



TÉCNICAS MACHINE LEARNING PARA RECONHECIMENTO DE PADRÕES SEDIMENTOLÓGICOS DE SISTEMAS TURBIDÍTICOS

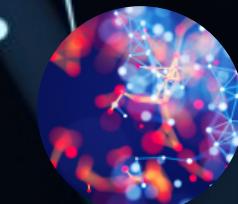
PROJETO PARA PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO - PETROBRAS

Segmento da Pesquisa: Análise Exploratória de Dados **Plug-In Statistics Viewer Classificador Automático de Fácies - Plug-In MLTurb** **ANÁLISE DOS PRIMEIROS RESULTADOS**

Equipe envolvida:

Prof. Mauro Roisenberg
Prof. Marivaldo Nascimento
Rafael Lunelli
Nelson Joppi
João Jannini

Data da apresentação: 03/10/2023





INTRODUÇÃO

- O OBJETIVO É APRESENTAR OS PLUG-INS DESENVOLVIDOS E OS RESULTADOS OBTIDOS NOS PRIMEIROS TESTES COM DADOS REAIS FORNECIDOS PELA PETROBRAS COM PERSPECTIVAS PARA OS PRÓXIMOS DESENVOLVIMENTOS.
- DOIS PLUG-INS FORAM DESENVOLVIDOS/APERFEIÇOADOS:
 1. PLUG-IN DE ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS (STATISTICS VIEWER)
 2. PLUG-IN DE MÉTODOS DE ML PARA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE FÁCIES
- PERFIS DE 6 POÇOS QUE ATRAVESSAM FORMAÇÕES TURBIDÍTICAS COM FÁCIES INTERPRETADA FORAM FORNECIDOS PELA PETROBRAS E SUBMETIDOS AOS PLUG-INS DESENVOLVIDOS.





INTRODUÇÃO

TÉCNICAS MACHINE LEARNING PARA RECONHECIMENTO DE PADRÕES SEDIMENTOLÓGICOS DE SISTEMAS TURBIDÍTICOS

CRONOGRAMA GERAL DAS ATIVIDADES DO PROJETO

ANO	2020				2021				2022				2023			
	Jan Fev Mar	Abr Mai Jun	Jl Ago Set	Ovt Nov Dez	Jan Fev Mar	Abr Mai Jun	Jl Ago Set	Ovt Nov Dez	Jan Fev Mar	Abr Mai Jun	Jl Ago Set	Ovt Nov Dez	Jan Fev Mar	Abr Mai Jun	Jl Ago Set	Ovt Nov Dez
ATIVIDADES / TRIMESTRES																
Pesquisa Bibliográfica																
Banco de Dados MLTurb (SQL)																
Compilação de dados de poços e afloramentos																
Alimentação do banco dados																
Análise e validação de dados																
Trabalho de campo/Análise estratigráfica																
Desenvolvimento - Plug-in MLTurb / Petrel																
Análise estrutural: embasamento e afloramentos																
Estudos petrofísicos e Geomecânicos																
Reunião para apresentação de resultados		Maio	03Ago	10Out		12Abr	05Ago	02Nov		Abr Maio	Jul	Out		Abri	Jul	Out
Reunião com Interlocutor na PETROBRAS						23Out		18Abr	13Ago	12Nov				28Out		
Entregas de Relatórios de Atividades						16Ago	30Out		28Abr	27Ago	15Nov		26Maio	05Ago	04Nov	
Entrega de RAGs e RATs para PETROBRAS						10Nov		05Nov		18Nov			26Maio		16Nov	19Nov
IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO EST. BD PLANEJAMENTOS INICIAIS				INTELLIGÊNCIA ARTIFICIAL - ALFA FÁCIES TURBIDÍTICAS - Área Teste				INTELLIGÊNCIA ARTIFICIAL - BETA FÁCIES TURBIDÍTICAS - Área de Teste				INTELLIGÊNCIA ARTIFICIAL - BETA FÁCIES TURBIDÍTICAS - Área de Teste				
ENTREGAS PREVISTAS NO TC PETROBRAS UFSC ANBA																





MÉTODOS E MATERIAIS

Statistics Viewer

A APLICAÇÃO DE QUALQUER TÉCNICA DE APRENDIZADO DE MÁQUINA PRESSUPÕE UMA ETAPA INICIAL PARA VERIFICAR, ANALISAR E PREPARAR OS DADOS QUE SERÃO UTILIZADOS PELA TÉCNICA DE AM.

OBSERVANDO OS DADOS DISPONÍVEIS DOS DIFERENTES POÇOS E AFLORAMENTOS COM QUE TRABALHAMOS, NOTAMOS QUE MUITAS FÁCIES POSSUÍAM DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE DOS PERFIS COLETADOS BASTANTE DISCREPANTES – DEVIDO A Fenômenos GEOLÓGICOS DIVERSOS, TAIS COMO RE-SEDIMENTAÇÃO, ETC.

ESTAS DISCREPÂNCIAS, CASO NÃO FOSSEM LEVADAS EM CONSIDERAÇÃO, PREJUDICAVAM BASTANTE O DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE Classificação AUTOMÁTICA DE FÁCIES.

FERRAMENTA VAI DE ENCONTRO A ALGUMAS NECESSIDADES DO PROJETO:

- ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS (POÇOS);
- ANÁLISE DOS ATRIBUTOS MAIS REPRESENTATIVOS;
- CONTROLE DE QUALIDADE DAS CLASSIFICAÇÕES;
- GERAÇÃO DE RELATÓRIOS (COM ESTATÍSTICAS DOS DADOS E DOS RESULTADOS);





MÉTODOS E MATERIAIS

Statistics Viewer

VANTAGENS DO PLUG-IN EM RELAÇÃO ÀS FERRAMENTAS NATIVAS DO PETREL

- FACILIDADE DE USO: NÃO HÁ NECESSIDADE DE CRIAÇÃO DE GRIDS;
- ESTATÍSTICAS EXTRAÍDAS POR FÁCIES E ZONAS;
- ESTATÍSTICAS EXTRAÍDAS POR COLEÇÕES DE POÇOS;
- FERRAMENTAS SÃO AGRUPADAS EM ABAS;
- ENORME GAMA DE PERSONALIZAÇÃO DOS DIFERENTES PLOTS;





MÉTODOS E MATERIAIS

Statistics Viewer

RECURSOS ATUALMENTE DISPONÍVEIS

- CROSSPLOTS 2D (BI-PLOT);
- HISTOGRAMAS;
- BOX-PLOTS;
- VARIOGRAMAS.

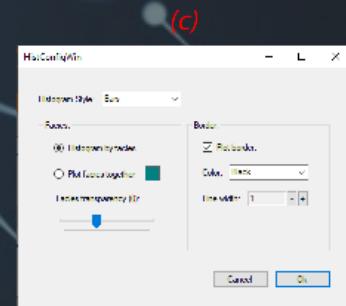
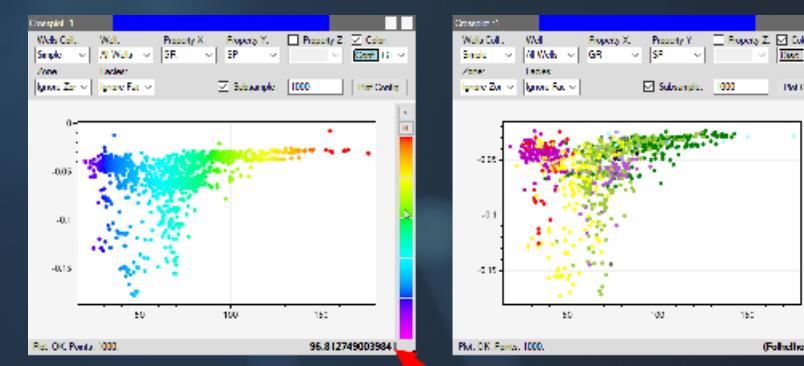
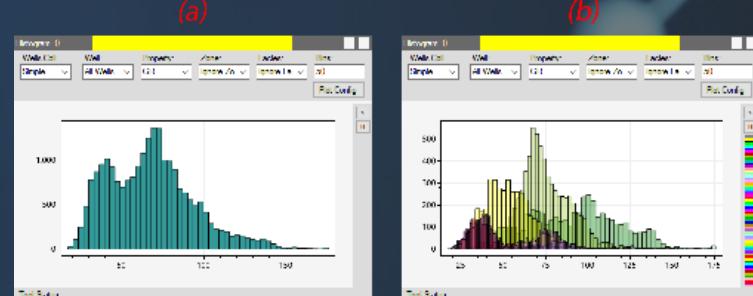
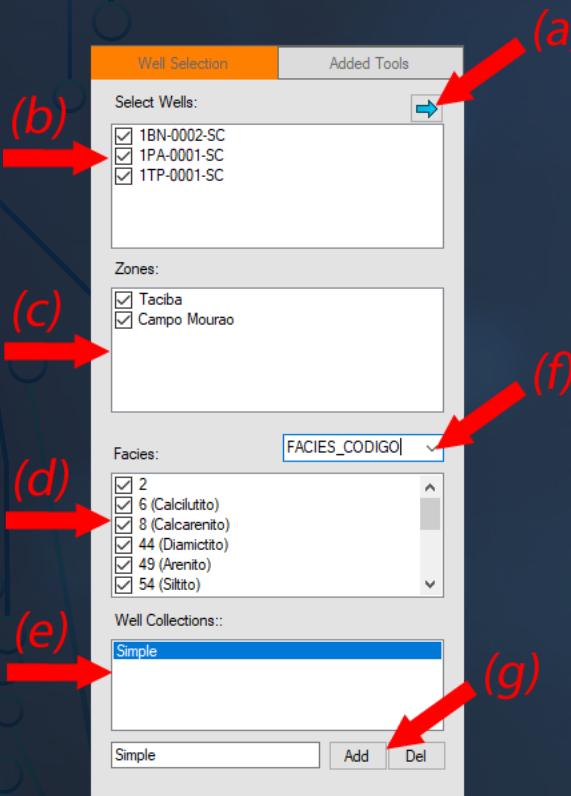




MÉTODOS E MATERIAIS

Statistics Viewer

ELEMENTOS DA FERRAMENTA:



(c)
(d)





MÉTODOS E MATERIAIS

Statistics Viewer

ELEMENTOS DA FERRAMENTA:

MÉTRICAS DOS RESULTADOS

Two screenshots of the Statistics Viewer interface showing classification results for well 1BN-0002-SC.

Top Screenshot (Confusion Matrix View):

TRUE CLASS	Values	PREDICTED							Row Sums	Precision
		Caliculito	Diamictito	Arenito	Siltito	Folhelho	Diabásio	Meta-Siltito		
Caliculito	6	0	3	0	0	12	0	0	15	0
Diamictito	44	0	0	0	0	0	0	0	0	NaN
Arenito	49	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Siltito	54	0	129	25	0	86	0	0	240	0
Folhelho	57	0	122	2	0	609	7	0	740	0.823
Diabásio	65	0	2	25	0	1	27	0	55	0.4909
Meta-Siltito	76	0	23	1	0	2	1	0	27	0
Column Sums	0	280	53	0	710	35	0	1078		
Recall:		Nan	0	0	Nan	0.8577	0.7714	Nan		
Accuracy =		0.59								

Bottom Screenshot (Classification Statistics View):

	Caliculito	Diamictito	Arenito	Siltito	Folhelho	Diabásio	Meta-Siltito	Micro Average	Macro Average
True Positive	0	0	0	0	609	27	0	90.857142...	90.857142...
False Positive	0	280	53	0	101	8	0	63.142857...	63.142857...
False Negative	15	0	1	240	131	28	27	63.142857...	63.142857...
True Negative	1063	798	1024	838	237	1015	1051	860.85714...	860.85714...
Precision	Nan	0	0	Nan	0.9577464...	0.7714285...	Nan	0.5899814...	NaN
Sensitivity	0	Nan	0	0	0.8229729...	0.4909090...	0	0.5899814...	NaN
Specificity	1	0.7402597...	0.9507892...	1	0.7011834...	0.9921798...	1	0.9316635...	0.9120588...
Accuracy	0.5899814...	0.5899814...	0.5899814...	0.5899814...	0.5899814...	0.5899814...	0.5899814...	0.5899814...	0.5899814...
F-measure	Nan	Nan	Nan	Nan	0.84	0.6	Nan	0.5899814...	NaN





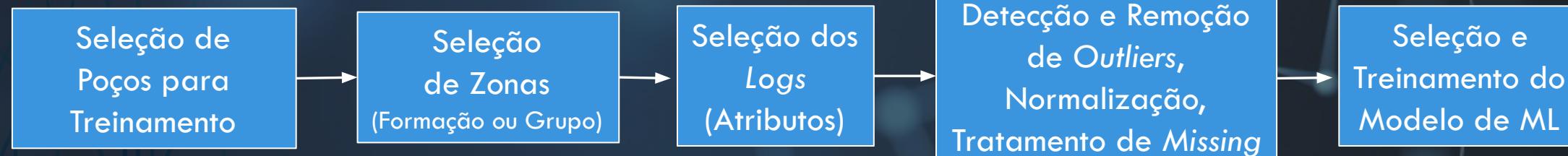
MÉTODOS E MATERIAIS

Classificador Automático de Fácies

Ferramenta que incorpora técnicas de preparação de dados e métodos de Aprendizado de máquina para fazer **Previsão Automática de Litofácies** a partir de Perfis de Logs de Poços.

Princípios que nortearam o desenvolvimento da ferramenta:

- **Genérica, mas voltada para a Classificação de Fácies;**
- Permite seu uso por não especialistas;
- Parametrização customizável para usuários experientes;





MÉTODOS E MATERIAIS

Classificador Automático de Fácies

Modelos de Aprendizados de Máquina Disponibilizados:

- XGBOOST
- BI-LSTM
- TRANSFORMERS

Estes modelos foram selecionados por serem o estado da arte em modelos de aprendizagem de máquina (XGboost foi o modelo vencedor do concurso XEEK-force 2020) e também por considerarem aspectos temporais e sequenciais dos dados de log para fazer a predição.





MÉTODOS E MATERIAIS

Classificador Automático de Fácies

MODELOS DE APRENDIZADOS DE MÁQUINA DISPONIBILIZADOS:

- XGBOOST (EXTREME GRADIENT BOOSTING TREES)

Modelo “padrão” de aprendizado de máquina é um único modelo.

mesmo que construamos um conjunto (ensemble), todos os modelos são treinados e aplicados aos nossos dados separadamente.

Boosting, por outro lado, tem uma abordagem mais iterativa.

Em vez de treinar todos os modelos isoladamente, o boosting treina os modelos sucessivamente, com cada novo modelo sendo treinado para corrigir os erros cometidos pelos anteriores. O

Os modelos são adicionados sequencialmente até que nenhuma melhoria adicional possa ser feita.

A vantagem dessa abordagem iterativa é que os novos modelos adicionados são focados em corrigir os erros causados por outros modelos.



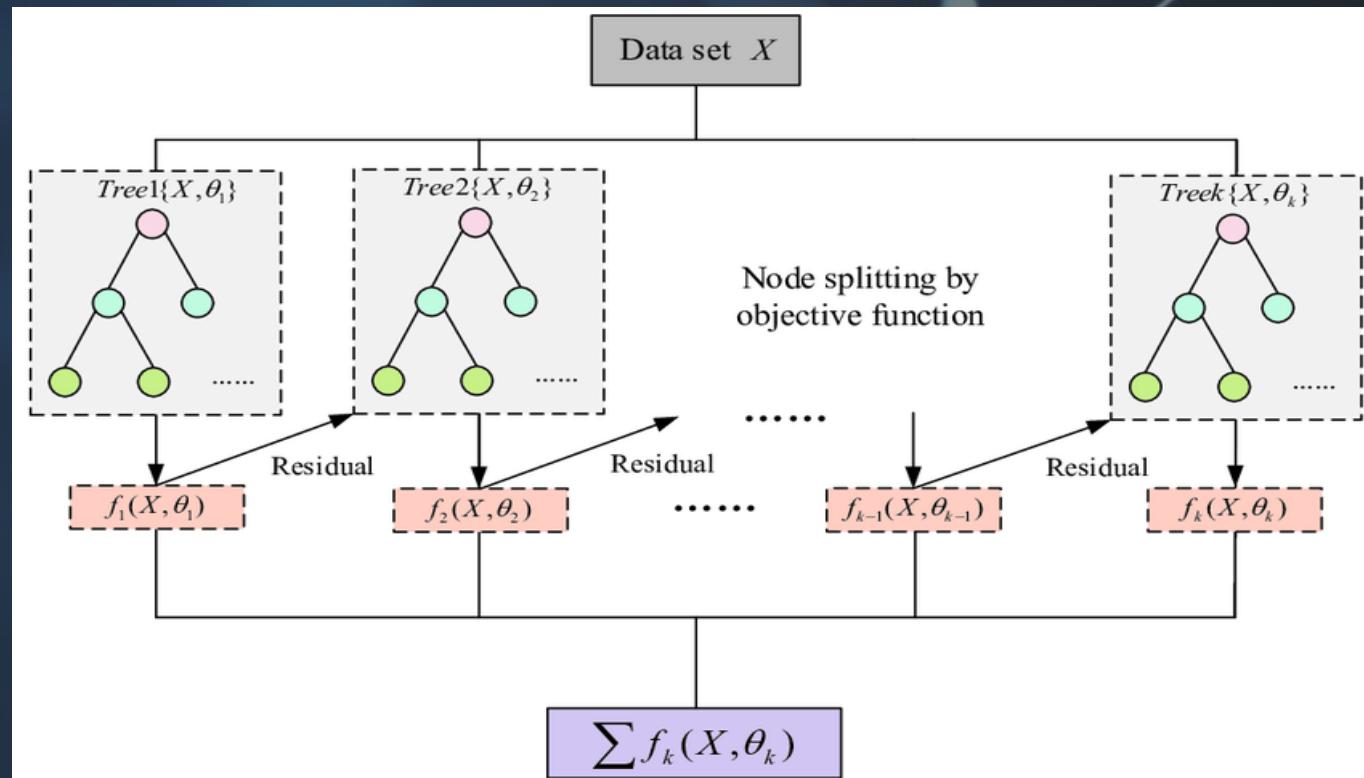


MÉTODOS E MATERIAIS

Classificador Automático de Fácies

MODELOS DE APRENDIZADOS DE MÁQUINA DISPONIBILIZADOS:

- XGBOOST (EXTREME GRADIENT BOOSTING TREES)





MÉTODOS E MATERIAIS

Classificador Automático de Fácies

MODELOS DE APRENDIZADOS DE MÁQUINA DISPONIBILIZADOS:

- LSTM (LONG SHORT TERM MEMORY)

Redes neurais com realimentação (*Recurrent*) entre os neurônios são boas para processar dados temporais onde a previsão da rede não depende apenas do que ela está vendo agora, mas do que ela viu no passado.

Modelos convencionais destas redes tem problemas em aprender conceitos que dependam da memória de longo prazo.

A LSTM foi criada como a solução para a memória de longo prazo. Ela têm mecanismos internos chamados portões que podem regular o fluxo de informações.

Esses portões podem aprender quais dados em uma sequência são importantes para manter ou descartar. ao fazer isso, ele pode passar informações relevantes pela longa cadeia de sequências para fazer previsões.



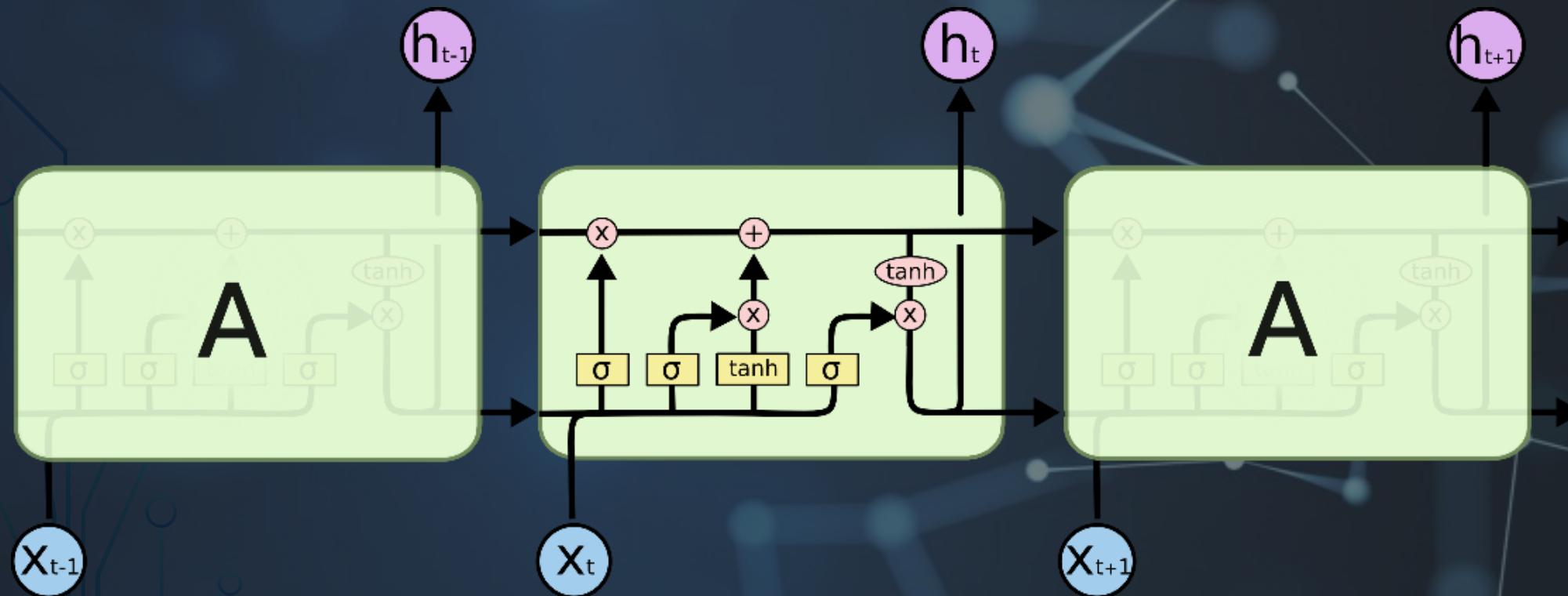


MÉTODOS E MATERIAIS

Classificador Automático de Fácies

MODELOS DE APRENDIZADOS DE MÁQUINA DISPONIBILIZADOS:

- LSTM (LONG SHORT TERM MEMORY)





MÉTODOS E MATERIAIS

Classificador Automático de Fácies

MODELOS DE APRENDIZADOS DE MÁQUINA DISPONIBILIZADOS:

- Transformers (redes com mecanismo de atenção): a arquitetura transformer se destaca no tratamento de dados de texto que são inherentemente sequenciais.

Eles pegam uma sequência de texto como entrada e produzem outra sequência de texto como saída. por exemplo, para traduzir uma frase de entrada em inglês para português ou prever a próxima palavra que você vai digitar no celular.

É composta por uma série de codificadores e decodificadores empilhados.

Os codificadores possuem uma rede **Feedforward** e uma camada de auto-atenção.

Os decodificadores, além destes módulos, ainda possuem uma camada de atenção codificador-decodificador.

THE CAT DRANK THE MILK BECAUSE IT WAS HUNGRY.

THE CAT DRANK THE MILK BECAUSE IT WAS SWEET.



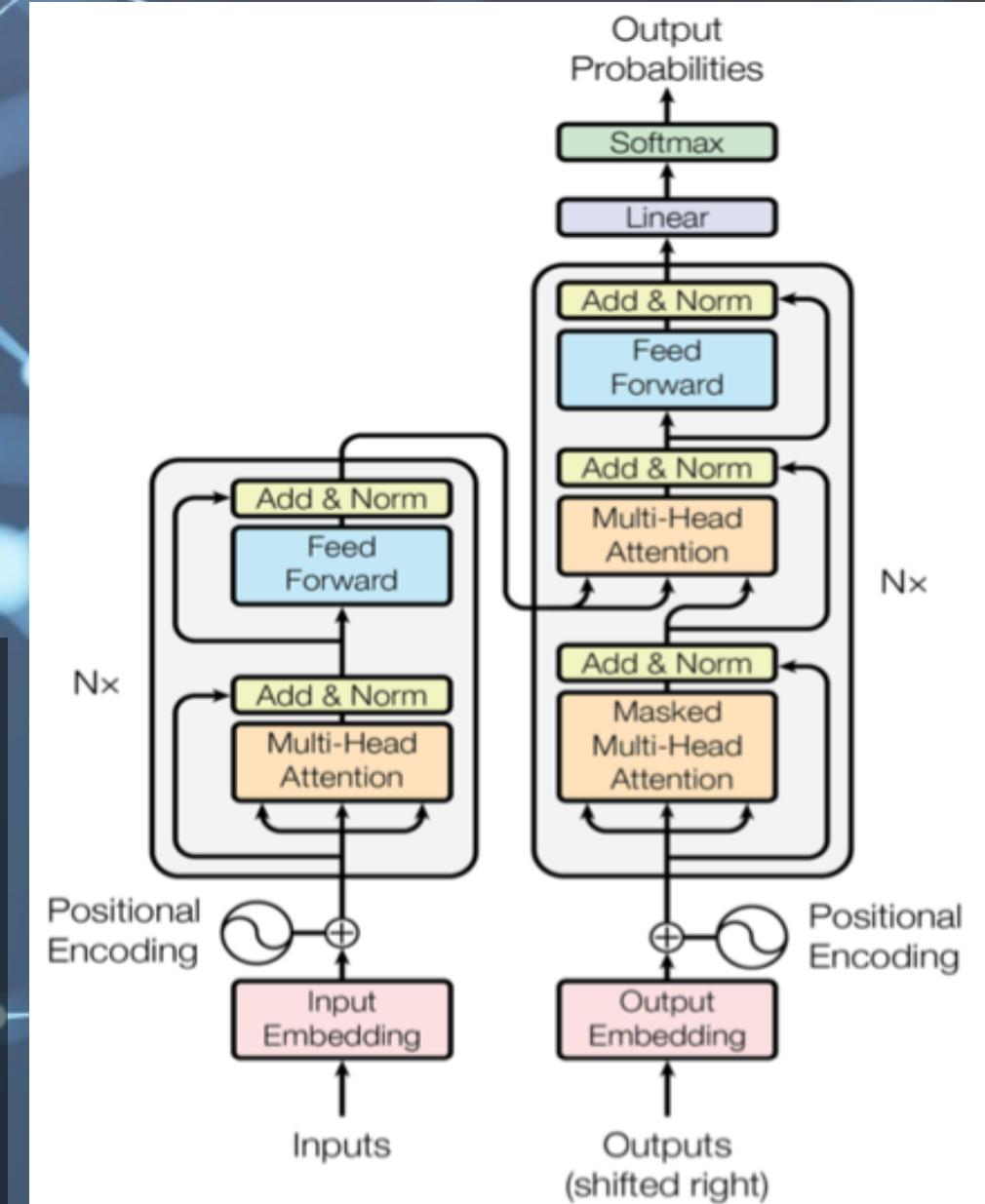


MÉTODOS E MATERIAIS

Classificador Automático de Fácies

MODELOS DE APRENDIZADOS DE MÁQUINA
DISPONIBILIZADOS:

- TRANSFORMERS (REDES COM MECANISMO DE ATENÇÃO)





MÉTODOS E MATERIAIS

Classificador Automático de Fácies

ELEMENTOS DA FERRAMENTA:

Petrel E&P Software Platform - [ProjetoMauro]

Train Facies Classifier Run Facies Model MLTurb Facies Classifier Commands

File Home Stratigraphy Seismic Interpretation Structural Modeling Property Modeling Fracture Modeling Reservoir Engineering Well Engineering Simulation Geomechanics MLTurb Facies Classifier Well Section ?

Input

- Wells: 1TP-0001-SC, 1TP-0002-SC, 3MC-0003-SC, 1TV-0002-SC, 2CA-0001-SC, 2CN-0001-SC, 2PI-0001-SC, 2PU-0001-SC, 2TG-0001-SC
- Zones: Taciba, Campo Mourão
- Input Logs: GR, SP, FORMACAO_CODIGO, GRUPO_CODIGO, SOLEIRA_CODIGO, TOT, TTI, FACIES_CODIGO, SIMB_FORMACAO_CODIGO, Lithologies 1, FACIES_CODIGO [Net], Zone log linked to 'Well', XGBAutoML_train, XGBAutoML_run
- Targeting: FORMACAO_CODIGO, GRUPO_CODIGO, SOLEIRA_CODIGO, TOT, TTI, FACIES_CODIGO, SIMB_FORMACAO_CODIGO, Lithologies 1, FACIES_CODIGO [Net], Zone log linked to 'Well', XGBAutoML_train, XGBAutoML_run

Training Validation Split: Proportion (%) 0% 50% 100%

Outlier Detector: Standard Deviation 0 1 2 3

Well section window: 183959 m

Stratigraphy: Topo Taciba, Base Taciba, Campo Mourão, Base Campo Mourão

Models: Topo Taciba, Base Taciba

Results: QI crossplot window 3

Workflows: Models, Results, Workflows

ANBA logo



MÉTODOS E MATERIAIS

Classificador Automático de Fácies

ELEMENTOS DA FERRAMENTA:

Petrel E&P Software Platform - [ProjetoMauro]

File Home Stratigraphy Seismic Interpretation Structural Modeling Property Modeling Fracture Modeling Reservoir Engineering Well Engineering Simulation Geomechanics MLTurb Facies Classifier Well Section ?

Train Facies Classifier Run Facies Model MLTurb Facies Classifier Commands

Input Well section window MD

Favorites Layouts Windows Message log Tasks

Well tops 1 Yb DS Attributes Stratigraphy Topo Taciba Taciba Base Taciba Campo Mourao Base Campo Mourao

Models

Train MLTurb Facies Classifier

Wells 1TP-0001-SC Zones Taciba Input Logs GR Target Log GR

Outlier Detector Standard Deviation 0 1 2 3

Normalization Method Linear Z-Score

Missing Imputation Delete missing registry

Network model XGBoost

AutoML Activated Deactivated

XGBOOST Learning Rate: 0.01

183959 m

QI crossplot window 3

183959 m

1100 (1200) (1255.9)

Base Taciba

1000 (800) (900) (979.2)

ANBA

The screenshot displays the Petrel E&P Software Platform interface, specifically the 'Train MLTurb Facies Classifier' dialog box. The dialog box contains several configuration options for training a facies classifier. Red arrows highlight specific settings: the 'Outlier Detector' section, the 'Normalization Method' (set to 'Z-Score'), the 'Missing Imputation' dropdown (set to 'Delete missing registry'), the 'Network model' (set to 'XGBoost'), and the 'AutoML' section (set to 'Deactivated'). The background shows a stratigraphic column and a well section plot, indicating the geological context of the classifier training process.



MÉTODOS E MATERIAIS

Classificador Automático de Fácies

ELEMENTOS DA FERRAMENTA:

Screenshot of the Petrel E&P Software Platform interface, specifically the "MLTurb Facies Classifier" module.

The main window title is "Petrel E&P Software Platform - [ProjetoMauro]". The top menu bar includes: File, Home, Stratigraphy, Seismic Interpretation, Structural Modeling, Property Modeling, Fracture Modeling, Reservoir Engineering, Well Engineering, Simulation, Geomechanics, MLTurb Facies Classifier (highlighted in yellow), Well Section, and Help.

The left sidebar contains the "MLTurb Facies Classifier Commands" panel, which includes "Train Facies Classifier" and "Run Facies Model" buttons, and the "MLTurb Facies Classifier Commands" section. Below it are the "Input" and "Models" panels, showing various geological features like "Meta-Siltito", "Code 77", "Code 82", "Code 88", "Well tops 1", "Stratigraphy", "Topo Taciba", "Base Taciba", "Campo Mourao", and "Base Campo Mourao".

The central workspace displays the "Train MLTurb Facies Classifier" dialog box. This dialog includes fields for "Wells" (1TP-0001-SC, 1TP-0002-SC), "Zones" (Taciba, Camoo, Mourao), "Input Logs" (GR, SP), and "Target Log" (GR, SP). It also includes sections for "XGBOOST" parameters: Learning Rate (0.01), Number of Estimators (100), Max Depth (3), Subsample (0.8), Colsample by Tree (1), and Gamma (1). A red arrow points to the "Learning Rate" field. At the bottom right of the dialog is a "Train Model" button.

To the right of the dialog is a "Well Section" window showing a vertical stratigraphic column from 183959 m to the surface. The column includes layers labeled "Base Taciba" and "Base Campo Mourao". A blue arrow points to the "Base Taciba" layer. The bottom of the well section shows depth markers at (80), (90), (979.2), (1200), and (1255.9).

The bottom navigation bar includes buttons for "Models", "Results", and "Workflows". The bottom right corner shows the "RAM" status and the ANBA logo.





RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso

Poços fornecidos pela PETROBRAS

Name	↑
3CRP 0005A RJS.las	👤
3CRP 0006 RJS.las	👤
3CRP 0008 RJS.las	👤
3RJS 0224 RJ.las	👤
7MA 0002D RJS.las	👤
9MA 0026D RJS.las	👤

Curvas

DEPT .m : DEPTH
DENSIDADE ._ : DENSIDADE
DT .us/ft : DT
GR .gAPI : GR
NPHI .m3/m3 : NPHI
MACRO-RESIST ._ : MACRO-RESIST
FACIES ._ : FACIES

Horizontes

WELL	DEPTH	TOPO_BASE
9-MA-26D-RJS	3233.73	BASE
9-MA-26D-RJS	2914.81	TOPO
7-MA-2D-RJS	2909.75	BASE
7-MA-2D-RJS	2687.68	TOPO
3-CRP-8-RJS	3090.7	BASE
3-CRP-8-RJS	2886	TOPO
3-CRP-6-RJS	3249.99	BASE
3-CRP-6-RJS	2907.48	TOPO
3-CRP-5A-RJS	3248.5	BASE
3-CRP-5A-RJS	2891	TOPO
3-RJS-224	3124	BASE
3-RJS-224	2919	TOPO

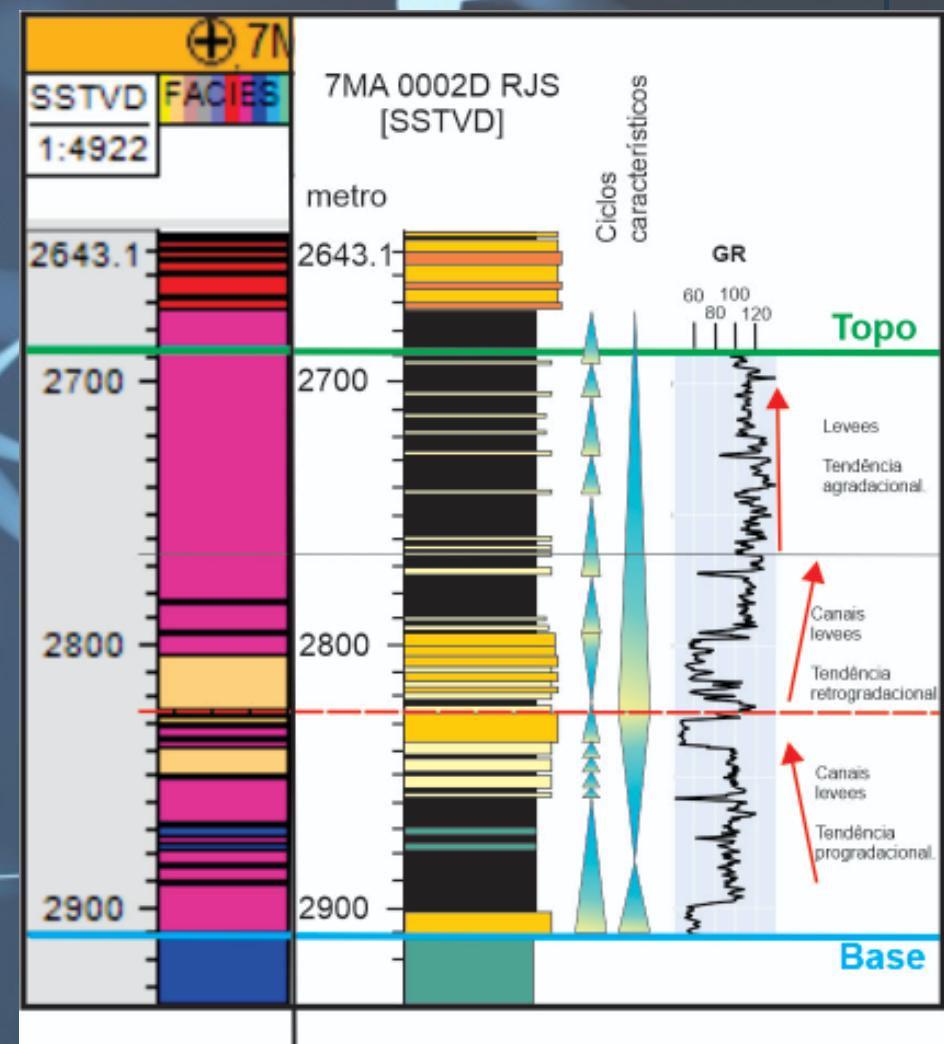
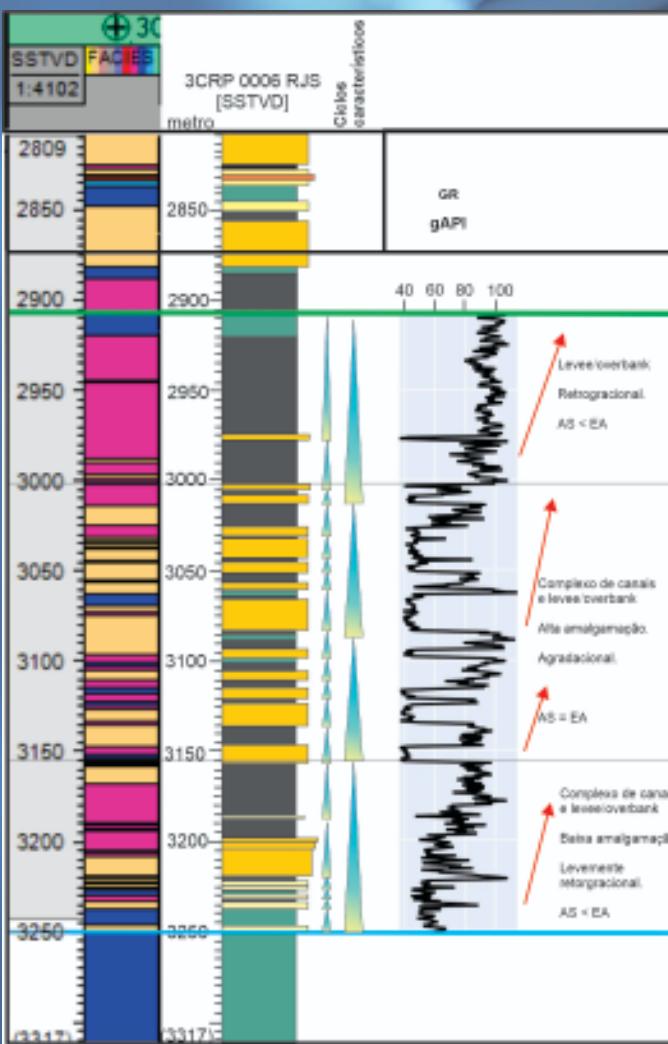
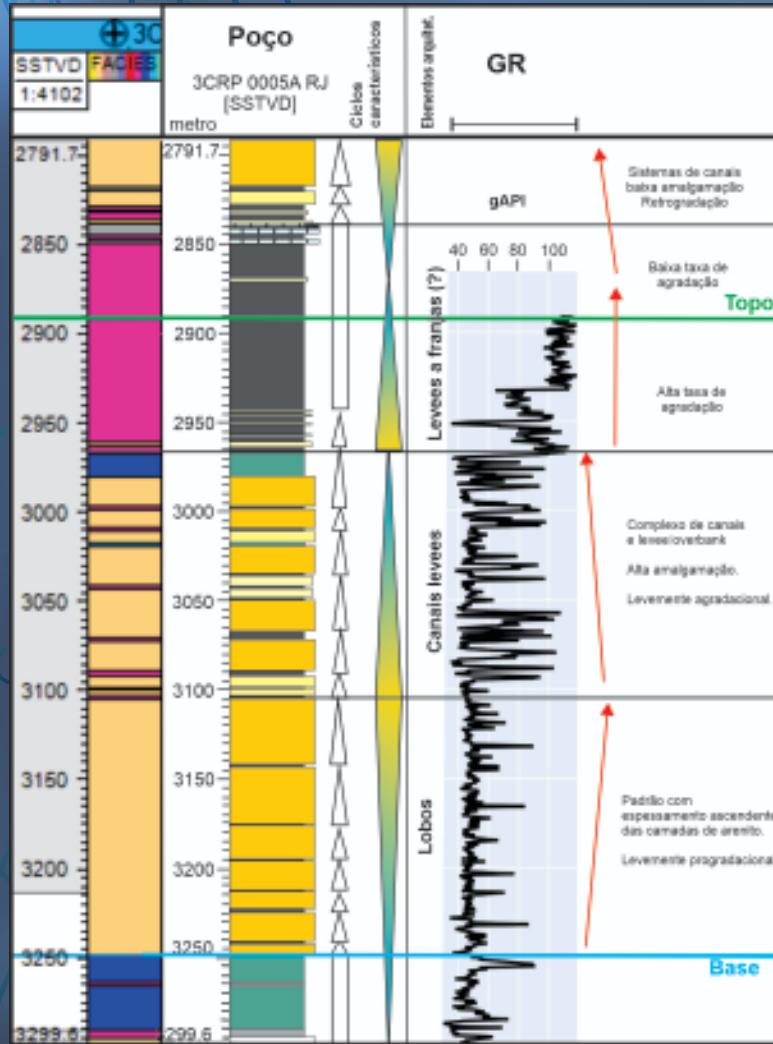




RESULTADOS E DISCUSSÕES

Breve Estudo de Caso

Sequência poços disponibilizados para treinamento e teste dos modelos de AM.

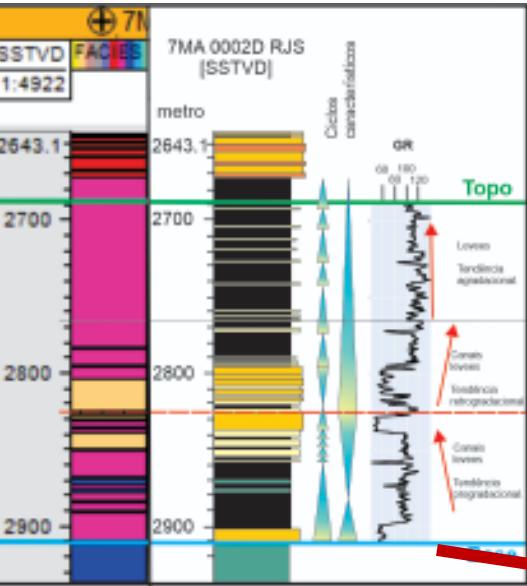
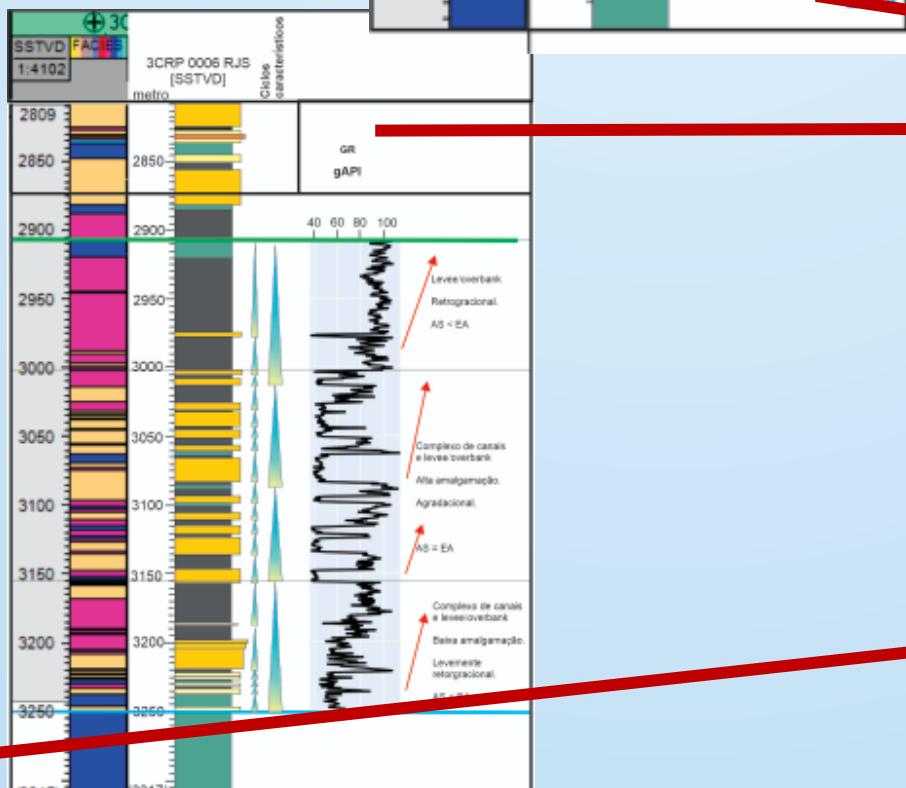
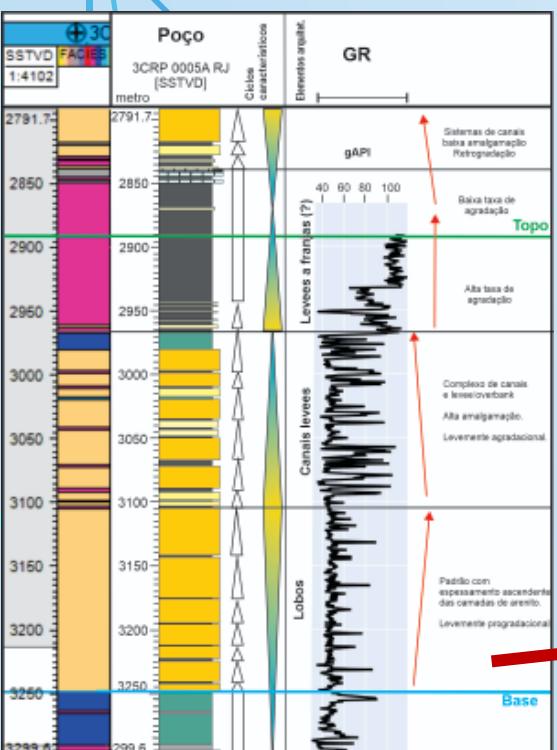




RESULTADOS E DISCUSSÕES - Estudo de Caso

Breve

Sequência poços disponibilizados para treinamento e teste dos modelos de AM.



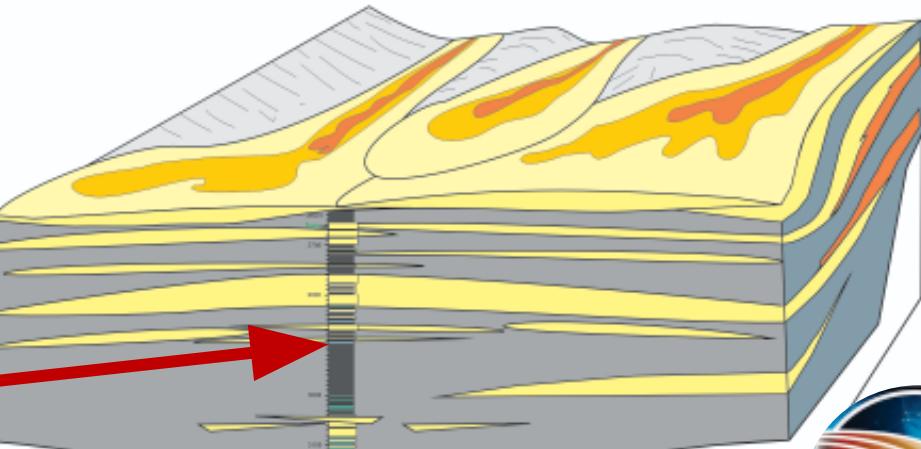
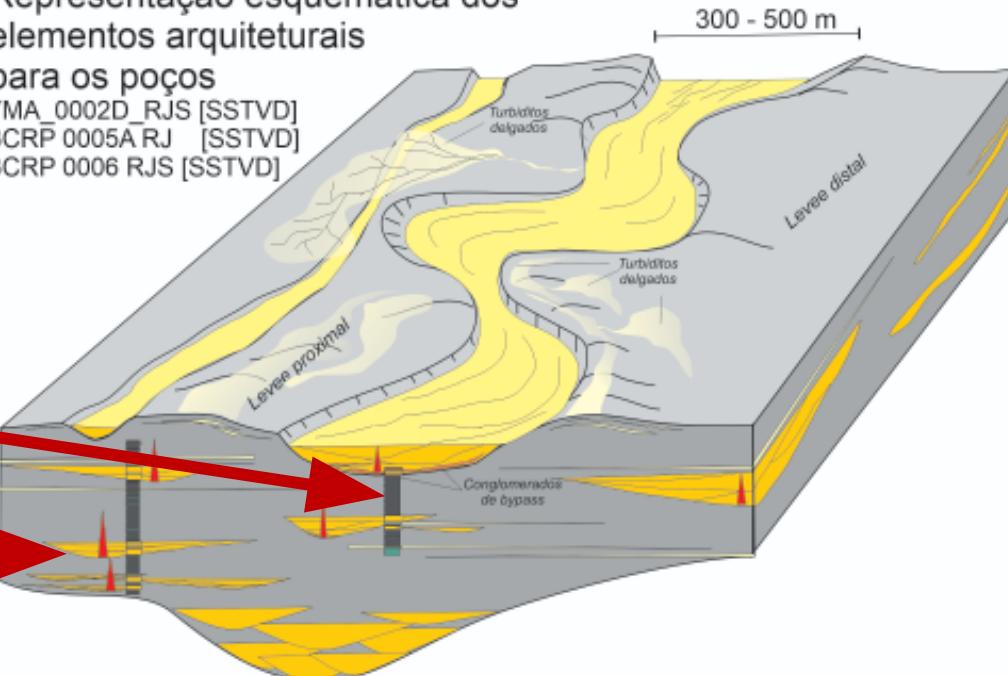
Sistema de Canais/levees/lobos

Representação esquemática dos elementos arquiteturais para os poços

7MA_0002D_RJS [SSTVD]

3CRP 0005A RJ [SSTVD]

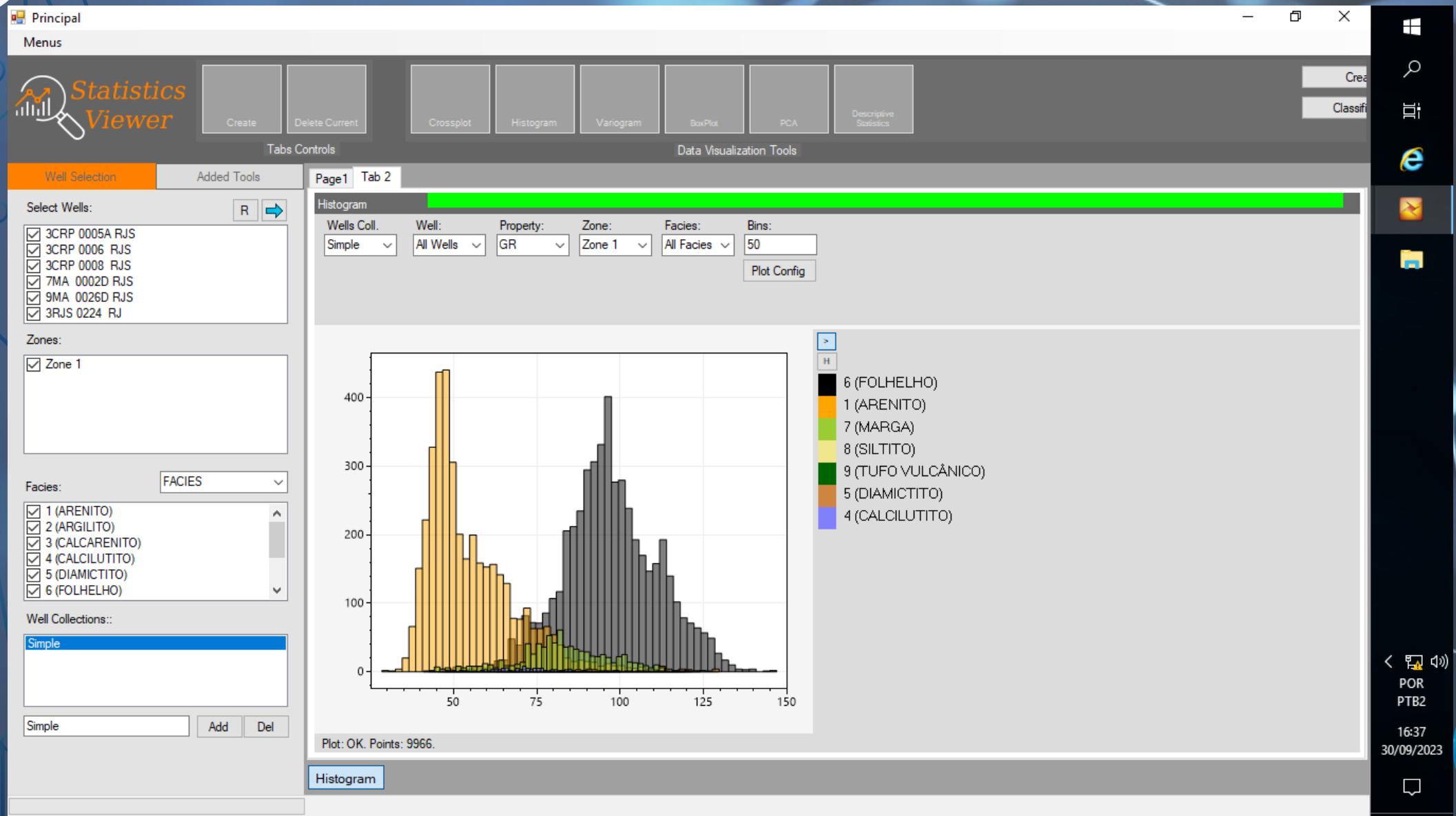
3CRP 0006 RJS [SSTVD]





RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso

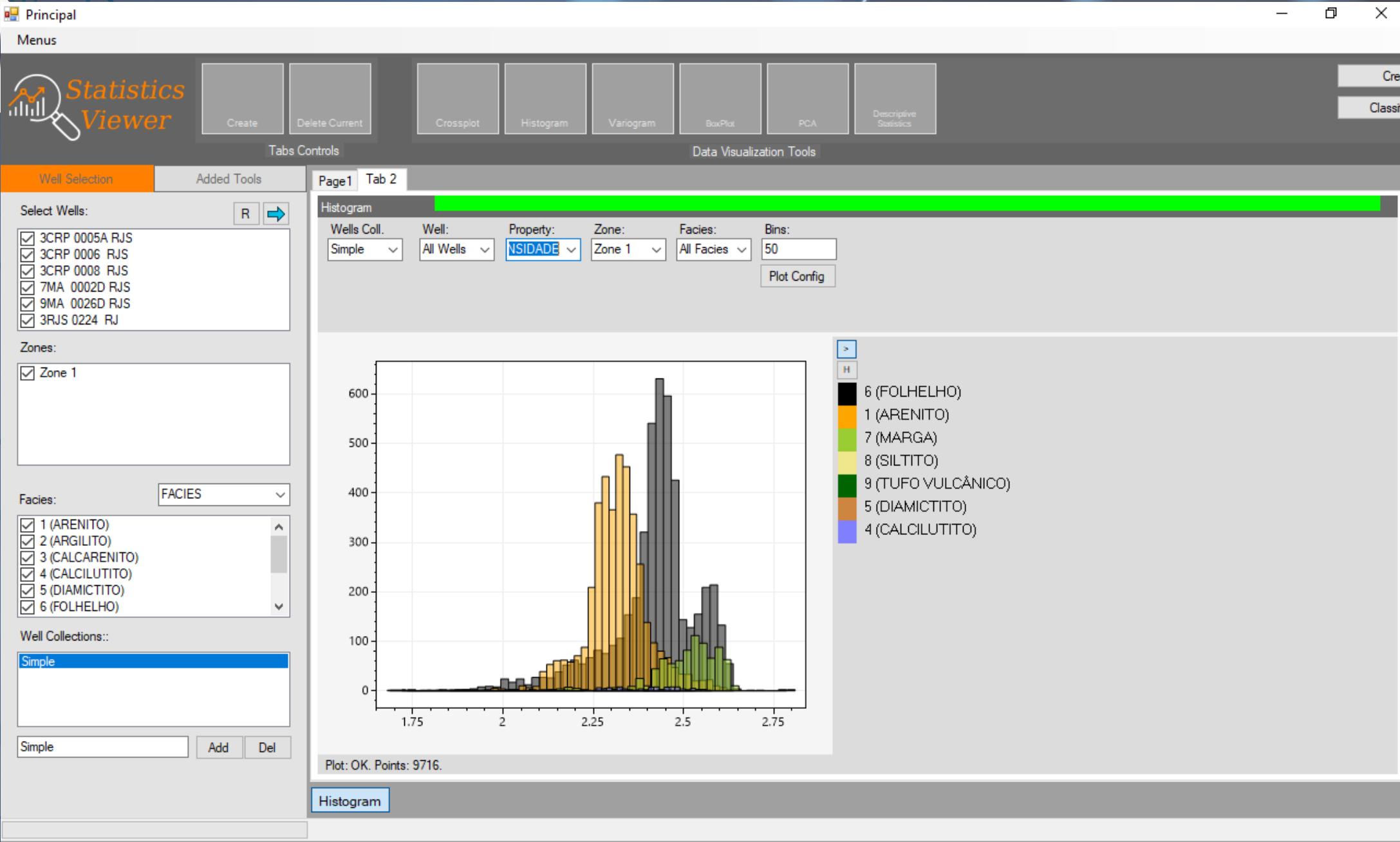


POR
PTB2
16:37
30/09/2023



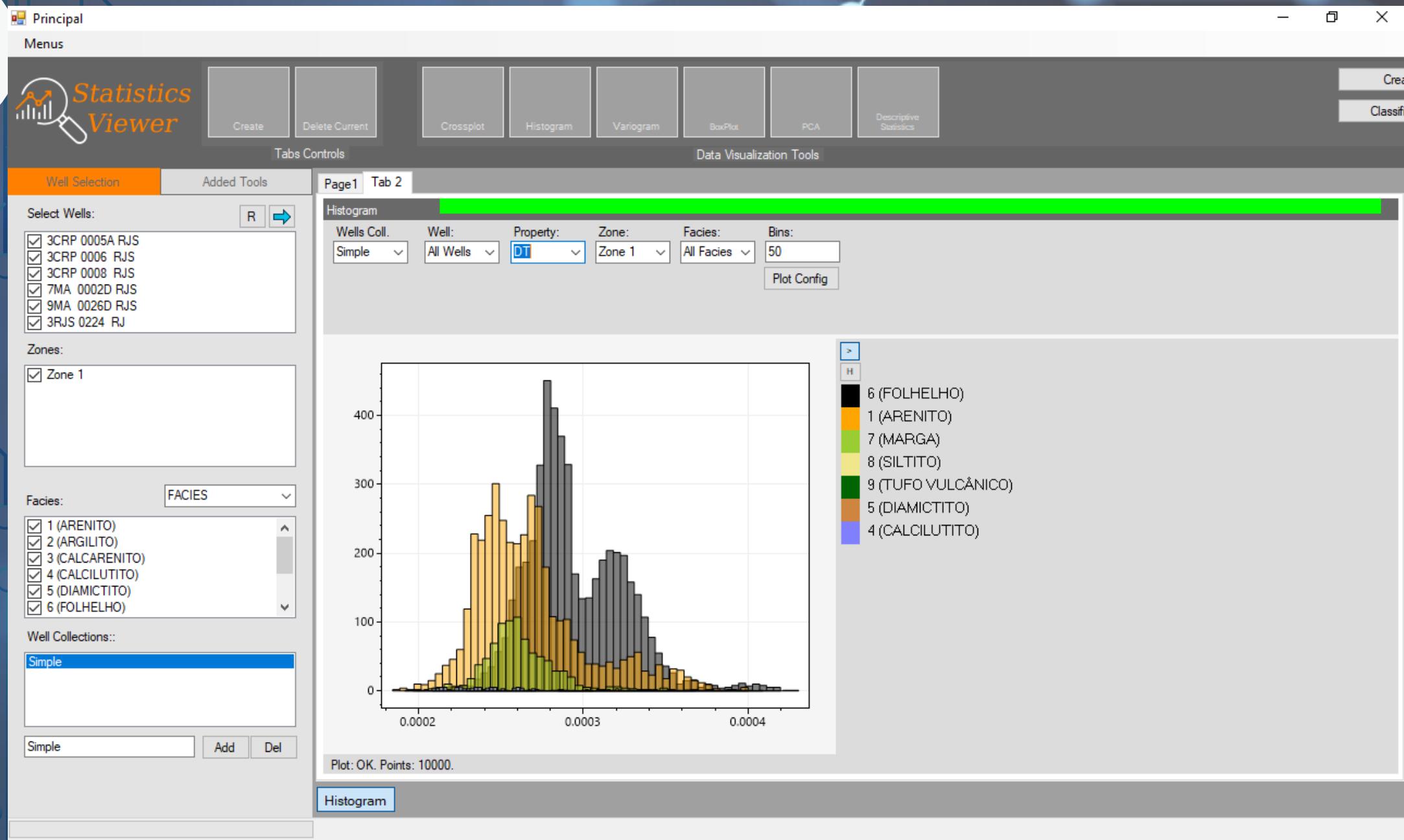
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso



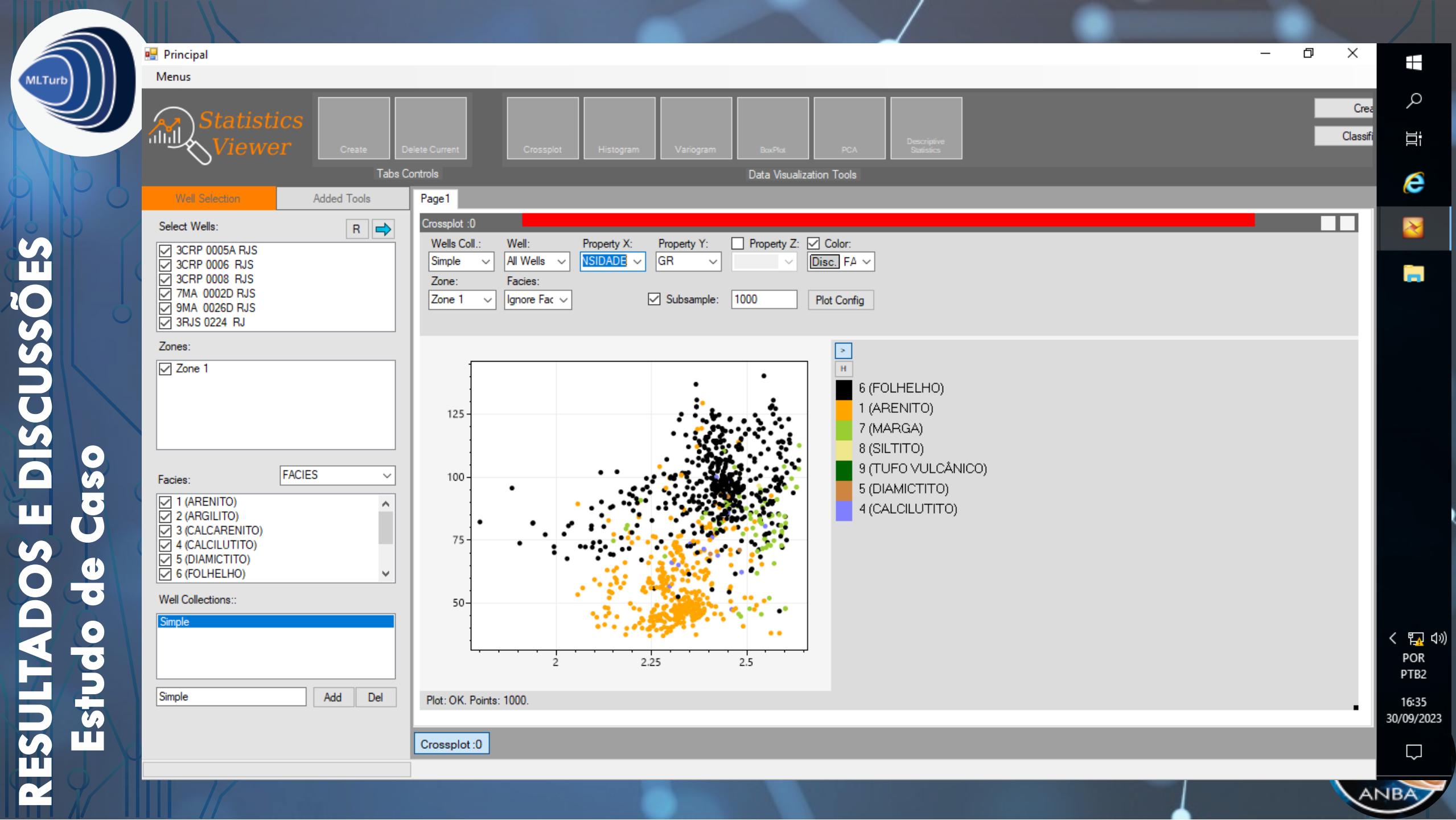
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso

MLTurb

Principal

Menus

Statistics Viewer

Create

Delete Current

Crossplot

Histogram

Variogram

BoxPlot

PCA

Descriptive Statistics

Well Selection

Added Tools

Select Wells:

R →

3CRP 0005A RJS
3CRP 0006 RJS
3CRP 0008 RJS
7MA 0002D RJS
9MA 0026D RJS
3RJS 0224 RJ

Zones:

Zone 1

Facies:

FACIES

1 (ARENITO)
2 (ARGILITO)
3 (CALCARENITO)
4 (CALCILUTITO)
5 (DIAMICTITO)
6 (FOLHELHO)

Well Collections:

Simple

Simple Add Del

BoxPlot :1

Wells Coll.: Simple Well: All Wells Property: GR Zone: Zone 1 Facies: Ignore Facies Boxes: Facies Plot Config

BoxPlot :0 BoxPlot :1 BoxPlot :2

Plot: OK. Points: 9966.

6 (FC)
1 (AF)
7 (M)
8 (SI)
9 (TI)
5 (DI)
4 (OF)

150
125
100
75
50
25

Facies

ANBA

POB PTB2
11:14
02/10/2023



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso

Classification Statistics

Teste Tools

Select Wells:

- 3CRP 0005A RJS
- 3CRP 0006 RJS
- 3CRP 0008 RJS
- 7MA_0002D RJS
- 9MA_0026D RJS
- 3RJS 0224 RJ

Ground truth property:

FACIES

Predicted property:

FAC_XGB_0310

Run

Consider Zones:
 Zone 1

Confusion Matrix Classification Statistics ROC Curves Histogram

Facies Classification		PREDICTED C...						Precision	
TRUE CLASS	Values	ARENITO	CALCILUTITO	DIAMICTITO	FOLHELHO	MARGA	SILTITO		
ARENITO	1	1764	5	0	144	99	0	2012	0.8767
CALCILUTITO	4	0	0	0	0	0	0	0	NaN
DIAMICTITO	5	10	0	0	0	0	0	10	0
FOLHELHO	6	245	1	0	1829	302	0	2377	0.7695
MARGA	7	270	1	0	159	176	0	606	0.2904
SILTITO	8	16	0	0	1	0	0	17	0
Column Sums		2305	7	0	2133	577	0	5022	28
Recall:		0.7653	0	NaN	0.8575	0.305	NaN	0	8067
Accuracy =		0.7505							





RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso

Classification Statistics

Teste Tools

Select Wells:

- 3CRP 0005A RJS
- 3CRP 0006 RJS
- 3CRP 0008 RJS
- 7MA_0002D RJS
- 9MA_0026D RJS
- 3RJS 0224 RJ

Ground truth property: FACIES

Predicted property: FAC_XGB_0310

Run

Consider Zones: Zone 1

Confusion Matrix Classification Statistics ROC Curves Histogram

	ARENITO	CALCILUTITO	DIAMICTITO	FOLHELHO	MARGA	SILTITO	Micro Average	Macro Average	Macro Average
	1	4	5	6	7	8	8		
True Positive	1764	0	0	1829	176	0	628.166666666...	628.166666666...	848.571428571...
False Positive	541	7	0	304	401	0	208.833333333...	208.833333333...	303.857142857...
False Negative	248	0	10	548	430	17	208.833333333...	208.833333333...	303.857142857...
True Negative	2469	5015	5012	2341	4015	5005	3976.16666666...	3976.16666666...	6610.71428571...
Precision	0.76529284164...	0	NaN	0.85747773089...	0.30502599653...	NaN	0.75049780963...	NaN	NaN
Sensitivity	0.87673956262...	NaN	0	0.76945729911...	0.29042904290...	0	0.75049780963...	NaN	NaN
Specificity	0.82026578073...	0.99860613301...	1	0.88506616257...	0.90919384057...	1	0.95009956192...	0.93552198614...	0.94196060212...
Accuracy	0.75049780963...	0.75049780963...	0.75049780963...	0.75049780963...	0.75049780963...	0.75049780963...	0.75049780963...	0.73633320937...	
F-measure	0.81723419041...	NaN	NaN	0.81108647450...	0.29754860524...	NaN	0.75049780963...	NaN	NaN





RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso

Classification Statistics

Teste Tools

Select Wells:

- 3CRP 0005A RJS
- 3CRP 0006 RJS
- 3CRP 0008 RJS
- 7MA 0002D RJS
- 9MA 0026D RJS
- 3RJS 0224 RJ

Ground truth property:

FACIES

Predicted property:

FAC_XGB_0310

Run

Consider Zones:

Zone 1

Confusion Matrix Classification Statistics ROC Curves Histogram

Facies Classification

		PREDICTED...								
TRUE CLASS	Values	1	3	4	5	6	7	8	Row Sums	Precision
ARENITO	1	3350	0	9	0	1278	160	0	4797	0.6984
CALCARENITO	3	13	0	0	0	133	0	0	146	0
CALCILUTITO	4	0	0	0	0	0	0	0	0	NaN
DIAMICTITO	5	3	0	0	0	15	1	0	19	0
FOLHELHO	6	140	0	4	0	2534	130	0	2808	0.9024
MARGA	7	15	0	0	0	198	56	0	269	0.2082
SILTITO	8	8	0	0	0	20	0	0	28	0
Column Sums		3529	0	13	0	4178	347	0	8067	
Recall:		0.9493	Nan	0	Nan	0.6065	0.1614	Nan		
Accuracy =		0.7363								





RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso

Classification Statistics

Teste Tools

Select Wells:

→ 3CRP 0005A RJS
→ 3CRP 0006 RJS
→ 3CRP 0008 RJS
→ 7MA 0002D RJS
→ 9MA 0026D RJS
→ 3RJS 0224 RJ

Ground truth property: FACIES

Predicted property: FAC_XGB_0310 Run

Consider Zones:
Zone 1

Confusion Matrix Classification Statistics ROC Curves Histogram

	AREN...	CALC...	CALCI...	DIAMI...	FOLH...	MARGA	SILTITO	Micro ...	Macro ...
	1	3	4	5	6	7	8		
True Positive	3350	0	0	0	2534	56	0	848.57...	848.57...
False Positive	179	0	13	0	1644	291	0	303.85...	303.85...
False Negative	1447	146	0	19	274	213	28	303.85...	303.85...
True Negative	3091	7921	8054	8048	3615	7507	8039	6610.7...	6610.7...
Precision	0.949...	NaN	0	NaN	0.606...	0.1613...	NaN	0.7363...	NaN
Sensitivity	0.698...	0	NaN	0	0.902...	0.2081...	0	0.7363...	NaN
Specificity	0.945...	1	0.998...	1	0.687...	0.9626...	1	0.9560...	0.9419...
Accuracy	0.736...	0.736...	0.736...	0.736...	0.736...	0.7363...	0.7363...	0.7363...	0.7363...
F-measure	0.804...	NaN	NaN	NaN	0.725...	0.1818...	NaN	0.7363...	NaN





RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso

Classification Statistics

Teste Tools

Select Wells:

3CRP 0005A RJS
 3CRP 0006 RJS
 3CRP 0008 RJS
 7MA 0002D RJS
 9MA 0026D RJS
 3RJS 0224 RJ

Ground truth property: FACIES

Predicted property: FAC_LSTM_0310 Run

Consider Zones: Zone 1

Confusion Matrix Classification Statistics ROC Curves Histogram

	ARE...	CALC...	DIAM...	FOLH...	MAR...	SILTI...	Micro...	Macr...
	1	3	5	6	7	8		
True Positive	3527	0	0	2514	25	0	1011	1011
False Positive	307	0	0	1452	242	0	333.5	333.5
False Negative	1270	146	19	294	244	28	333.5	333.5
True Negative	2963	7921	8048	3807	7556	8039	6389	6389
Precision	0.919...	NaN	NaN	0.633...	0.093...	NaN	0.751...	NaN
Sensitivity	0.735...	0	0	0.895...	0.092...	0	0.751...	0.287...
Specificity	0.906...	1	1	0.723...	0.968...	1	0.950...	0.933...
Accuracy	0.751...	0.751...	0.751...	0.751...	0.751...	0.751...	0.751...	0.751...
F-measure	0.817...	NaN	NaN	0.742...	0.093...	NaN	0.751...	NaN





RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso

Classification Statistics

Teste Tools

Select Wells:

- 3CRP 0005A RJS
- 3CRP 0006 RJS
- 3CRP 0008 RJS
- 7MA 0002D RJS
- 9MA 0026D RJS
- 3RJS 0224 RJ

Ground truth property: FACIES

Predicted property: FAC_TRF_0310

Consider Zones:
 Zone 1

Confusion Matrix Classification Statistics ROC Curves Histogram

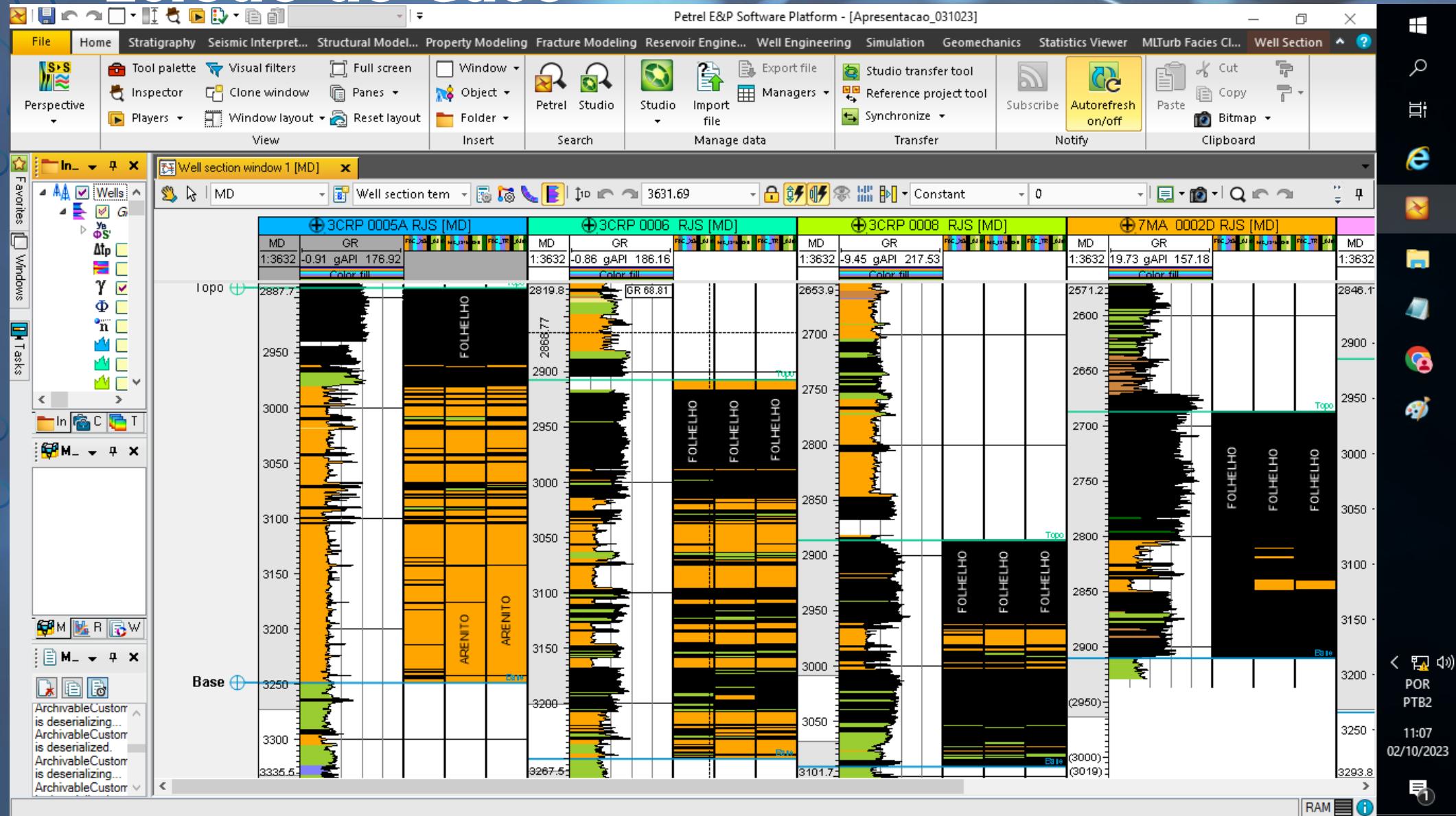
	ARE...	CALC...	DIAM...	FOLH...	MAR...	SILTI...	Micro...	Macr...
	1	3	5	6	7	8		
True Positive	3492	0	0	2486	28	0	1001	1001
False Positive	308	0	0	1532	221	0	343.5	343.5
False Negative	1305	146	19	322	241	28	343.5	343.5
True Negative	2962	7921	8048	3727	7577	8039	6379	6379
Precision	0.918...	NaN	NaN	0.618...	0.112...	NaN	0.744...	NaN
Sensitivity	0.727...	0	0	0.885...	0.104...	0	0.744...	0.286...
Specificity	0.905...	1	1	0.708...	0.971...	1	0.948...	0.931...
Accuracy	0.744...	0.744...	0.744...	0.744...	0.744...	0.744...	0.744...	0.744...
F-measure	0.812...	NaN	NaN	0.728...	0.108...	NaN	0.744...	NaN





RESULTADOS E DISCUSSÕES

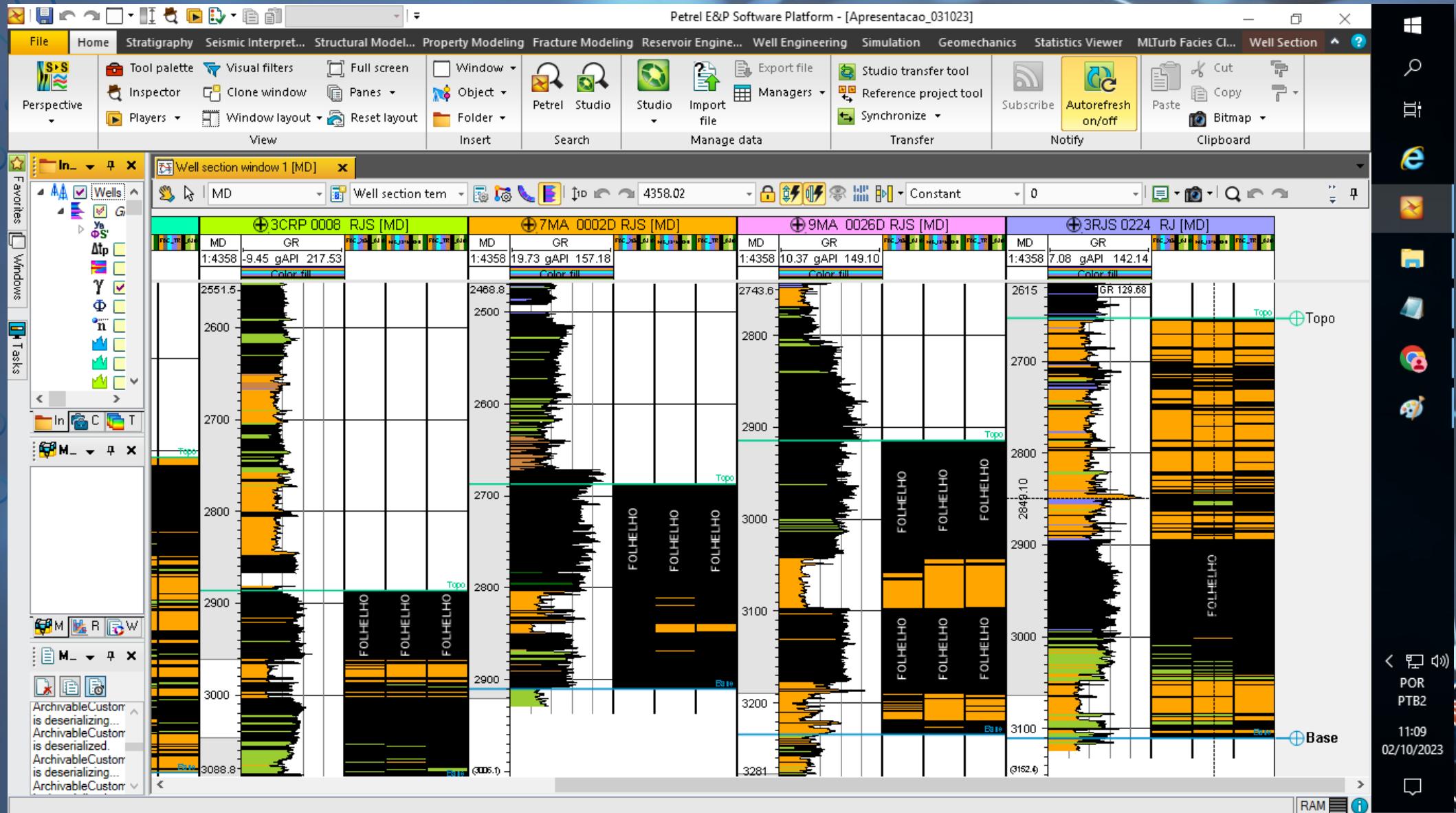
Estudo de Caso



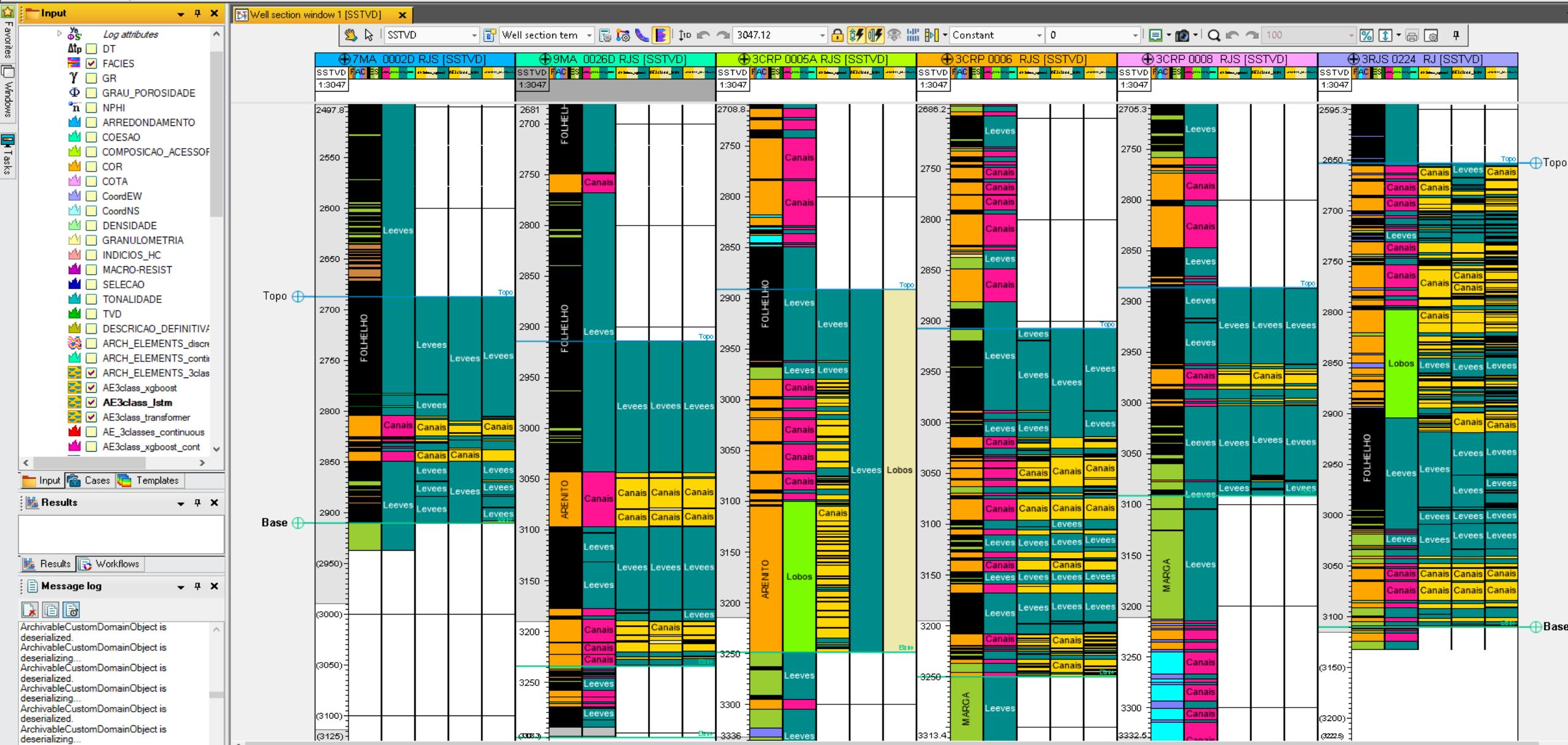


RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo de Caso



Predição dos **Elementos Arquitetura**



The screenshot shows the Petrel EBP Software Platform interface. On the left, the 'Input' panel lists various geological models and data sets. The main window displays 'Classification Statistics' for an XGboost model, showing a Confusion Matrix and detailed performance metrics. The right side shows a 3D seismic volume with geological facies labeled.

TRUECLASS	Values	1	2	3	9	Row Sum	Precision
Cone	1	236	34	719	0	3139	0.7601
Lobos	2	33	29	279	0	3463	0.0198
Luxo	3	233	0	336	0	3389	0.9568
9	2	0	30	0	32	0	

Column Sums: 3776, 63, 684, 0, 10023

Overall Results:

- Recall: 0.6319, 0.4603, 0.8338, NaN
- Accuracy: 0.7554

Acurácia Transformer

Classification Metrics | Confusion Matrix | ROC Curves | Images

Add Classification		Precision						
	Actual	0	1	2	3	4	Row Sum	Precision
0	Detail	1	321	2435	262	0	3230	0.9312
1	Forest	2	4	1459	0	0	1463	0.9913
2	Leaves	3	201	1850	254	0	2305	0.9218
3		4	0	0	32	0	32	0
	Column Sum		1155	8880	2830	0	10865	
	Detail		0.755	0.202	0.024	N/A		
	Accuracy		0.9312					

Ground truth property: ARCH_ELEMENTS_3dviews
Predicted property: AE3dview_urbanforest

Consider Zeros
 Zeros Test

Acurácia LSTM

Classification Statistics

Test - Train

Selected Model:

- AWA_000211.RJS
- BWA_00260.RJS
- BCPP_00064.RJS
- BCPP_0006.RJS
- BCPP_00061.RJS
- PRJS_0024.RJS

Ground truth property: AWCA_1111.MN.B_Oldnew ✓

Predicted property: All Oldnew items ✓

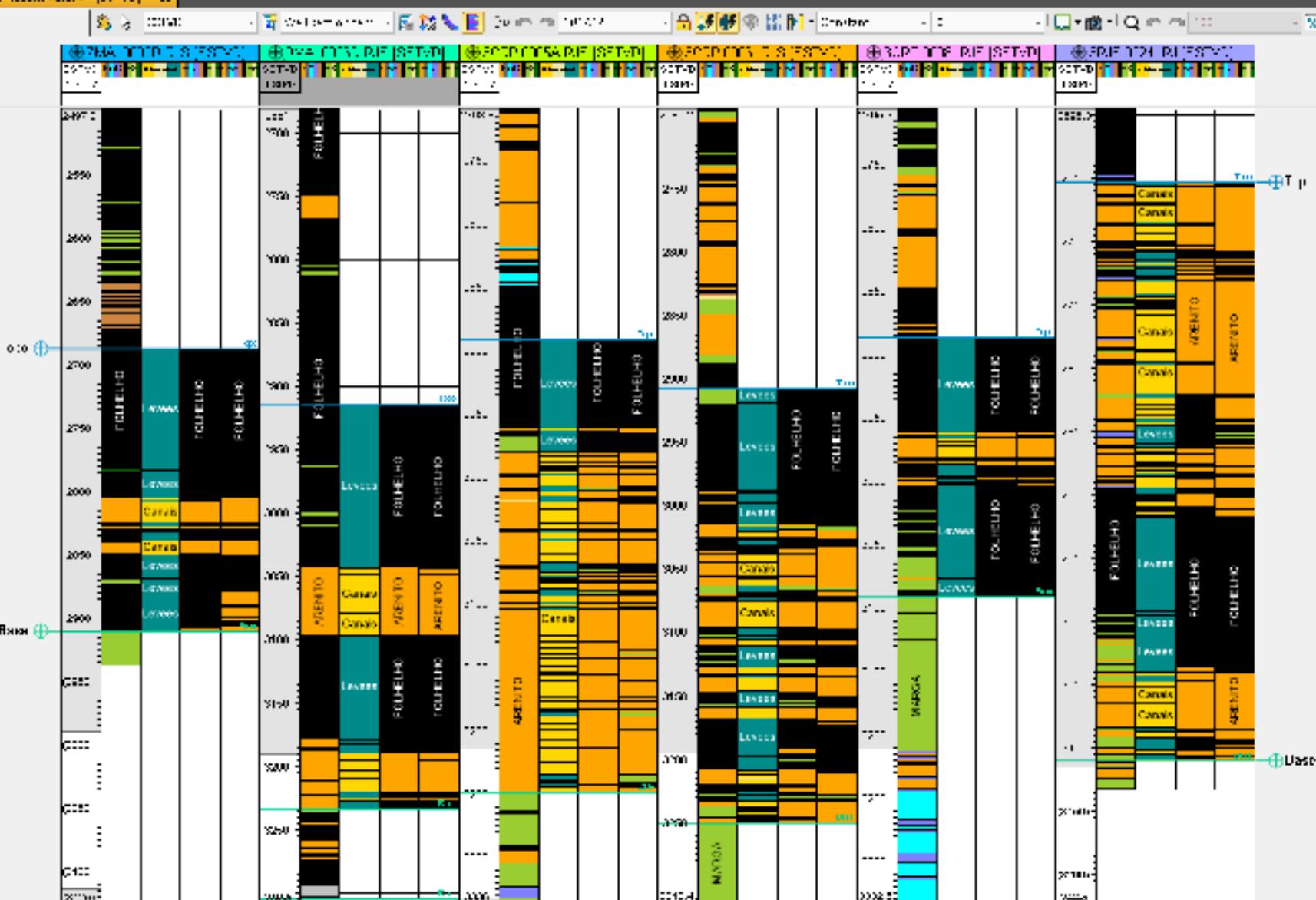
Run

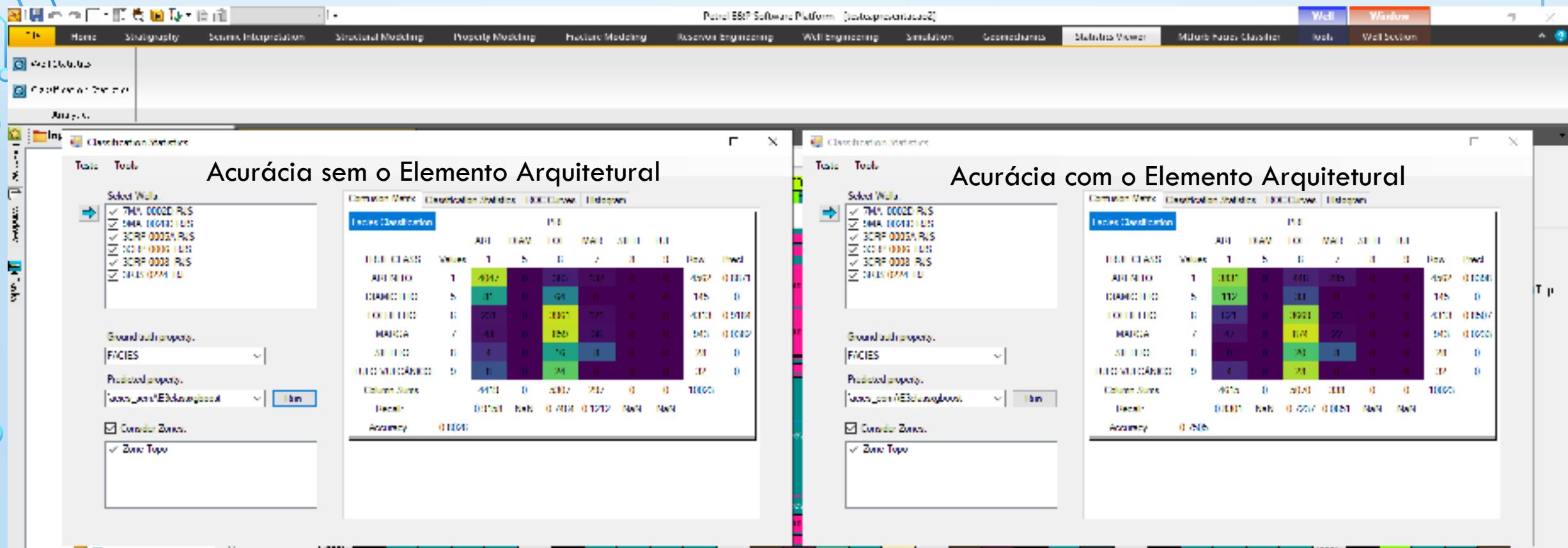
Consider zones: ✓ Zone 1,2,3

Classification Matrix | Classification Statistics | ROC Curve | Histogram

		FREQUENCIES			
		Cancer	Leesa	Leesva	
TRUE CLASS	Values	1	2	3	
		Cancer	790	69	2280
Leesa	2	4	0	1459	0 1463 0
Leesva	3	59	10	5320	0 5389 0.3872
	9	0	0	30	0 32 0
Column Sums		823	79	5661	0 10229
Overall		0.9261	0	0.3852	NaN
Accuracy		0.6096			

Predição das Fácies com (c) e sem (s) dados dos Elementos Arquiteturais







CONCLUSÕES

- Versão do plug-in Petrel® para Análise Exploratória de Dados
- Versão do plug-in Petrel® para Classificação Automática de Fáries.
- A Análise Exploratória de Dados possui todas as ferramentas necessárias para auxiliar na Seleção de Atributos, Seleção de Poços de Treinamento, etc. que facilitam a melhoram os resultados dos Modelos de Aprendizado de Máquina e permite também a obtenção de métricas de Controle de Qualidade dos Modelos Treinados. **ISTO É FUNDAMENTAL PARA UM BOM DESEMPENHO DE MODELOS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA.**
- Os Modelos de Classificação Automática de Fáries facilitam a interação com o usuário através das técnicas de AutoML para ajuste automático dos hiperparâmetros dos algoritmos de aprendizado de máquina, ao mesmo tempo que permite a customização por usuários mais experientes. A execução do treinamento é rápida e permite a realização de vários experimentos.
- Os experimentos realizados até agora atestam o funcionamento adequado dos Modelos.





CONCLUSÕES

- Em relação aos resultados obtidos, observou-se, em alguns momentos, algumas discrepâncias entre a fácie interpretada pelo especialista e o valor previsto pelos modelos de Aprendizado de Máquina. Isto poderia ser atribuído ao fato da interpretação pelo especialista ter uma resolução menor (a cada 6 metros) do que a previsão baseada nos valores dos perfis (a cada 20cm).
- A interpretação por amostra de calha também está sujeita a erros.
- O desbalanceamento das classes é um fato que pode prejudicar os resultados das técnicas de Aprendizado de Máquina. Uma consideração cuidadosa dos dados de treinamento devem ser observados visando minimizar este efeito, mas outras alternativas estão sendo estudadas.
- A consideração de Elementos Arquiteturais e ciclos de estratigrafia de sequências (regressivos, transgressivos, etc,) poderiam ser considerados como dados de entrada adicionais para desambiguação e melhoria do resultado da classificação automática.





AGRADECIMENTOS



PETROBRAS

