1) a partir de dados multiescalares coletados na pedra Tatu, localizada no município de Japoatã/SE. O afloramento estudado tem sua gênese relacionada aos depósitos flúvio-deltaicos da Formação Feliz Deserto (Campos Neto *et al.*, 2007), representando intercalações de barras de desembocadura, canais distributários e baías interdistributárias, sendo considerado análogo a uma zona produtora da Bacia Sergipe-Alagoas (Borba, 2009). A discretização do domínio em estudo é ilustrada na **Fig.1**.



**Figura 1** - Características do grid de simulação. O grid é do tipo corner point e apresenta um total de 70000 células, sendo 50 células na direção x, 50 células na direção y e 28 células na direção z.

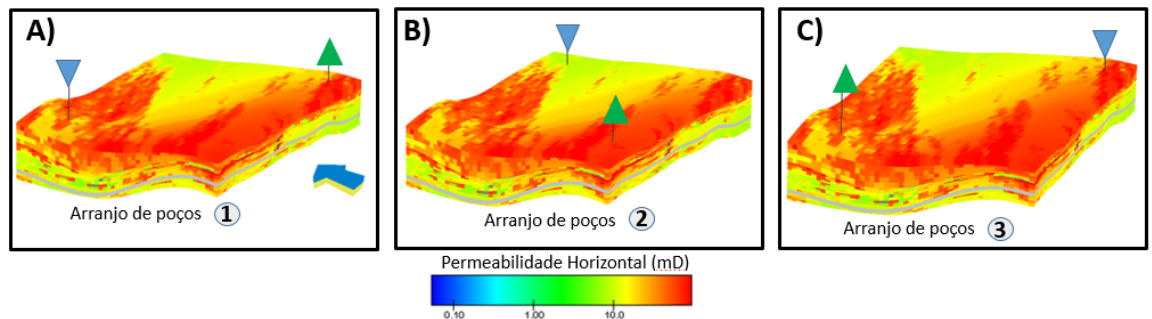
A **Fig.2** ilustra a distribuição da porosidade e das permeabilidades do modelo de simulação. Observa-se uma distribuição heterogênea da porosidade com os valores de porosidade, variando entre 0,0% e 20%, enquanto a distribuição de permeabilidade segue o mesmo padrão da distribuição da porosidade.



**Figura 2** - Distribuição espacial da porosidade (A), permeabilidade horizontal (B) e permeabilidade vertical (C) do modelo de simulação.

A pressão estática inicial foi de 110,2 kgf/cm<sup>2</sup>, a uma profundidade de referência de 1102 metros, a qual encontra-se acima da pressão de saturação (70 kgf/cm<sup>2</sup>). O óleo que satura o reservatório é um óleo leve (40° API). O reservatório é preferencialmente molhável à água e a saturação residual de óleo foi de 20%.

A localização dos poços produtor e injetor é ilustrada na **Fig.3**. Todos os poços são verticais e foram abertos ao mesmo tempo.



**Figura 3** - Localização dos 3 arranjos de poços do tipo 1/4 de *five spot*. O poço produtor é ilustrado em verde, enquanto o injetor é ilustrado em azul.

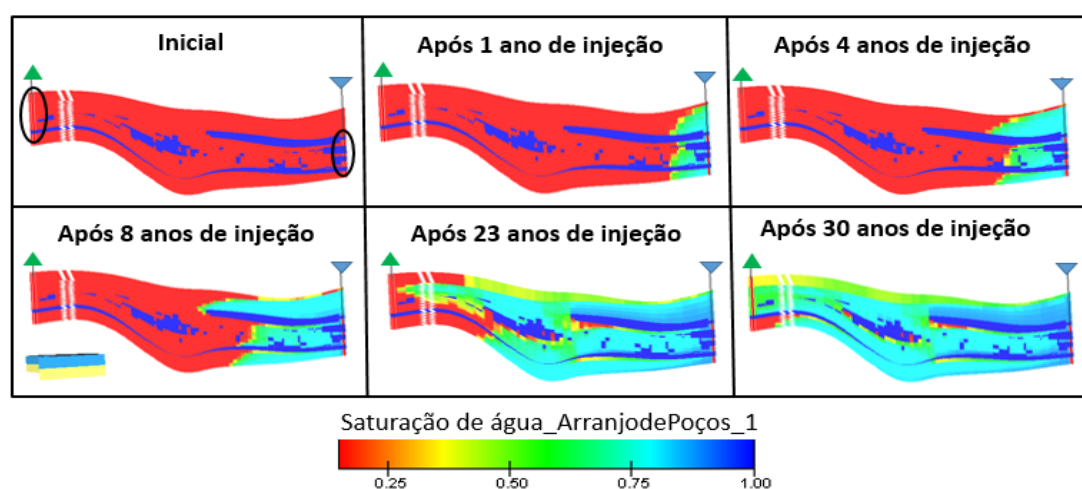
Os casos de simulação consistem da injeção contínua de água para os arranjos de poços ilustrados na **Fig.3**. Foi definida a mesma vazão de injeção para os três casos analisados, igual a 3 sm<sup>3</sup>/dia, assim como também foi definida a mesma pressão de fundo para o poço produtor (90 kgf/cm<sup>2</sup>). O comportamento do reservatório foi avaliado para um período de produção igual a 30 anos (2017 a 2047).

Os parâmetros usados para a comparação dos casos estudados foram o corte de água, a pressão de injeção e a fração de óleo recuperada.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Arranjo de poços 1

A saturação de água ao longo de um plano é ilustrada na **Fig.4**. A frente de avanço de água não é uniforme, uma vez que o meio poroso estudado é heterogêneo. Além disso, por gravidade, a água tenderia a se deslocar em direção às regiões mais profundas do reservatório. Entretanto, a água injetada se desloca verticalmente para o topo do reservatório devido aos maiores valores de permeabilidade dessa região, conforme ilustrado na **Fig.2**. Para este arranjo, a água injetada atinge o poço de produção aproximadamente após 23 anos de produção.



**Figura 4** - Saturação de água ao longo do tempo para um plano vertical passando pelos poços produtor e injetor. O intervalo de completação é ilustrado em preto. Arranjo de poços 1.

A saturação de água final ao longo de algumas camadas do modelo é ilustrada na Fig.5. É possível perceber que após os 30 anos de produção, a água injetada atinge o poço de produção nas camadas superiores, o que não é observado nas camadas inferiores. Esse comportamento é resultado da distribuição da permeabilidade heterogênea do reservatório.

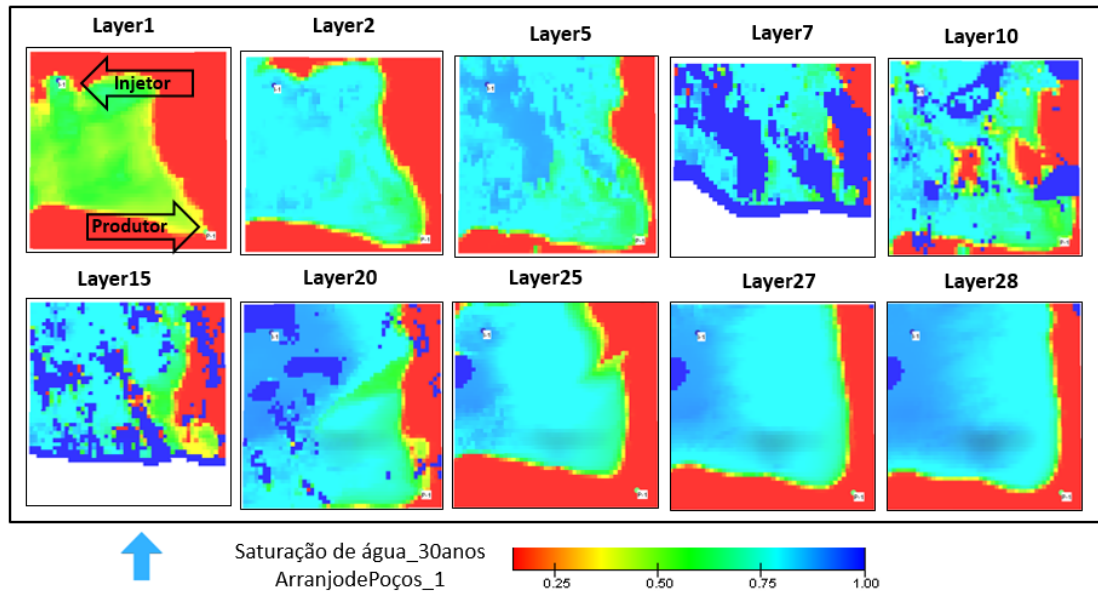


Figura 5 - Frente de avanço de água após 30 anos de injeção/produção-Arranjo de poços 1.

### 3.2 Arranjo de poços 2

A saturação de água ao longo de um plano é ilustrada na **Fig.6**. Para esse arranjo de poços, a frente de avanço de água é mais homogênea quando comparada à frente de avanço do arranjo de poços 1 (**Fig.4**), resultando no retardamento da produção de água injetada.

A saturação de água final ao longo de algumas camadas do modelo é ilustrada na **Fig.7**. Foi observado o mesmo comportamento do arranjo de poços 1 (**Fig.5**), a água injetada não atinge o poço produtor nas camadas inferiores.

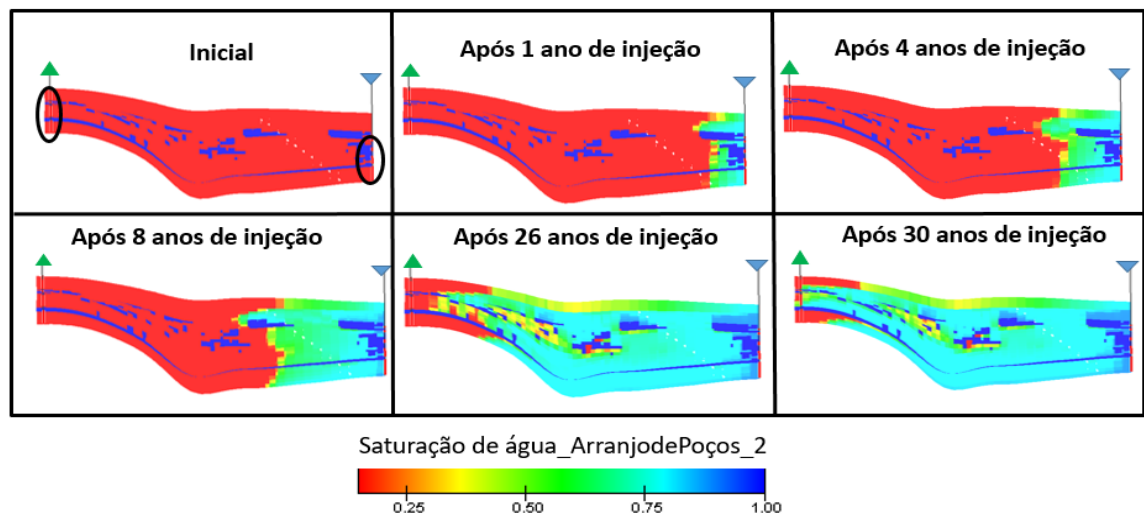


Figura 6 - Saturação de água ao longo do tempo para um plano vertical passando pelos poços produtor e injetor-Arranjo de poços 2.



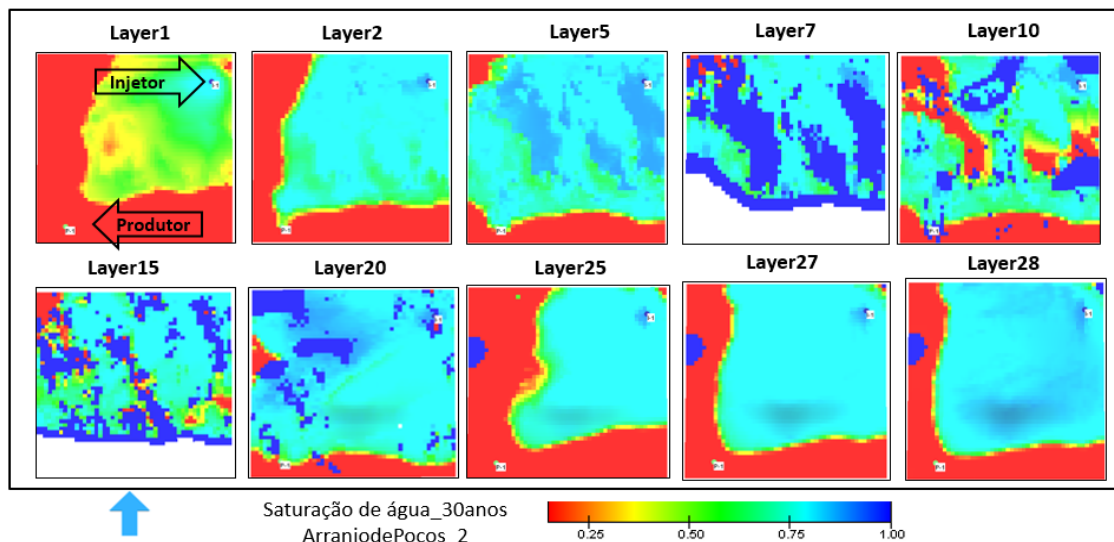


Figura 7 - Frente de avanço de água após 30 anos de injeção/produção-Arranjo de poços 2.

### 3.3 Arranjo de poços 3

A saturação de água ao longo de um plano é ilustrada na **Fig.8**. É possível observar que a água injetada se desloca em direção ao poço produtor por caminhos preferenciais de maior permeabilidade no topo do reservatório. Assim, devido a formação desses caminhos preferenciais, a água injetada começou a ser produzida sem efetivamente promover o deslocamento do óleo em todas as camadas do reservatório.

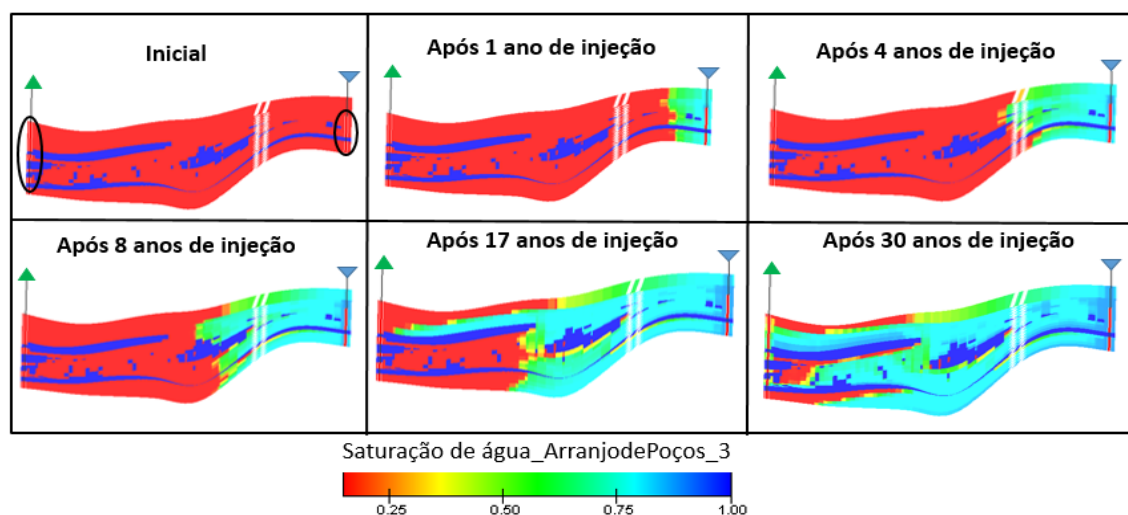


Figura 8 - Saturação de água ao longo do tempo para um plano vertical passando pelos poços produtor e injetor-Arranjo de poços 3.

A saturação de água final ao longo de algumas camadas do modelo é ilustrada na **Fig.9**. Esse arranjo de poços apresenta comportamento similar aos arranjos anteriores.

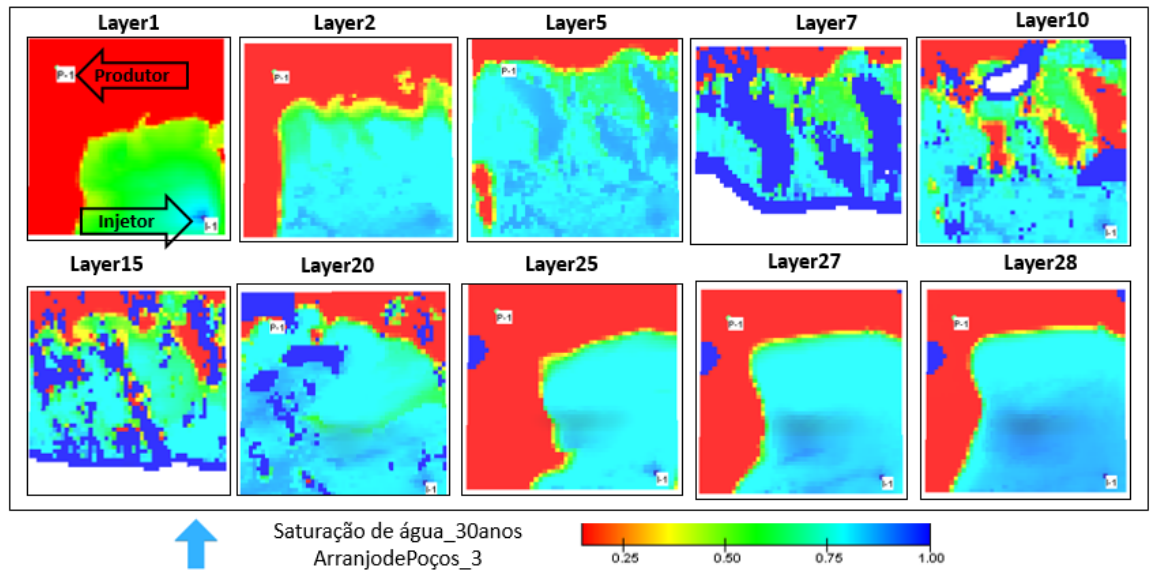


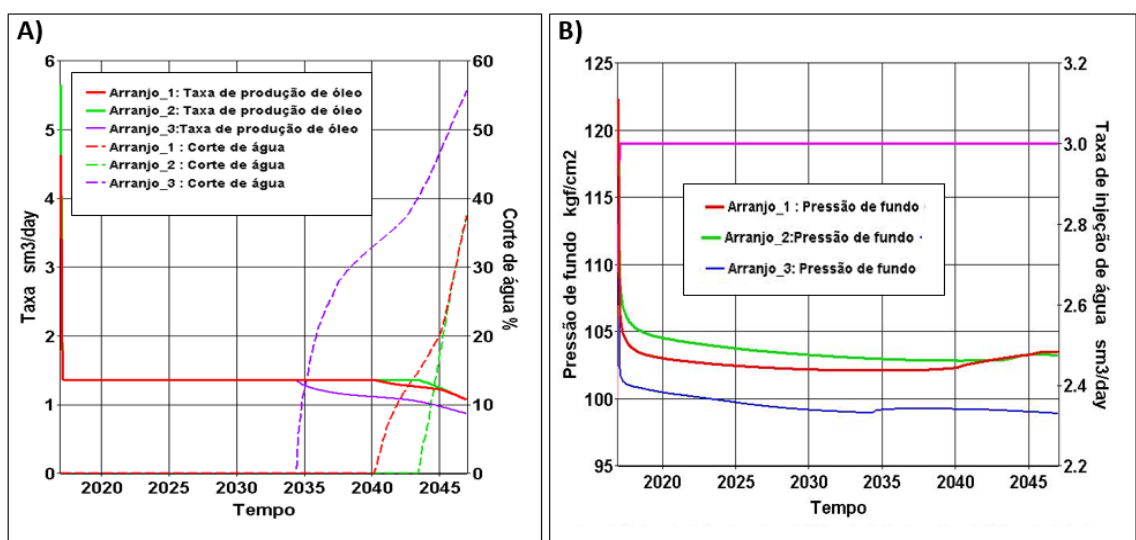
Figura 9 - Frente de avanço de água após 30 anos de injeção/produção-Arranjo de poços 3.

### 3.4 Comparação dos casos estudados

Os parâmetros de controle dos poços injetores são ilustrados na **Fig. 10 B)**. Conforme mencionado anteriormente, a vazão de injeção foi a mesma para todos, enquanto a pressão de injeção foi ligeiramente diferente, devido a profundidade em que os poços foram localados.

Os 3 arranjos de poços analisados apresentaram uma taxa de produção de óleo estável por alguns anos, conforme ilustrado na **Fig. 10 A)**, entretanto essa taxa começa a cair logo após à ocorrência do *breakthrough* da água injetada. A água começa a ser produzida sem efetivamente deslocar o óleo do reservatório, ocasionando o aumento do corte de água, o qual representa quase 60% da produção para o arranjo de poços 3.

O volume de óleo recuperado em relação ao volume de óleo inicial *in place* para os arranjos de poços 1, 2 e 3 foram de 50,6 %, 51,0% e 47,4%, respectivamente.



**Figura 10** - Comportamento da razão taxa de óleo e do corte de água (A); pressão de injeção (B) para os casos estudados

## 4 | CONCLUSÕES

O emprego da injeção de água como método de recuperação suplementar para reservatórios heterogêneos ou que apresentam pouca continuidade deve ser avaliado previamente através de estudos de simulação, pois o efeito da injeção de água pode não se estender ao poço produtor e fazer com que a água escoe por fraturas ou caminhos preferenciais causando uma produção de água elevada.

A seleção adequada do arranjo de poços de acordo com a distribuição permo-porosa do reservatório pode retardar a produção da água injetada em alguns anos e aumentar a fração de óleo recuperada. Dentre os casos analisados, o arranjo de poços 2 foi o que apresentou os melhores resultados.

## REFERÊNCIAS

- Borba, C. **Estratigrafia de Alta Resolução aplicada à Modelagem de Reservatórios do Início do Rifte da Bacia de Sergipe-Alagoas**. Tese de Doutorado. Universidade do Vale do Rio Sinos. 2009. 206 p.
- Campos Neto, O.P.; Souza-Lima, W.; Cruz, F.E. 2007. **Bacia Sergipe-Alagoas**. Boletim de Geociências da Petrobras. Rio de Janeiro. 15(2):405-415.
- Chandrashegaran, P. **Low Salinity Water Injection for EOR**. (SPE 178414 MS) SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition. Lagos, Nigeria. 21 p. 2015.
- Clemes, T.; Kienberger, G. Persaud, M. Suri, A.; Sharma, M. M.; Boschi, M.; Overland, A. M. **Optimizing Water-Injection Design in a Shallow Offshore Reservoir**. (SPE 180143). SPE Europepec 78th EAGE Conference and Exhibition, Vienna, Austria. 13 p. 2017.
- Islam, M. R.; Moussavizadegan, S.H.; Mustafiz, S.; Abou-Kassem, J.H. **Advanced Petroleum Reservoir Simulation**. Canada: Scrivener Publishing LLC, 2010.
- Liu, L.; Zheng, X.; He, E. Liu Fang; Luo, H. **Findings and Challenges of High Permeability Zone on Water Injection Pilots in Iraqi Carbonate Reservoirs**. (SPE 183485 MS) Abu Dabhi International Petroleum Exhibition & Conference. Abu Dabhi. 12 p. 2016.
- Prasad, R. P.; Lake, L. W.; Jennings, J. W. Lucia, F. J. **Improving Economics of Production in Heterogeneous Reservoirs by Redirecting Water Injection Patterns**. (SPE 59692) SPE Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference. Midland, Texas. 15 p. 2000.
- Rosa, A. J.; Carvalho, R. S.; Xavier, J. A. D. **Engenharia de Reservatórios de Petróleo**. Rio de Janeiro, Intercência: Petrobras, 2006.
- Roxar. (2012). **TEMPEST MORE Technical References-Formulation**. Emerson Process Management. TEMPEST® vs. 7.1. 2012.
- Silva, C. R. S. **Estudo comparativo entre a injeção de água e de gás em um reservatório com óleo leve**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 56 p. 2012.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-432-0

