

25^e
26
AGOSTO
2018



XII SESMA

SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE
SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE

II WORKSHOP INTERNACIONAL DE
BIORREMEDIÇÃO
DE ÁREAS CONTAMINADAS

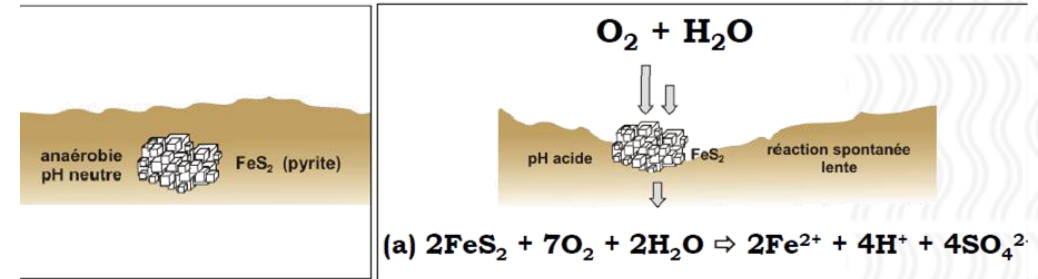


Segurança Hídrica Global

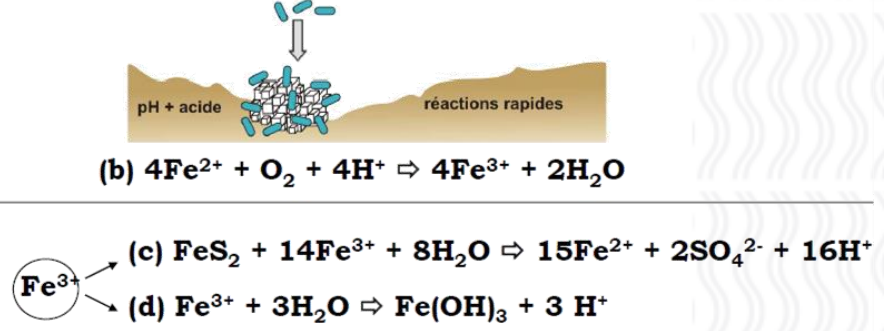
POTENCIAL DOS RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE CAMARÃO PARA REMEDIAÇÃO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM DRENAGEM ÁCIDA MINERAL

DÁMARIS NÚÑEZ GÓMEZ, PhD

Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA)



Colonização de bactérias (thiobacillus ferrooxidans, Leptospirillum ferrooxidans e/ou thiobacillus thiooxidans)



Contextualização e Justificativa

Carvão mineral e drenagem ácida mineral (DAM)

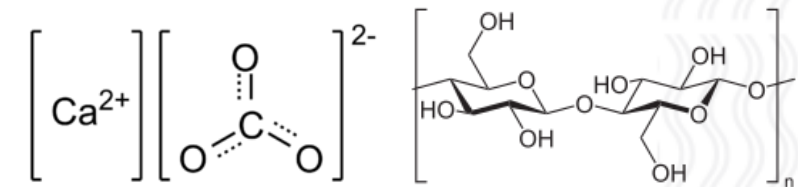


XI SESMA
SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE
SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE

II WORKSHOP INTERNACIONAL DE
BIORREMEDIÇÃO
DE ÁREAS CONTAMINADAS

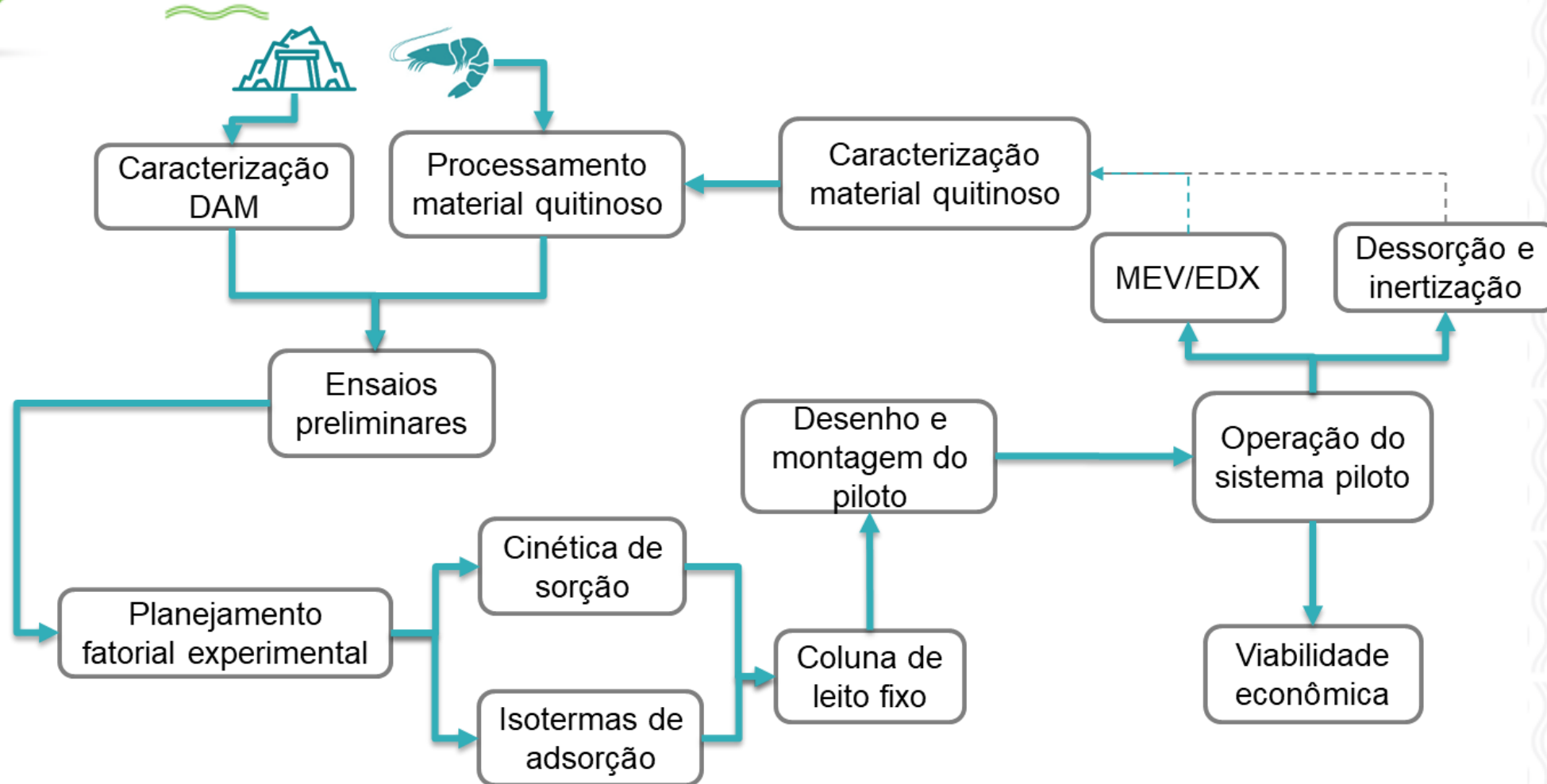
Segurança Hídrica Global

25 e 26 AGOSTO
2018

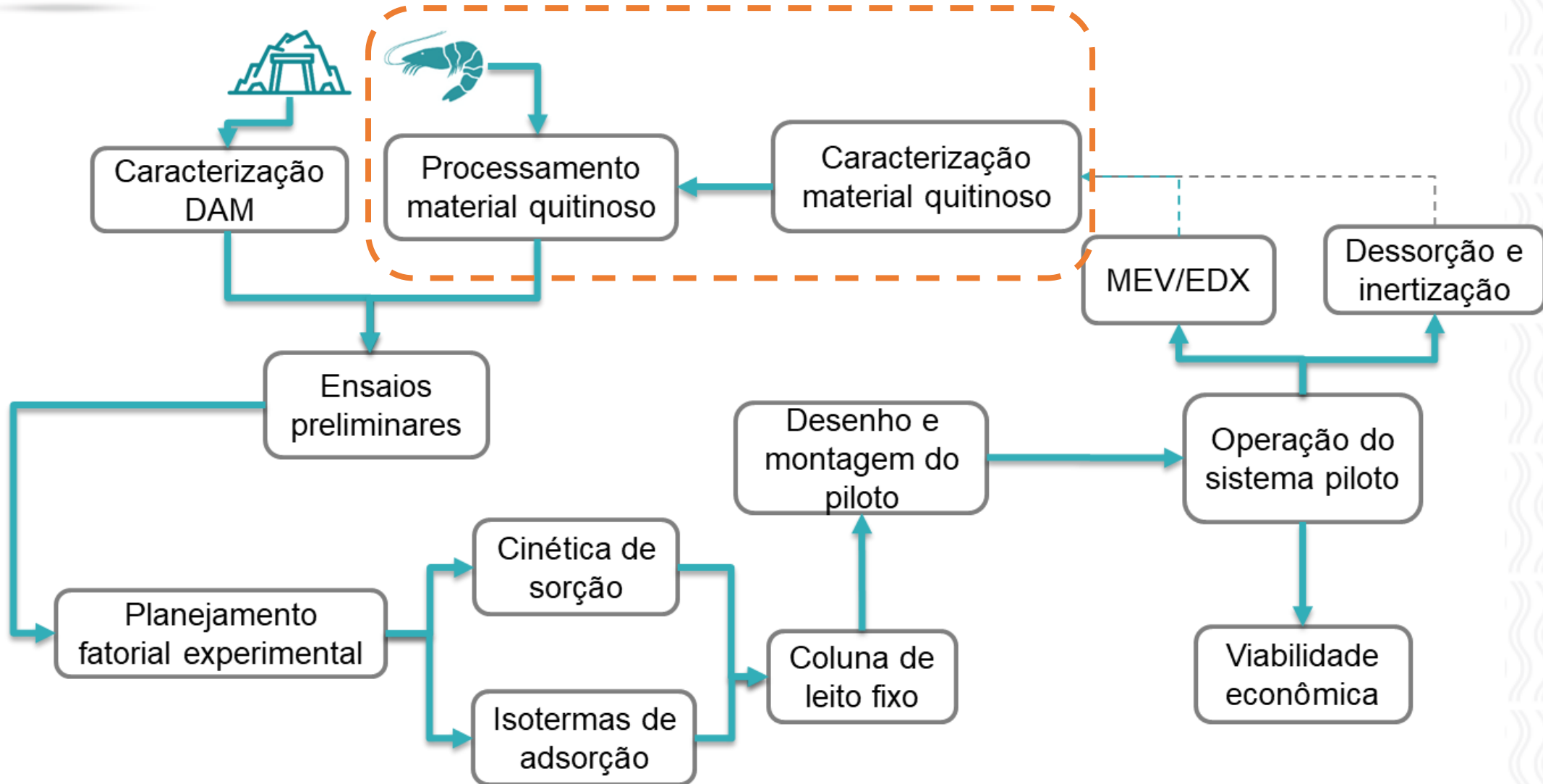


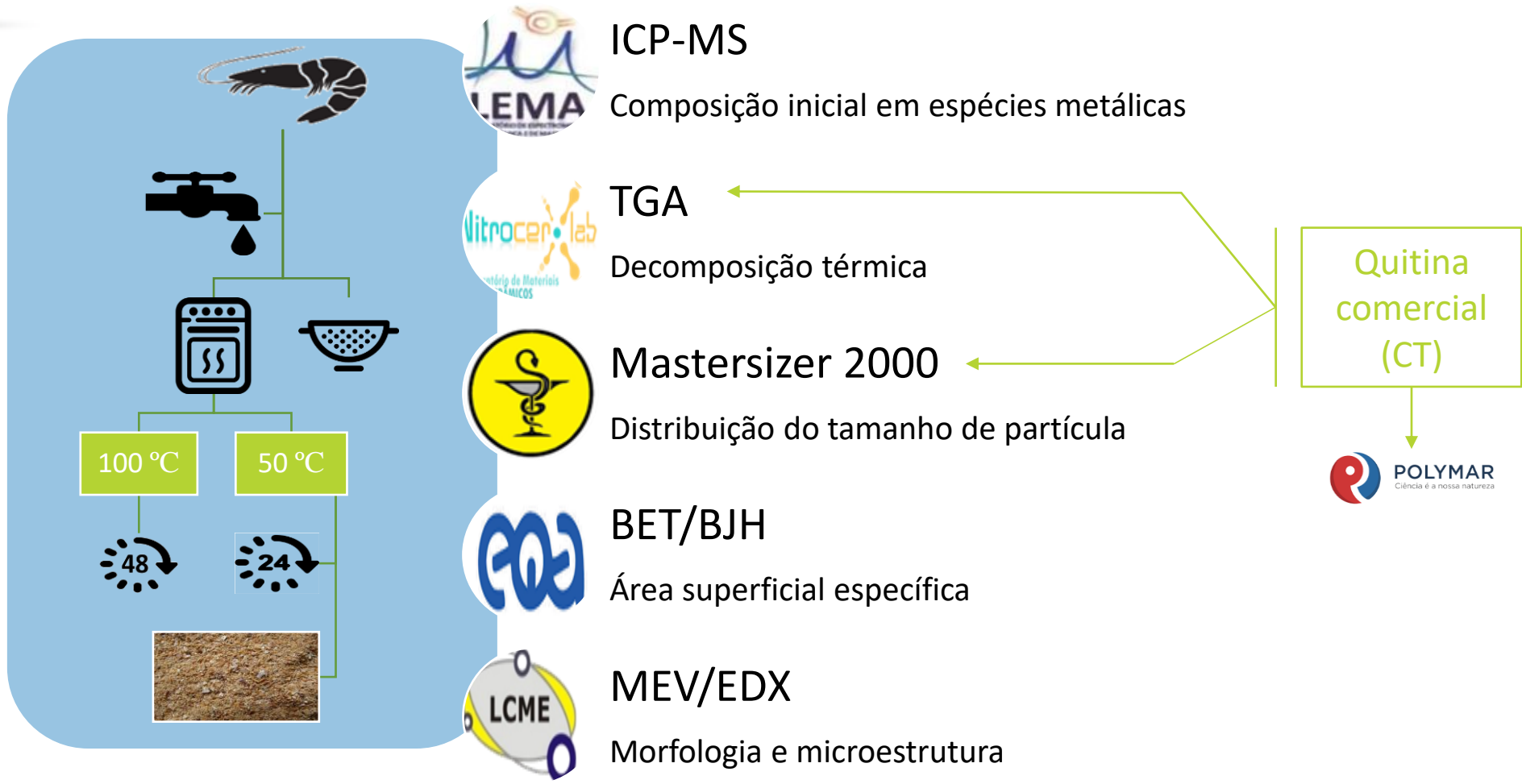
Contextualização e Justificativa

Carcinicultura - *Litopenaeus vannamei*



Planejamento metodológico

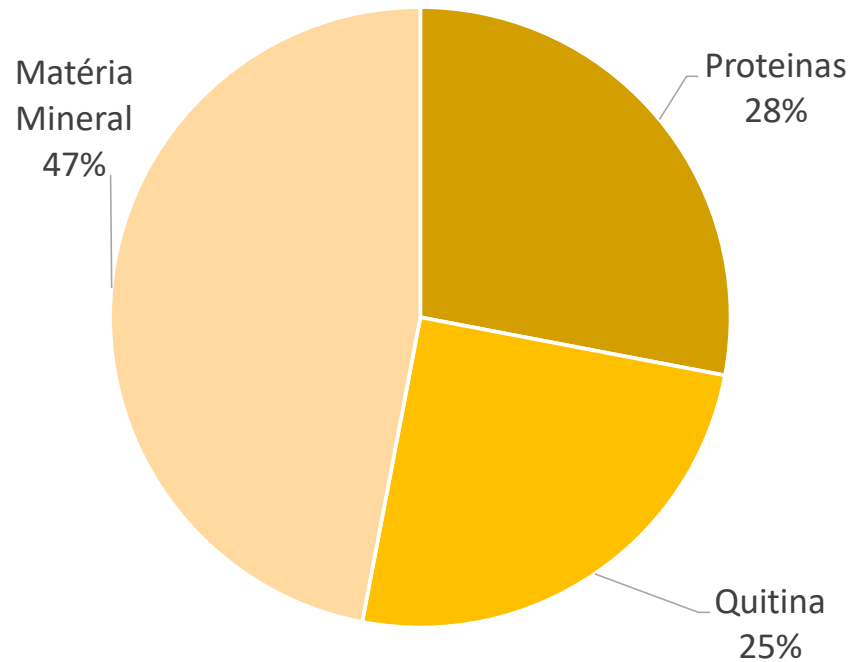




Materiais e Métodos



CASCA DE CAMARÃO (SS)




Macroelementos e
elementos-traço

ELEMENTO	ppm
Ca	44611,42
Mg	3857,83
K	1674,28
Sr	1219,25
Na	835,44
Ba	232,97
Ti	80,98
Fe	43,12
Zn	22,32
Mn	10,86
Cu	9,50
Al	6,80
Cr	0,55
Ni	0,31

Caracterização SS

TGA

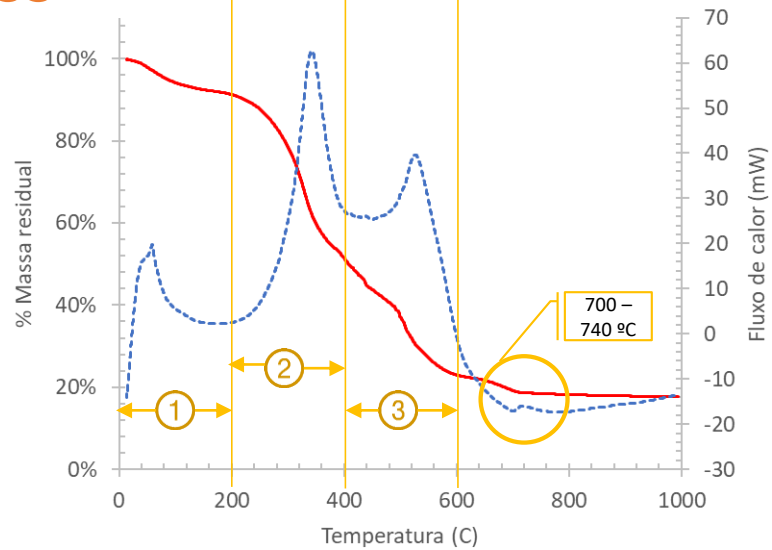
Tamanho de partícula

BET/BJH

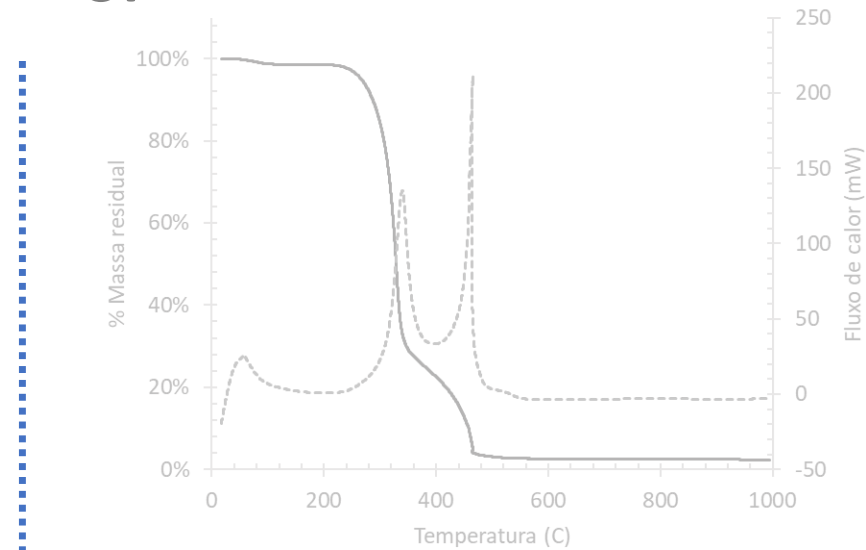
MEV/EDX



SS



CT



- ① Perda da água de constituição e umidade
- ② Despolimerização
- ③ Geração de material carbonizado

Caracterização SS

TGA

Tamanho de partícula

BET/BJH

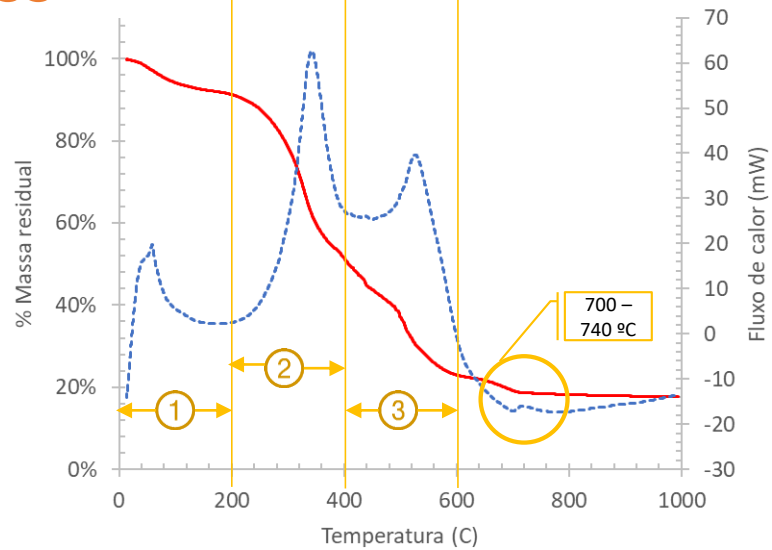
MEV/EDX

Resultados e Discussão

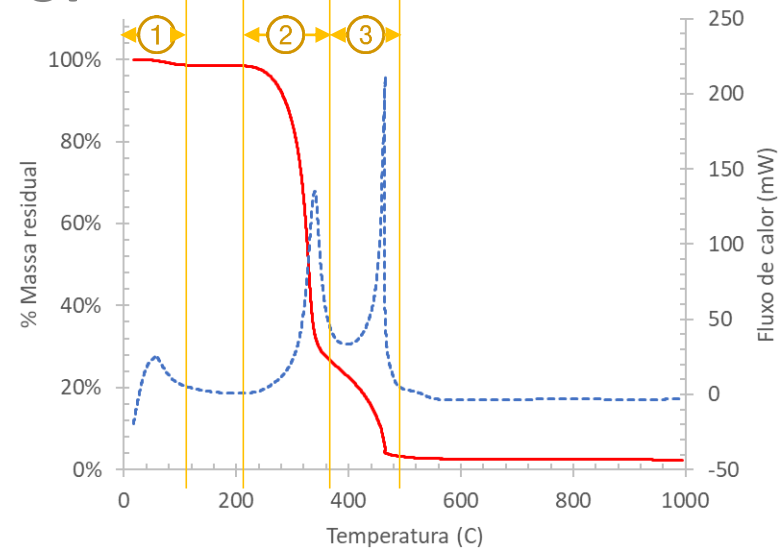
Análises Termogravimétricas (TGA)



SS



CT



- ① Perda da água de constituição e umidade
- ② Despolimerização
- ③ Geração de material carbonizado

Caracterização SS

TGA

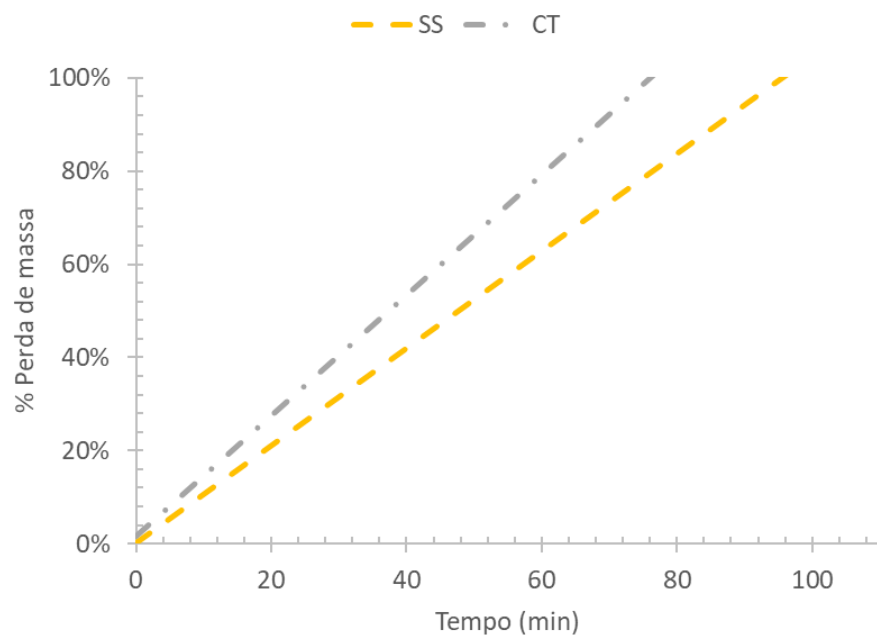
Tamanho de partícula

BET/BJH

MEV/EDX

Resultados e Discussão

Análises Termogravimétricas (TGA)



	BIOMATERIAL	T (°C)	MASSA RESIDUAL (%)	PERDA DE MASSA TOTAL (%)
SS	SSnH ₂ O → SS + nH ₂ O	13 – 200	8	8
	SS → SS _{despol}	200 – 400	41	49
	SS _{despol} → MC*	400 - 600	28	77
	Queima MC*	700 - 736	5	82
CT	CTnH ₂ O → T + nH ₂ O	16 - 100	2	2
	CT → CT _{despol}	225 – 352	68	70
	CT _{despol} → MC*	352 – 567	26	96

*Material carbonizado
Despol: Despolimerizada
SS: Casca de camarão
CT: Quitina comercial

Resultados e Discussão

Análises Termogravimétricas (TGA)

Caracterização SS

TGA

Tamanho de partícula

BET/BJH

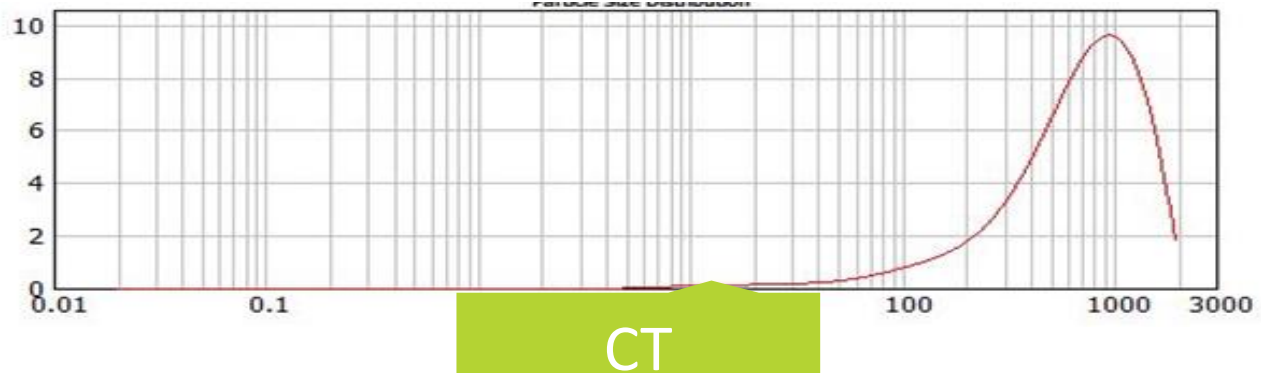
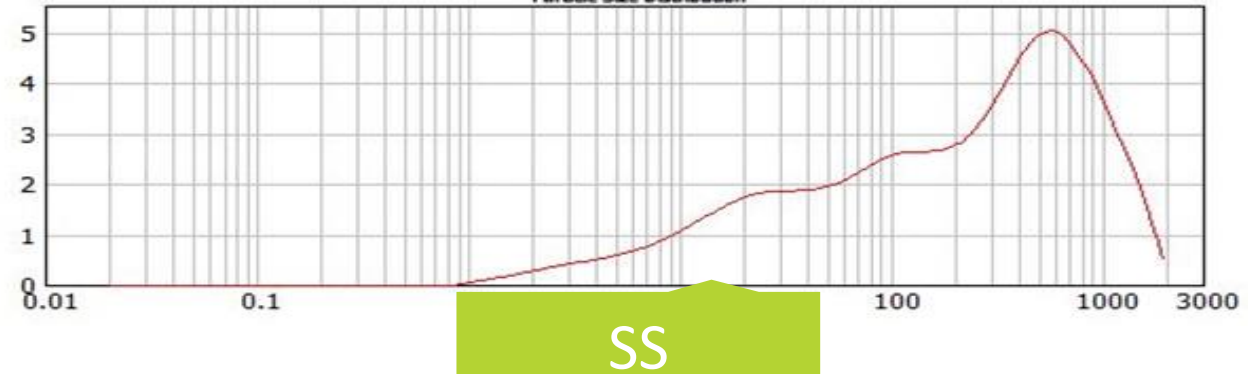
MEV/EDX



Teoria de difração de
Fraunhofer

$$D_{3,2} = \frac{\sum_i n_i d_i^3}{\sum_i n_i d_i^2}$$

$$Span = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}}$$



Caracterização SS

TGA

Tamanho de partícula

BET/BJH

MEV/EDX

Resultados e Discussão

Tamanho de partícula – Mastersizer 2000



	SS	CT
D ₁₀	14,722 µm	210,147 µm
D ₅₀	240,803 µm	727,907 µm
D ₉₀	993,785 µm	1431,927 µm
D _{3,2}	387,090 µm	780,412 µm
Span	4,066	1,678

Polidisperso



Caracterização SS

TGA

Tamanho de partícula

BET/BJH

MEV/EDX

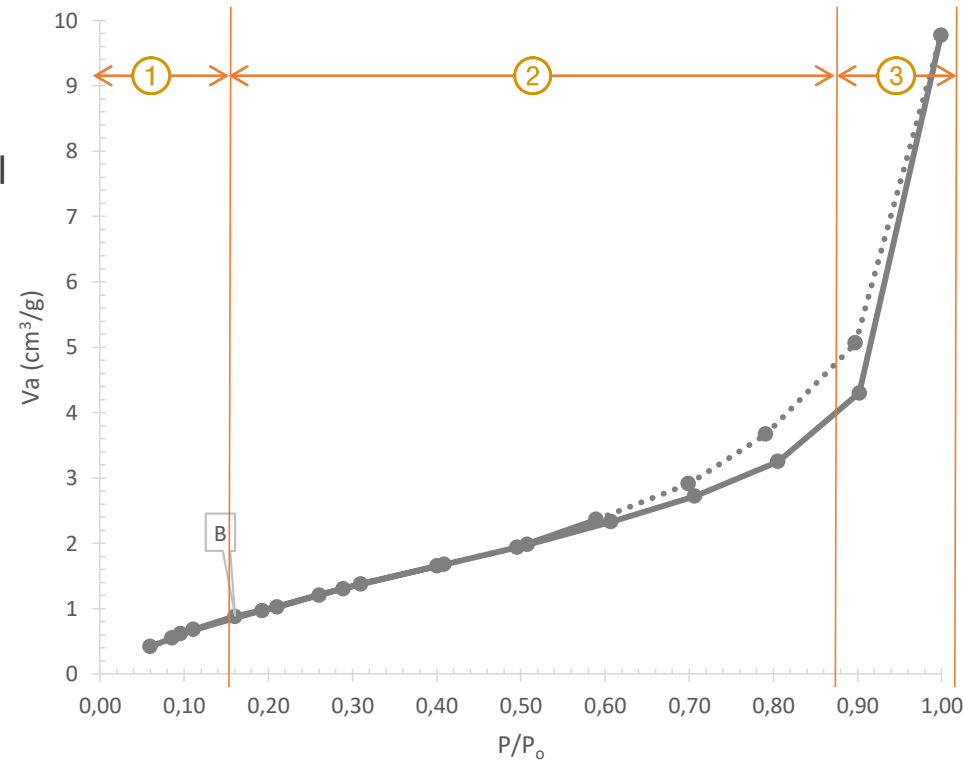
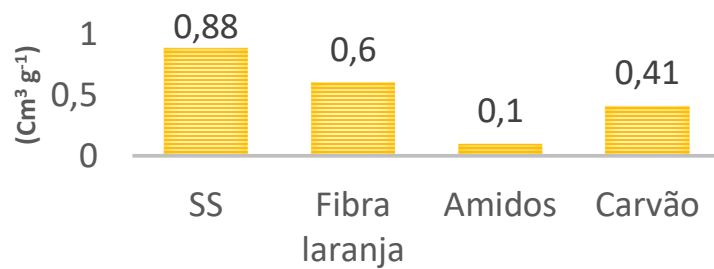
Resultados e Discussão

Tamanho de partícula – Mastersizer 2000

Tipo IIb (IUPAC)

- Adsorção monomulticamada
- Agregados não rígidos com heterogeneidade superficial

- ① Capacidade da monocamada
- ② Formação da multicamada
- ③ Camada adsortiva proporcional à pressão vapor



Resultados e Discussão

Isoterma de adsorção do N₂

Caracterização SS

TGA

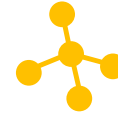
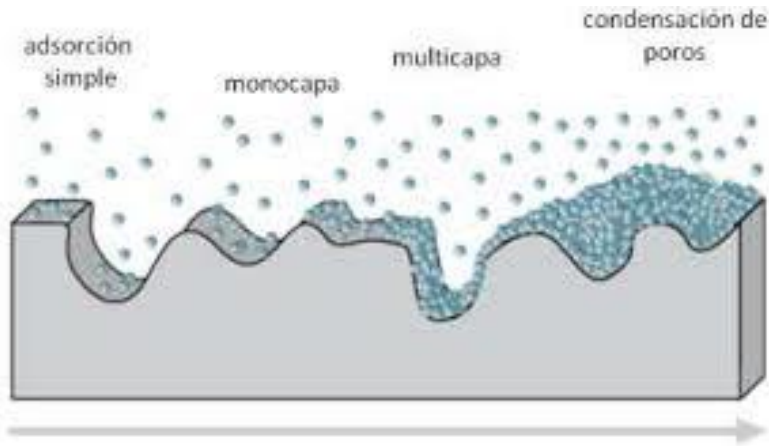
Tamanho de partícula

BET/BJH

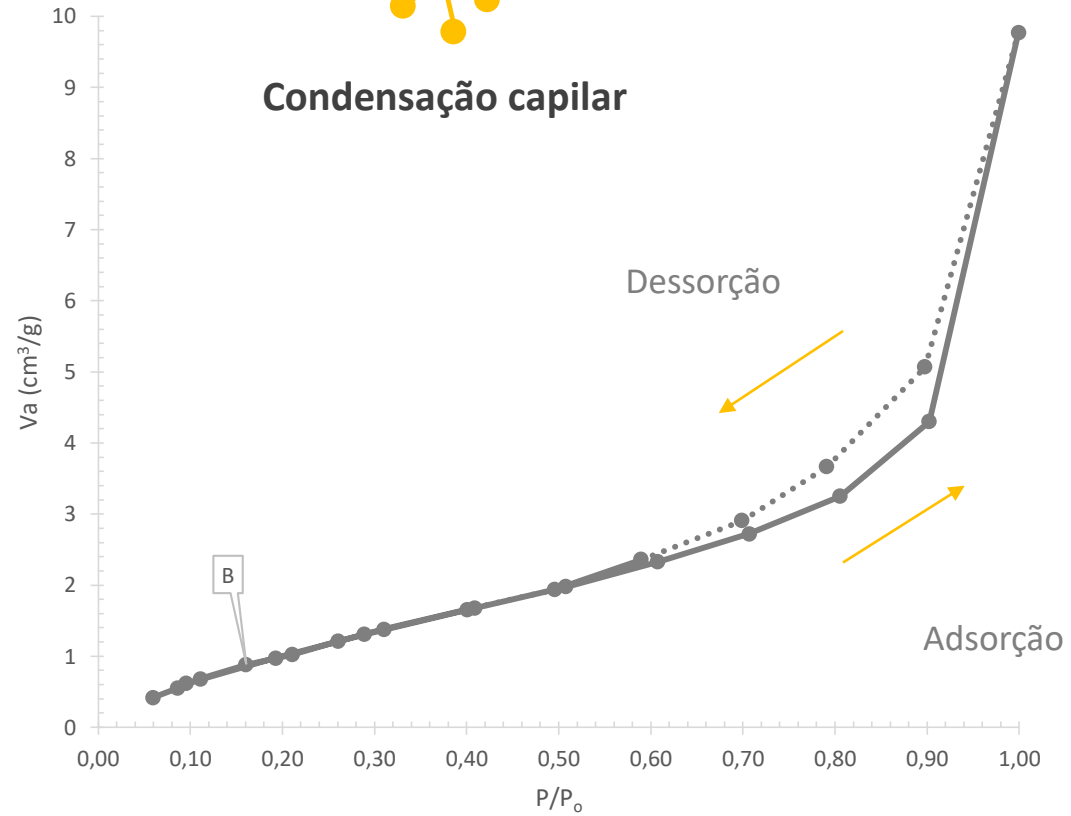
MEV/EDX

Tipo H3 (IUPAC)

- Aglomerados laminares
- Poros em forma de fenda



Condensação capilar



Resultados e Discussão

Isoterma de adsorção do N₂

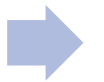
Caracterização SS



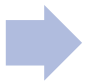
TGA



Tamanho de partícula



BET/BJH



MEV/EDX

Onde:

V_a : Volume de gás adsorvido na pressão P

P_o : Pressão do vapor do gás

V_m : Volume aparente da monocamada

C_{BET} : constante BET

S: Inclinação

i: Interseção

E_o e E_L : Calor de adsorção e calor de liquefação na monocamada da superfície da SS respectivamente

CA: Calor de adsorção

R: constante universal dos gases

T: temperatura (K)

σ : Área efetiva ocupada por uma molécula do adsorvato (0,162 nm² para o nitrogênio)

N_A : Número de Avogadro (mol⁻¹)

m: massa do adsorvato (g)

V_o : Volume molar do gás (cm³ mol⁻¹)

S_{Bet} : Área superficial específica

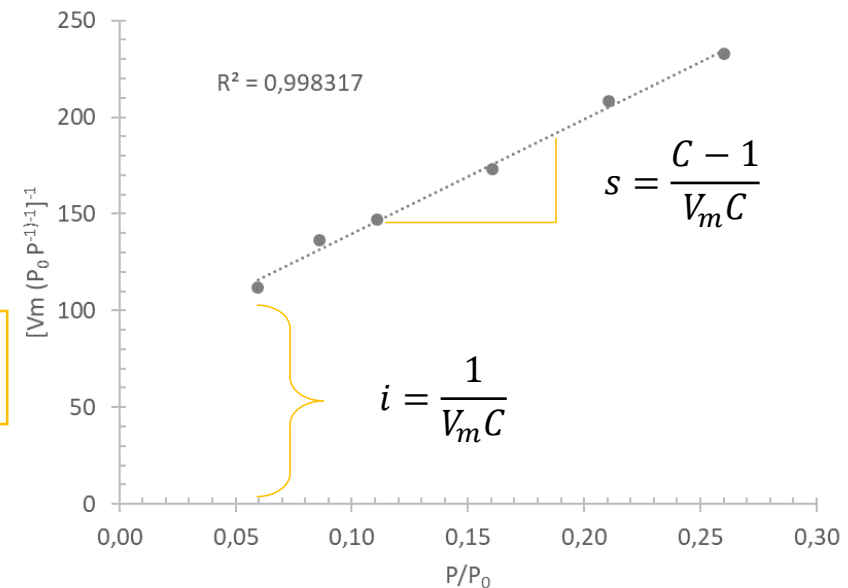
$$V_m = \frac{1}{s + i}$$

$$C = \frac{s}{i} + 1$$

$$\Delta E = E_o - E_L = RT \ln C_{BET}$$

$$S_{BET} = \frac{V_m \sigma N_A}{m V_o}$$

$$\frac{P}{V_a P_o - P} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C - 1}{V_m C} \left(\frac{P}{P_o} \right)$$



Resultados e Discussão
Área Superficial Específica (S_{BET})

Caracterização SS

TGA

Tamanho de partícula

BET/BJH

MEV/EDX

Área superficial específica (S_{BET})

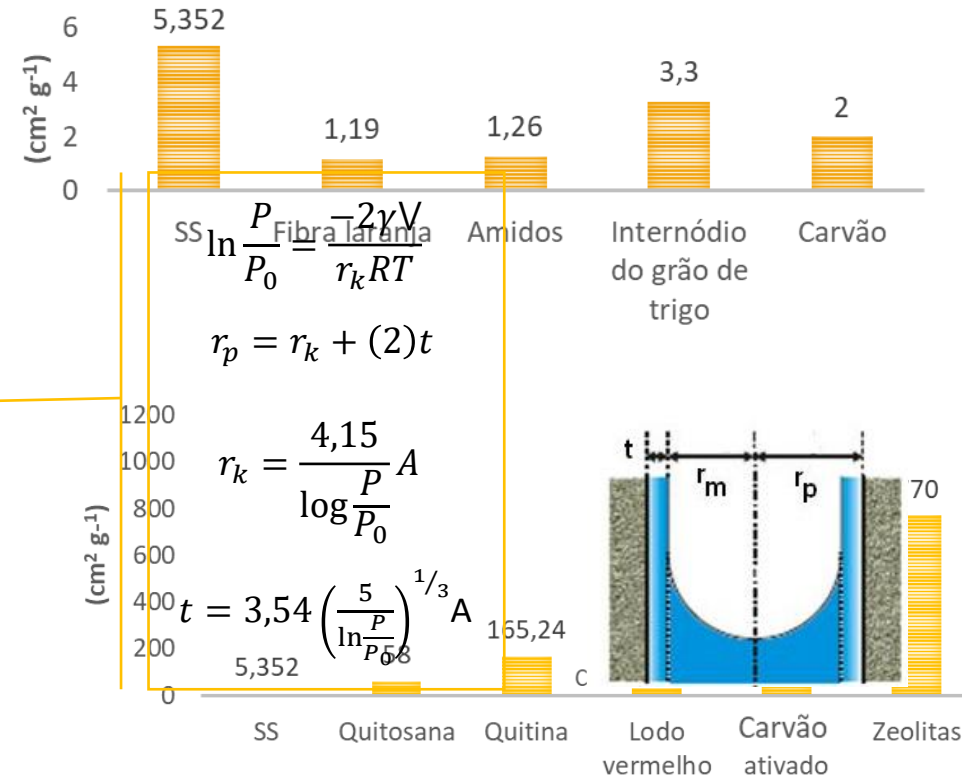
	UNIDADES	VALOR
S_{BET}	$m^2 g^{-1}$	5,352
Volume de poros*	$cm^3 g^{-1}$	$1,515 \cdot 10^{-2}$
Diâmetro médio de poros	Å	113,2
CNA**	$KJ gr^{-1}$	1,299

* $P/P_0 \sim 0,99$
** calculado a partir da C_{BET}

Método Barret, Joyner e Halenda (BJH)

	UNIDADES	VALOR
Área Superficial acumulativa	$m^2 g^{-1}$	7,446
Volume acumulativo de poros*	$cm^3 g^{-1}$	$1,66 \cdot 10^{-2}$
Diâmetro médio de poros	Å	22,78

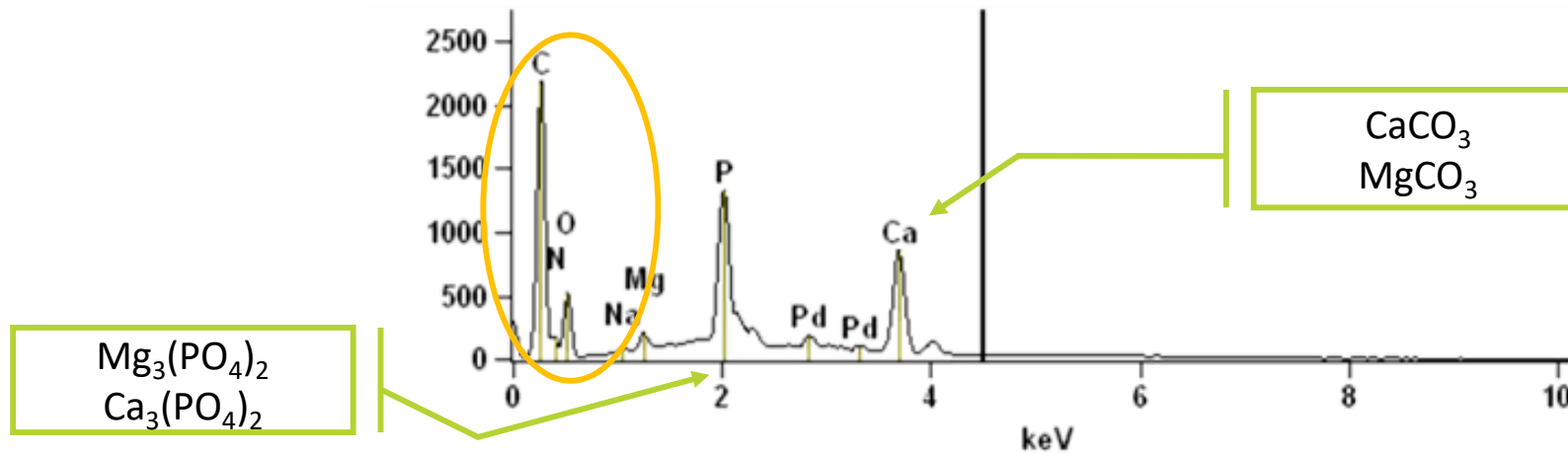
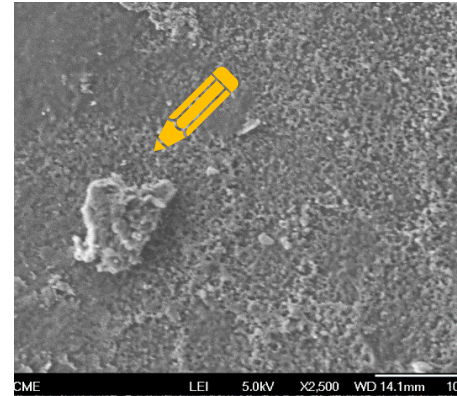
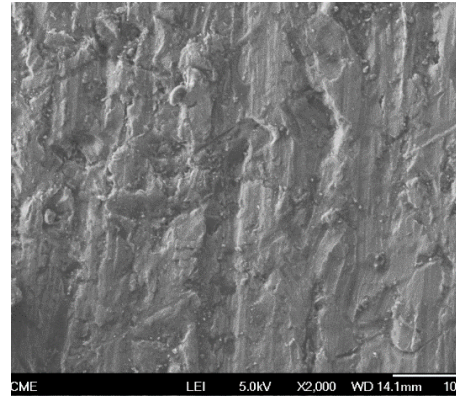
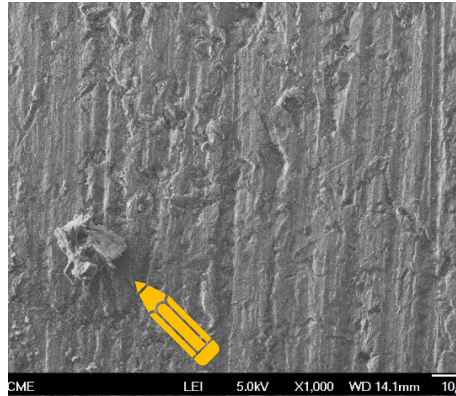
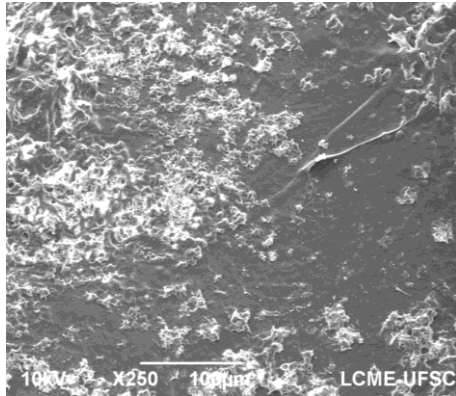
* $P/P_0 \sim 0,99$



Resultados e Discussão

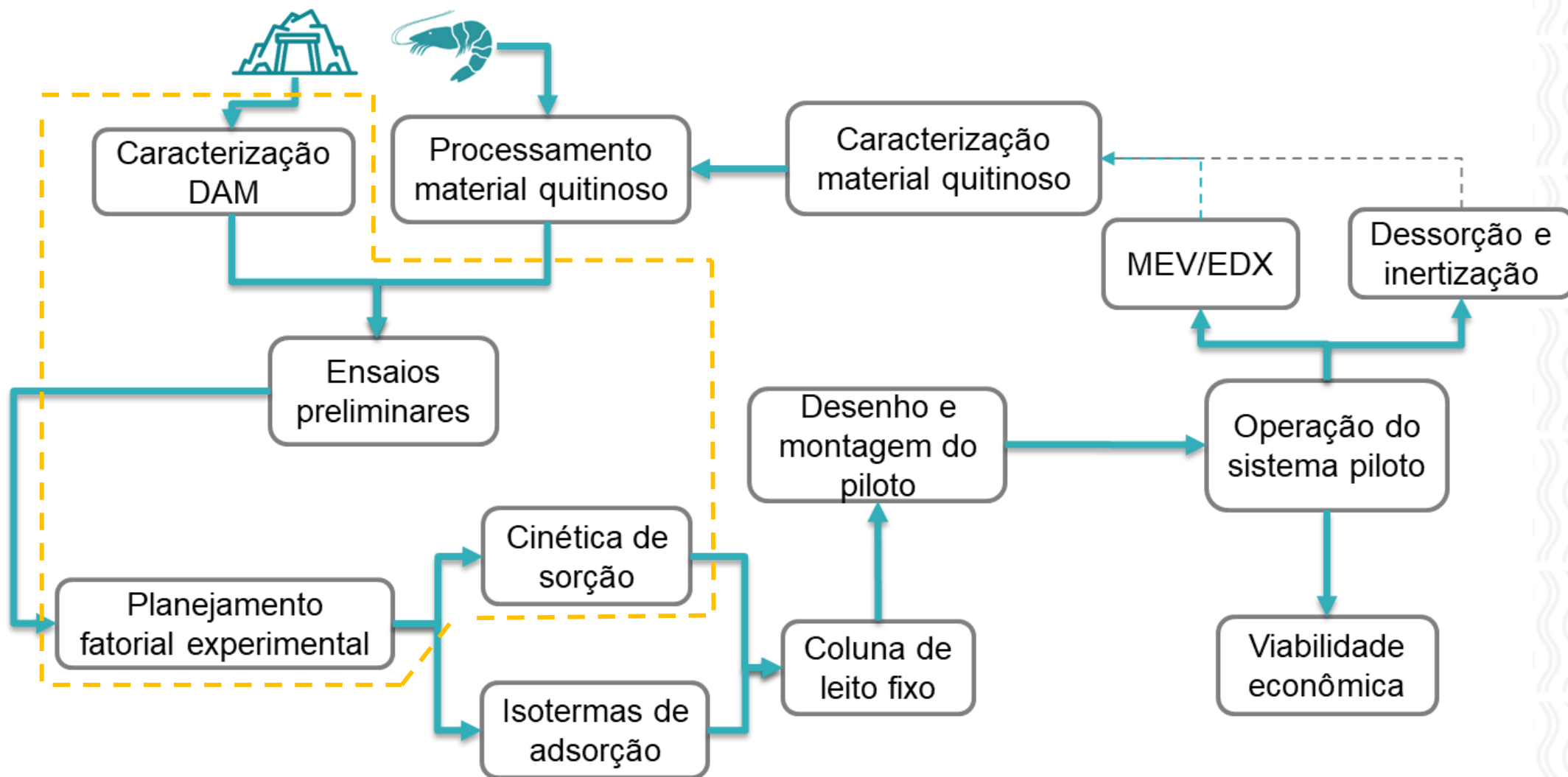
Área Superficial Específica (S_{BET})

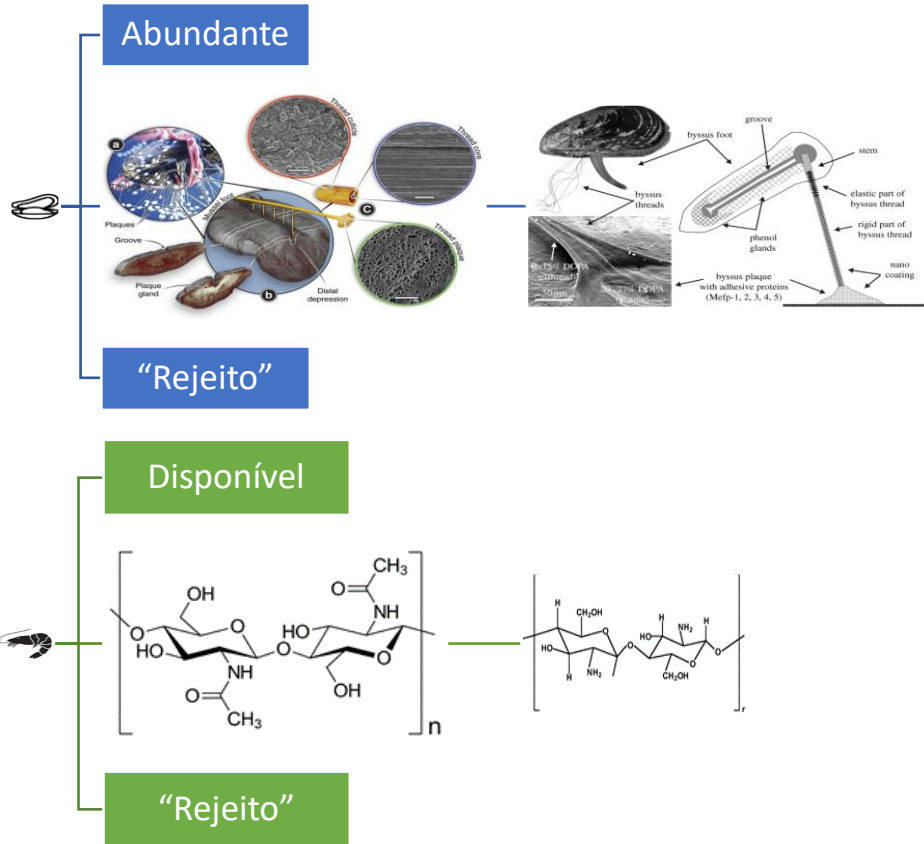




Resultados e Discussão

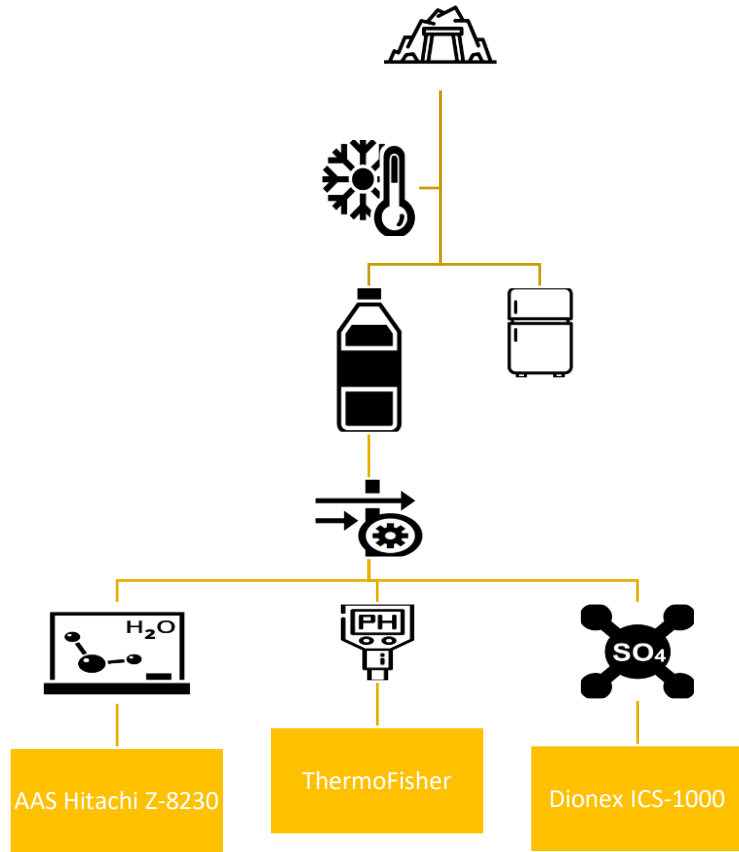
MEV/EDX





Materiais e Métodos

Biorresíduos



DAM

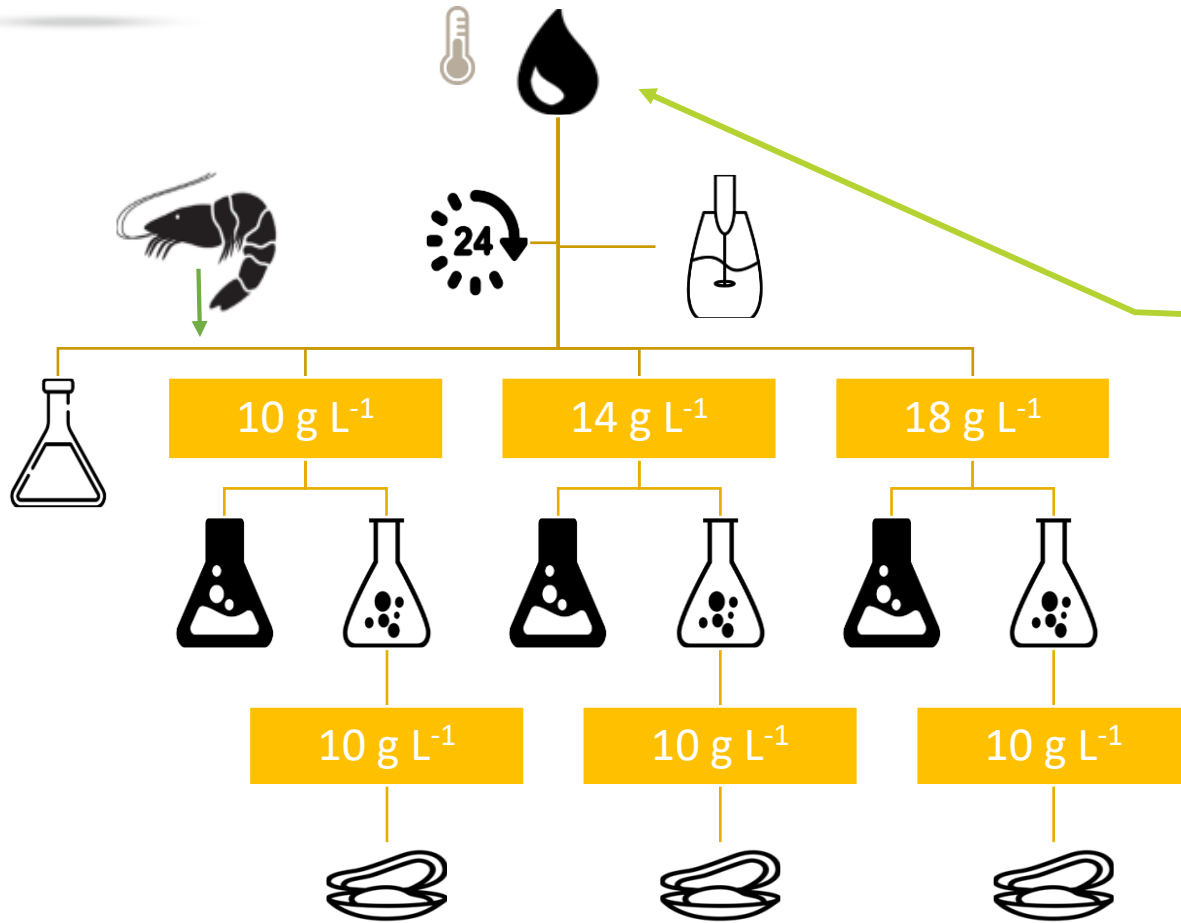
Ensaios preliminares

Planejamento Factorial

Modelos cinéticos

Materiais e Métodos

Drangem ácida mineral (DAM)



Influência pH
Relação teor biorresíduos
Sinergia dos biorresíduos

DAM

Ensaio preliminar

Planejamento Factorial

Modelos cinéticos

Materiais e Métodos

Ensaio preliminar



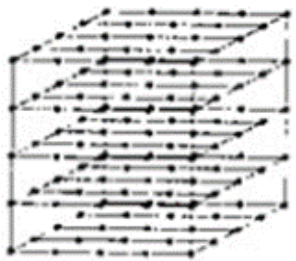
$$2^n$$

$$\alpha = (2^n)^{1/4}$$

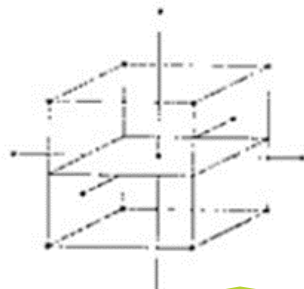
VARIÁVEL	-1,68 α	-1	0	+1	+1,68 α
Agitação (rpm)	16	50	100	150	184
MB (g L ⁻¹)	0,72	2,0	6,0	10,0	13,26
SS (g L ⁻¹)	7,28	10,0	14,0	18,0	20,72



Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃
1	0	0	0
2	0	0	+1.68
3	-1	+1	+1
4	-1.68	0	0
5	+1	-1	+1
6	+1	+1	-1
7	0	0	0
8	-1	-1	-1
9	+1	-1	-1
10	+1	+1	+1
11	0	+1.68	0
12	-1	-1	+1
13	-1	+1	-1
14	+1.68	0	0
15	0	0	0
16	0	0	-1.68
17	0	-1.68	0



Matriz (combinação de todos fatores)



DCCR

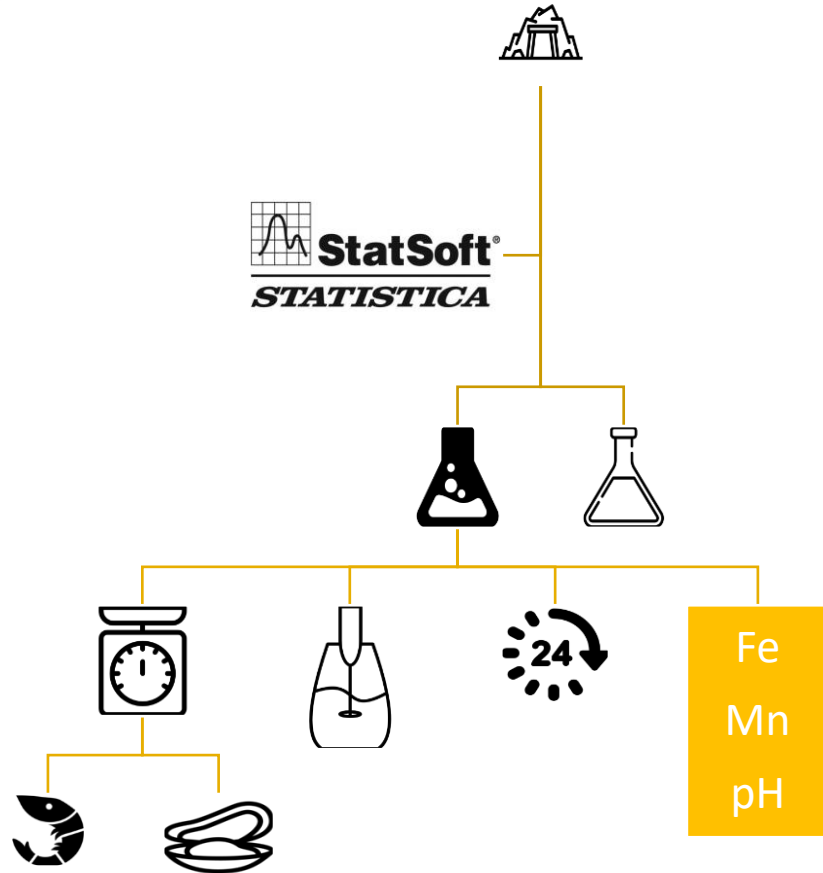


Um fator por vez

Materiais e Métodos

Delimitação Composto Central Rotacional (DCCR)

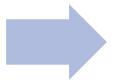




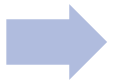
Agitação MB SS

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃
1	0	0	0
2	0	0	+1.68
3	-1	+1	+1
4	-1.68	0	0
5	+1	-1	+1
6	+1	+1	-1
7	0	0	0
8	-1	-1	-1
9	+1	-1	-1
10	+1	+1	+1
11	0	+1.68	0
12	-1	-1	+1
13	-1	+1	-1
14	+1.68	0	0
15	0	0	0
16	0	0	-1.68
17	0	-1.68	0

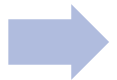
DAM



Ensaio preliminares



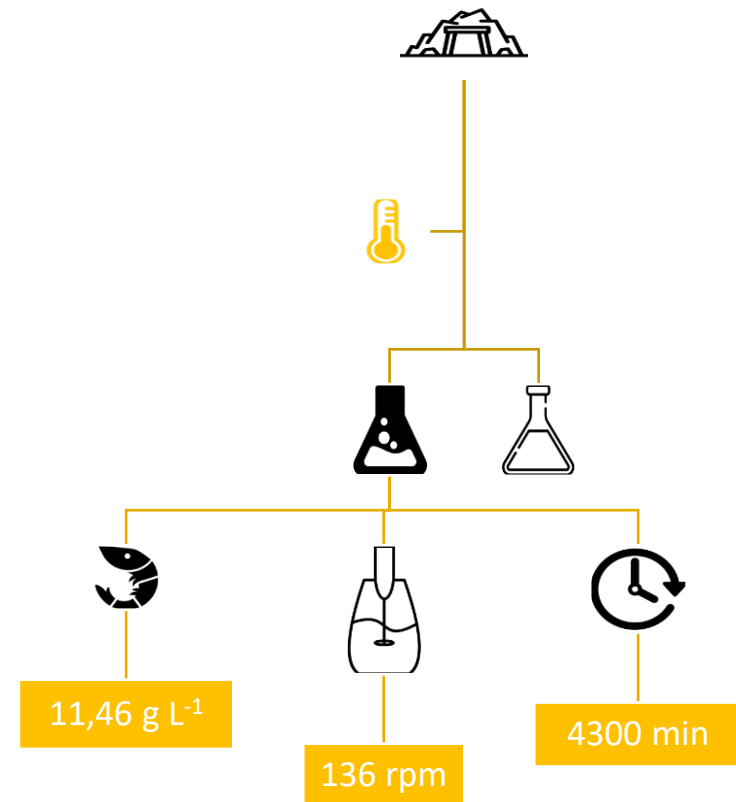
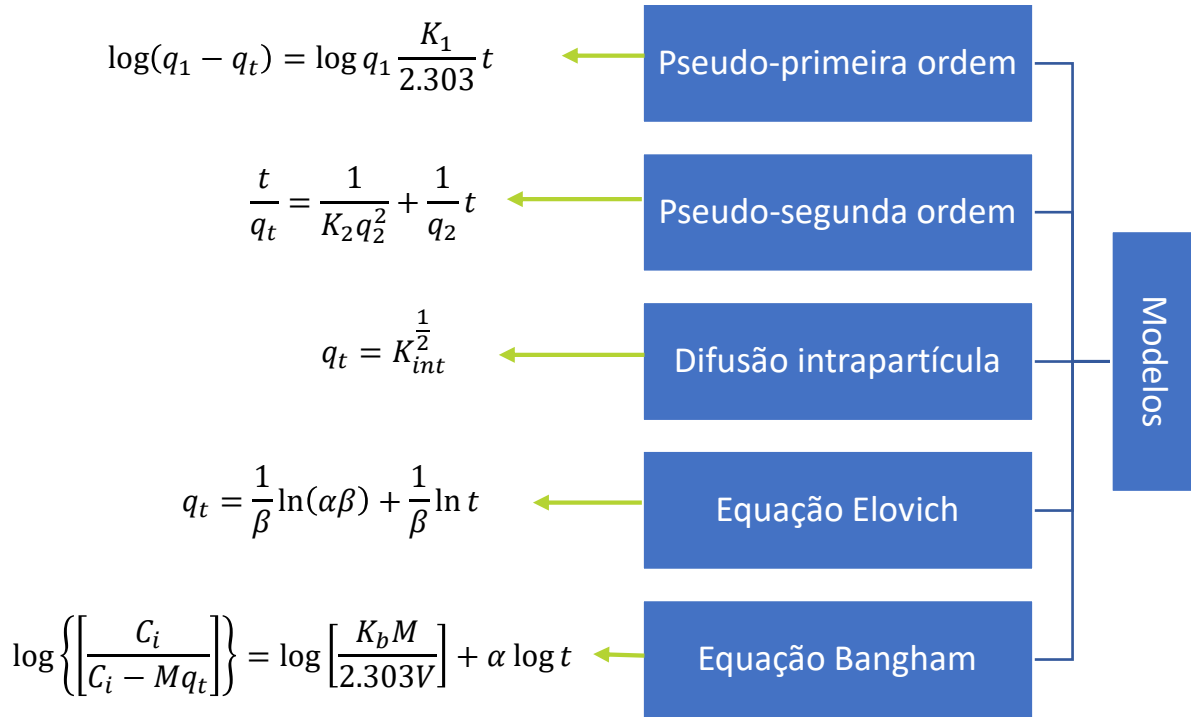
Planejamento Factorial



Modelos cinéticos

Materiais e Métodos

Delimitação Composto Central Rotacional (DCCR)



Materiais e Métodos

Ensaio cinéticos de sorção





XIISMA
SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE
SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE

II WORKSHOP INTERNACIONAL DE
BIORREMEDIÇÃO
DE ÁREAS CONTAMINADAS

Segurança Hídrica Global

25 e 26 AGOSTO
2018

VARIÁVEL	Und.	VALOR	CONAMA 430/2011*	CONAMA 357/2005**
pH	-	3,04	5-9	6-9
Sulfato	mg L ⁻¹	3630,8	NA	250
Fe _{total}	mg·L ⁻¹	83,24	15,0	5,0
Mn _{total}	mg·L ⁻¹	5,94	1,0	0,5
Al	mg·L ⁻¹	0,020	NA	0,2
Nd	mg·L ⁻¹	27,67 · 10 ⁻³	NA	NA
Cd	mg·L ⁻¹	0,001	0,2	0,01
K	mg·L ⁻¹	8,880	NA	NA
Co	mg·L ⁻¹	0,078	NA	0,2
Cu	mg·L ⁻¹	0,012	1,0	0,013
Ni	mg·L ⁻¹	71,04 · 10 ⁻³	2,0	0,025

*Dispõe sobre as condições e padrões de **lançamento de efluentes**

** Dispõe sobre a **classificação dos corpos de água** e diretrizes ambientais para o seu enquadramento

NA: Não aplicado

DAM



Ensaios preliminares



Planejamento Factorial

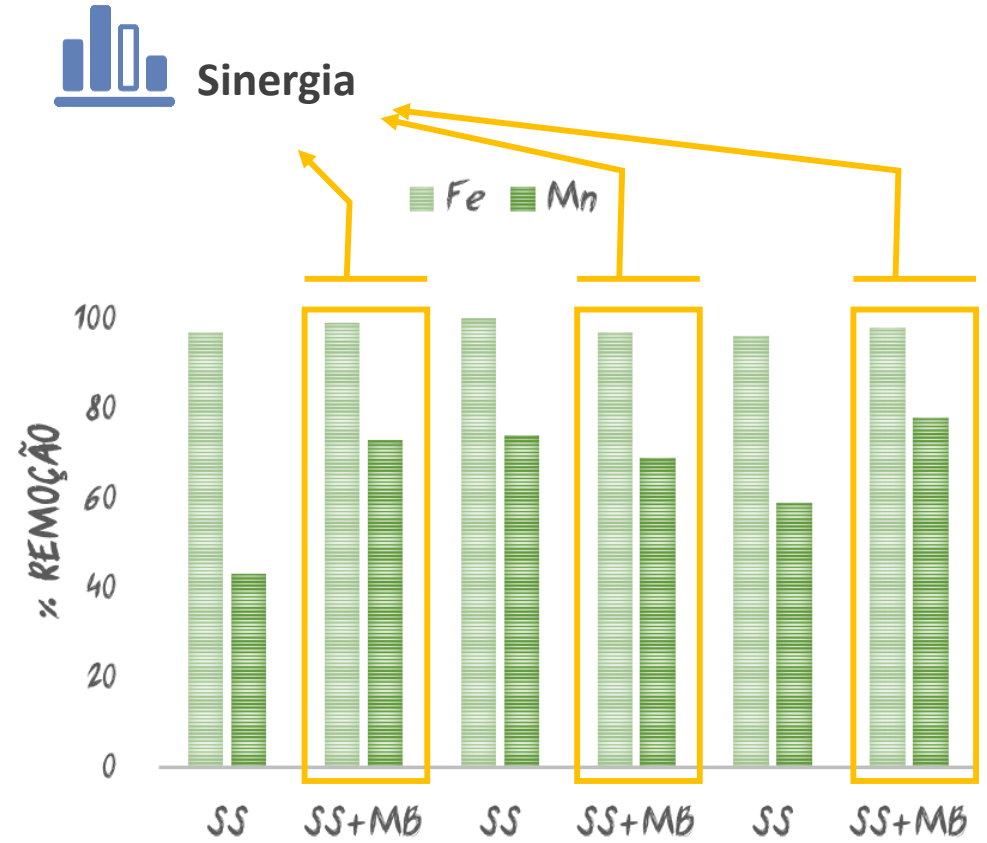
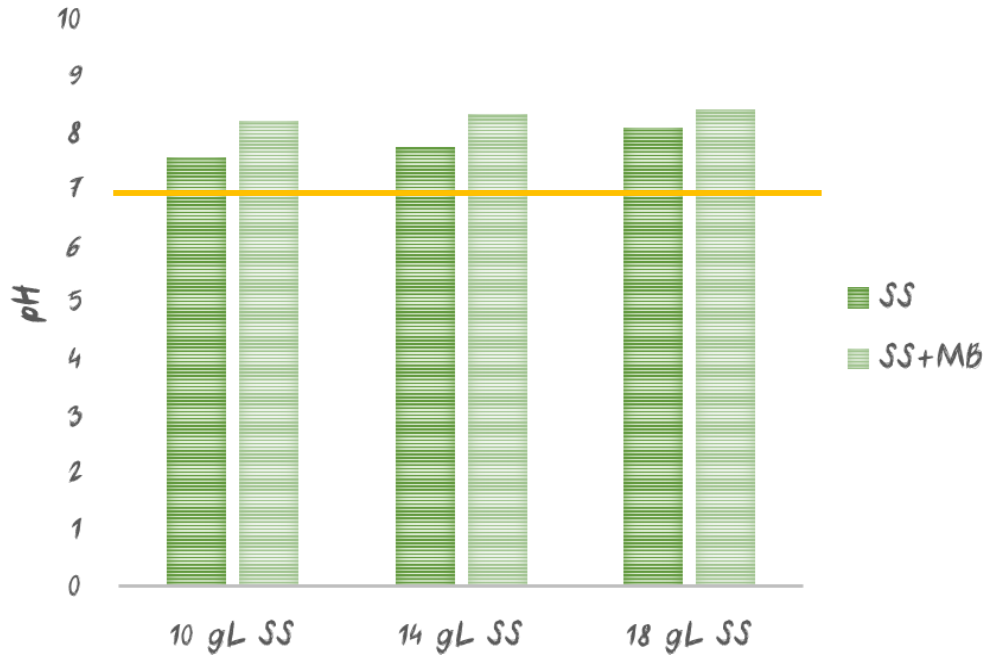


Modelos cinéticos

Referências: DAUBERT & BRENNAN, 2007; SUBHABRATA et al., 2017; SKOUSEN et al., 2017; CONAMA, 2011; 2005; NÚÑEZ-GÓMEZ et al., 2016; 2017

Resultados e Discussão

Caracterização da DAM



Resultados e Discussão

Ensaio preliminares





Ensaio	VARIÁVEIS INDEPENDENTES			VARIÁVEIS DEPENDENTES (% REMOÇÃO)	
	X ₁	X ₂	X ₃	Fe	Mn
1	0	0	0	96,9	90,0
2	0	0	+1,68	77,9	38,1
3	-1	+1	+1	83,5	40,3
4	-1,68	0	0	84,9	78,0
5	+1	-1	+1	96,9	89,0
6	+1	+1	-1	93,4	73,3
7	0	0	0	85,7	76,3
8	-1	-1	-1	96,1	25,2
9	+1	-1	-1	96,3	39,6
10	+1	+1	+1	75,1	21,8
11	0	+1,68	0	91,8	5,9
12	-1	-1	+1	95,3	44,0
13	-1	+1	-1	80,8	10,3
14	+1,68	0	0	82,8	4,2
15	0	0	0	81,8	95,4
16	0	0	-1,68	72,3	49,9
17	0	-1,68	0	82,6	73,6

Fe

	Coefficiente	Efeito	Std.Err.*	t(2)	p-valor
SS (L)	Q ₁	0,85	13,60	0,06	0,95
SS (Q)	Q ₁₂	2,85	14,74	0,19	0,85
Agitação (L)	Q₂	66,67	14,21	4,69	0,002
Agitação (Q)	Q ₂₂	8,61	14,74	0,58	0,57
MB (L)	Q ₃	-3,27	14,46	-0,23	0,82
MB (Q)	Q ₃₂	-9,34	17,22	0,60	-50,06
SS (L) by Agitação (L)	Q ₁ vs Q ₂	1,48	17,76	0,08	0,93
SS (L) by MB (L)	Q ₁ vs Q ₃	-11,87	17,76	-0,67	0,52
Agitação (L) by MB (L)	Q ₂ vs Q ₃	-9,41	17,76	-0,52	0,61

*Erro estandard

Mn

	Coefficiente	Efeito	Std.Err.*	t(2)	p-valor
SS (L)	Q ₁	-2,99	6,05	-0,49	0,67
SS (Q)	Q₁₂	-32,32	6,56	-4,92	0,03
Agitação (L)	Q₂	-28,11	6,05	-4,65	0,04
Agitação (Q)	Q₂₂	-33,60	6,56	-5,12	0,03
MB (L)	Q ₃	9,37	6,43	1,46	0,28
MB (Q)	Q₃₂	-37,34	7,66	-4,87	0,03
SS (L) by Agitação (L)	Q ₁ vs Q ₂	-7,62	7,90	-0,96	0,43
SS (L) by MB (L)	Q ₁ vs Q ₃	-17,90	7,90	-2,26	0,15
Agitação (L) by MB (L)	Q ₂ vs Q ₃	-22,09	7,90	-2,79	0,10

*Erro estandard

Resultados e Discussão

Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)





XI ISESMA
SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE
SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE

II WORKSHOP INTERNACIONAL DE
BIORREMEDIAÇÃO
DE ÁREAS CONTAMINADAS

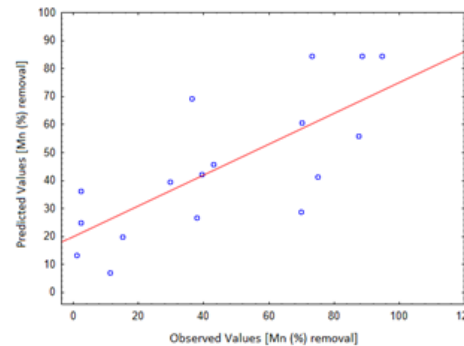
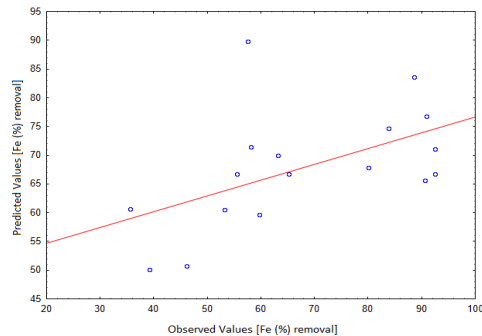
Segurança Hídrica Global

25 e 26 AGOSTO
2018

Parâmetro	Variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Média dos quadrados	F.		p>valor
					Cal	Tab*	
Fe Remoção	Regressão	1501,41	9	1501,41	4,10	3,68	<0,05
	Sedimentos	4417,96	7	631,13			
	Total	6089,12	16				
Mn Remoção	Regressão	14002,18	9	14002,18	11,29	6,72	<0,01
	Sedimentos	8682,51	7	1240,35			
	Total	19400,38	16				

95%

99%



DAM

Ensaios preliminares

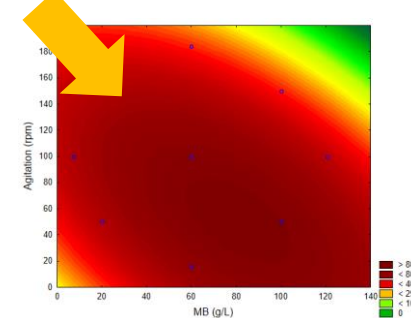
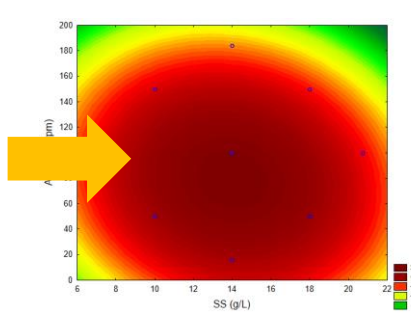
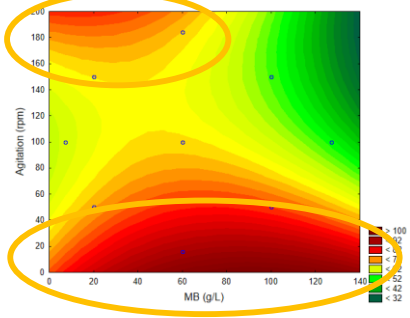
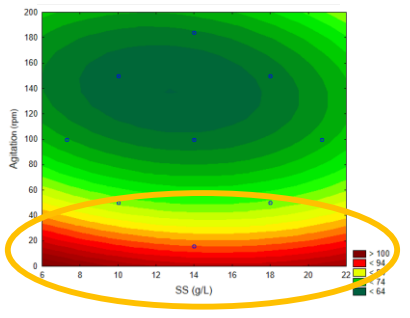
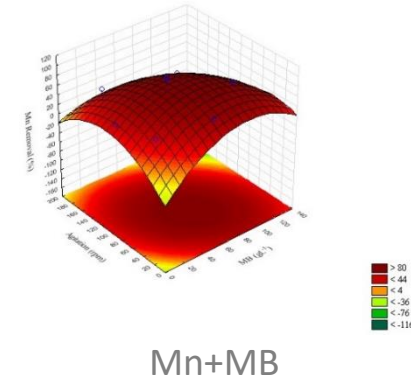
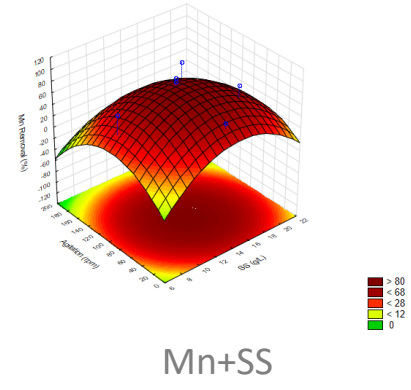
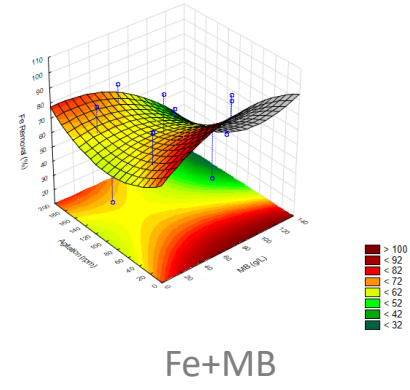
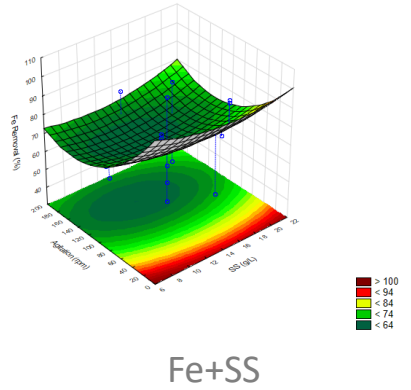
Planejamento Fatorial

Modelos cinéticos

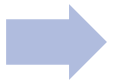
Resultados e Discussão

Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)

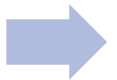
Resultados e Discussão
Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)



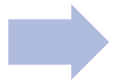
DAM



Ensaios preliminares



Planejamento Factorial



Modelos cinéticos

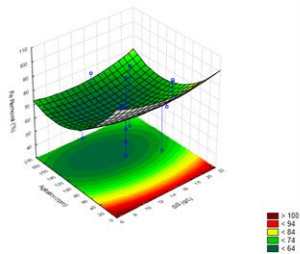
Referências: NÚÑEZ-GÓMEZ et al., 2017; 2018.

Condições ideais

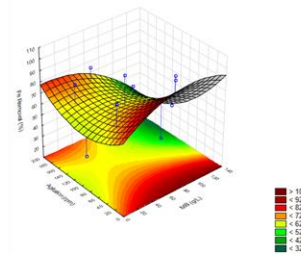
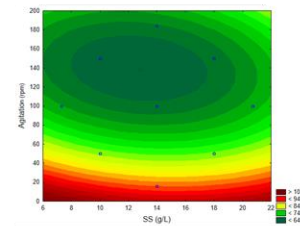
136 rpm

71,66 g L⁻¹ MB

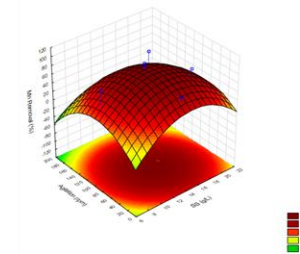
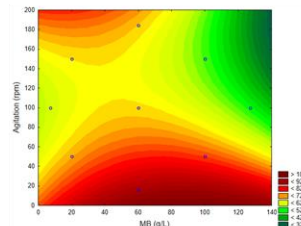
11,46 g L⁻¹ SS



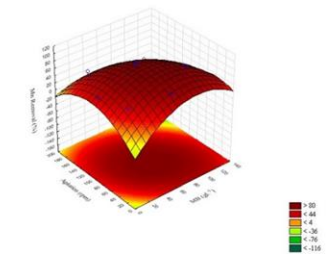
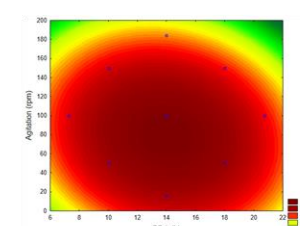
Fe+SS



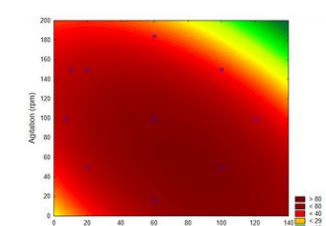
Fe+MB



Mn+SS



Mn+MB



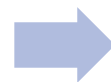
Resultados e Discussão

Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)

DAM



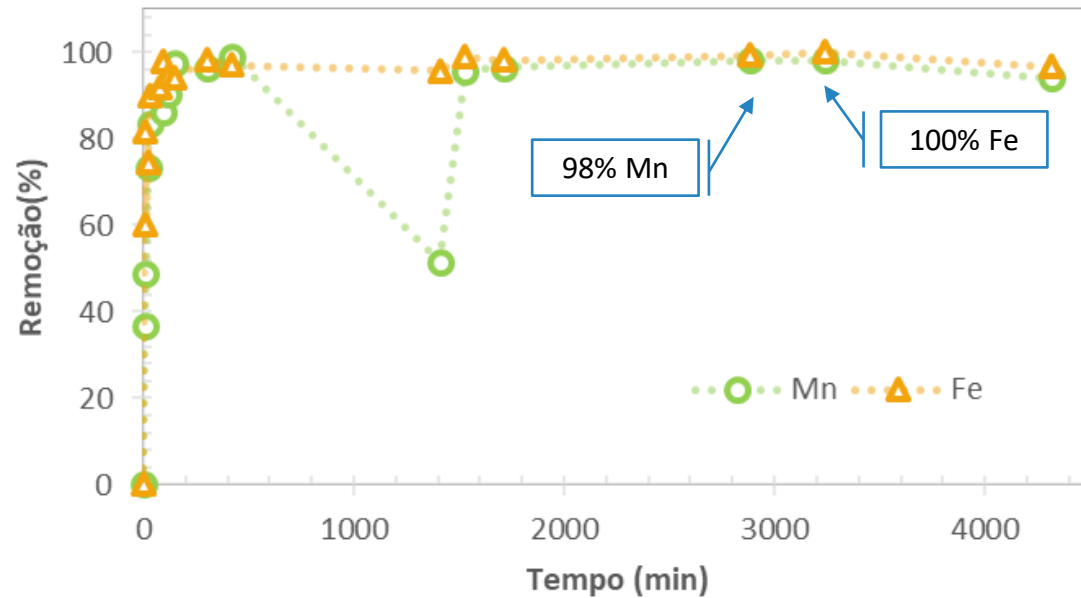
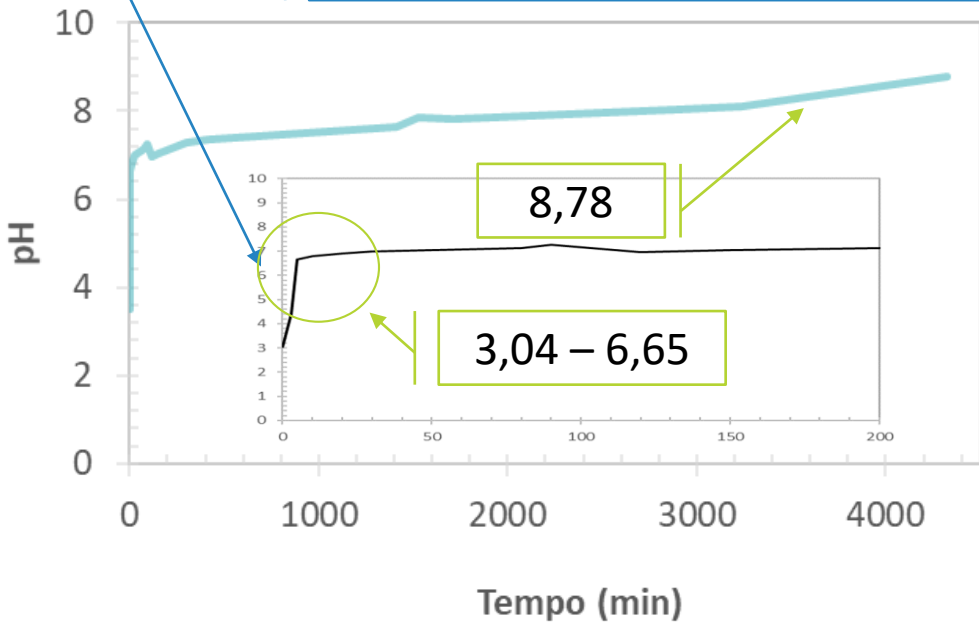
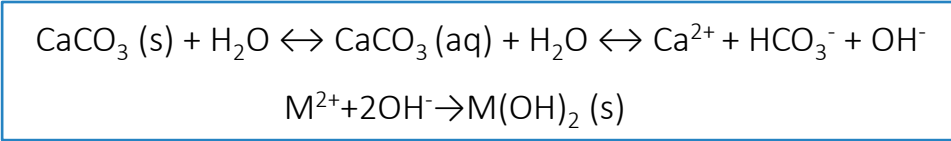
Ensaio preliminares



Planejamento Factorial



Modelos cinéticos

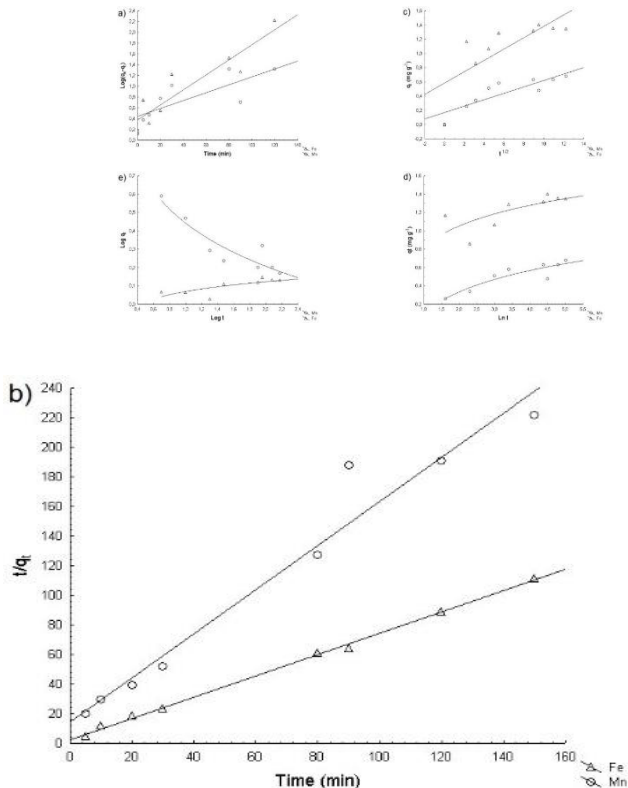


Resultados e Discussão

Cinética de sorção



Referências: GERENTE et al., 2007; DEGREMONT, 1991; CONAMA, 2011; 2005



		Fe	Mn
Pseudo-primeira ordem	R ²	0,83	0,61
	K ₁ (L min ⁻¹)	0,86	0,03
	q _e cal (mg g ⁻¹)	1,03	0,01
Pseudo-segunda ordem	R ²	0,99	0,96
	K ₂ (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	0,26	0,21
	q _e cal (mg g ⁻¹)	1,38	0,65
	h (mg g ⁻¹ min ⁻¹)	0,50	91,35 · 10 ⁻³
Difusão intrapartícula	R ²	0,58	0,75
	K _{in} (g mg ⁻¹ min ^{-1/2})	0,07	0,04
Equação Elovich	R ²	0,50	0,83
	α (mg g ⁻¹ min ⁻¹)	4,12	0,45
	β (g mg ⁻¹)	3,07	2,96
	Equação Bangham	R ²	0,55
K _b (g)		46,85	12,38
	α	0,077	0,14

Resultados e Discussão

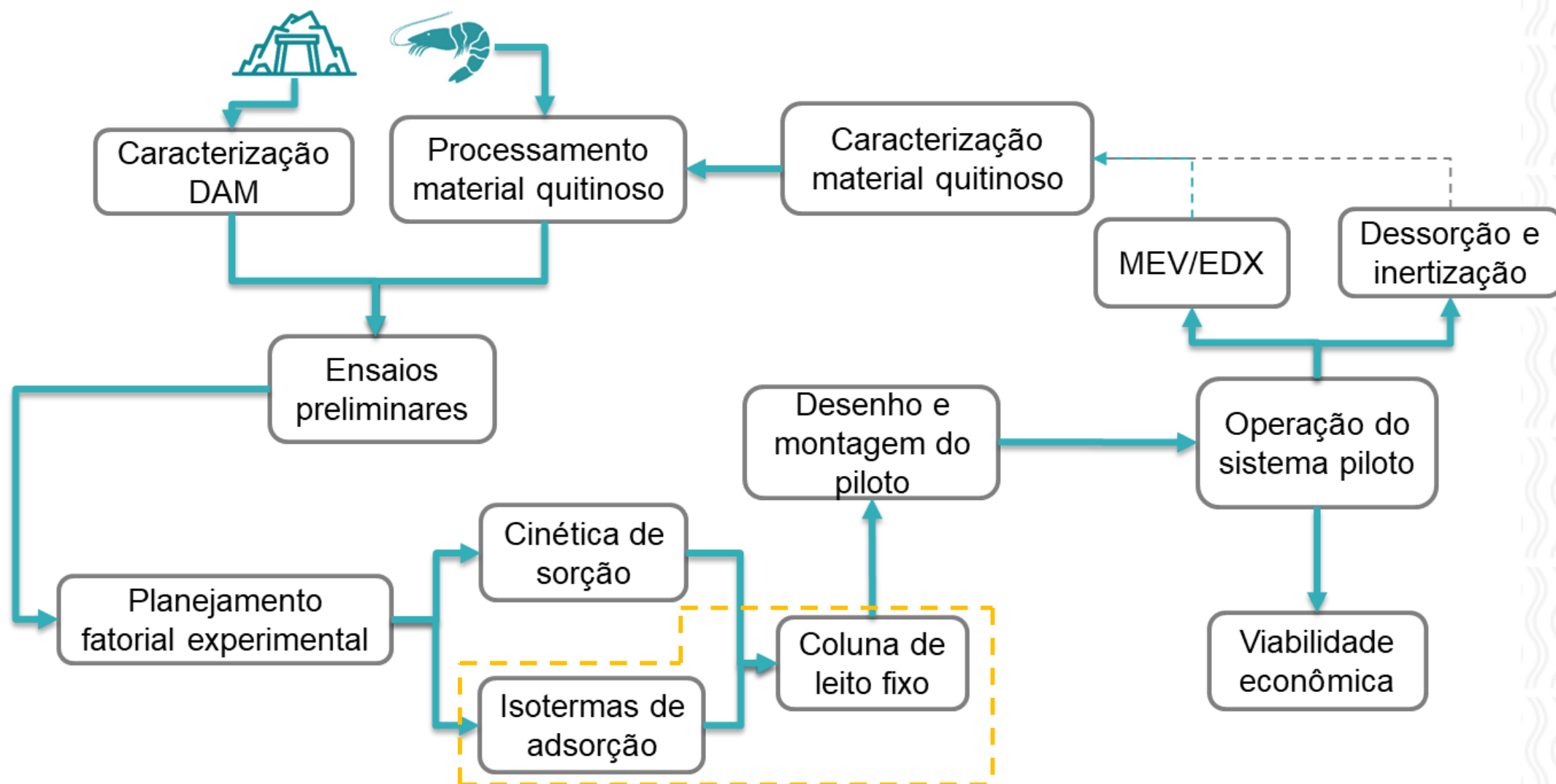
Cinética de sorção

DAM

Ensaio preliminar

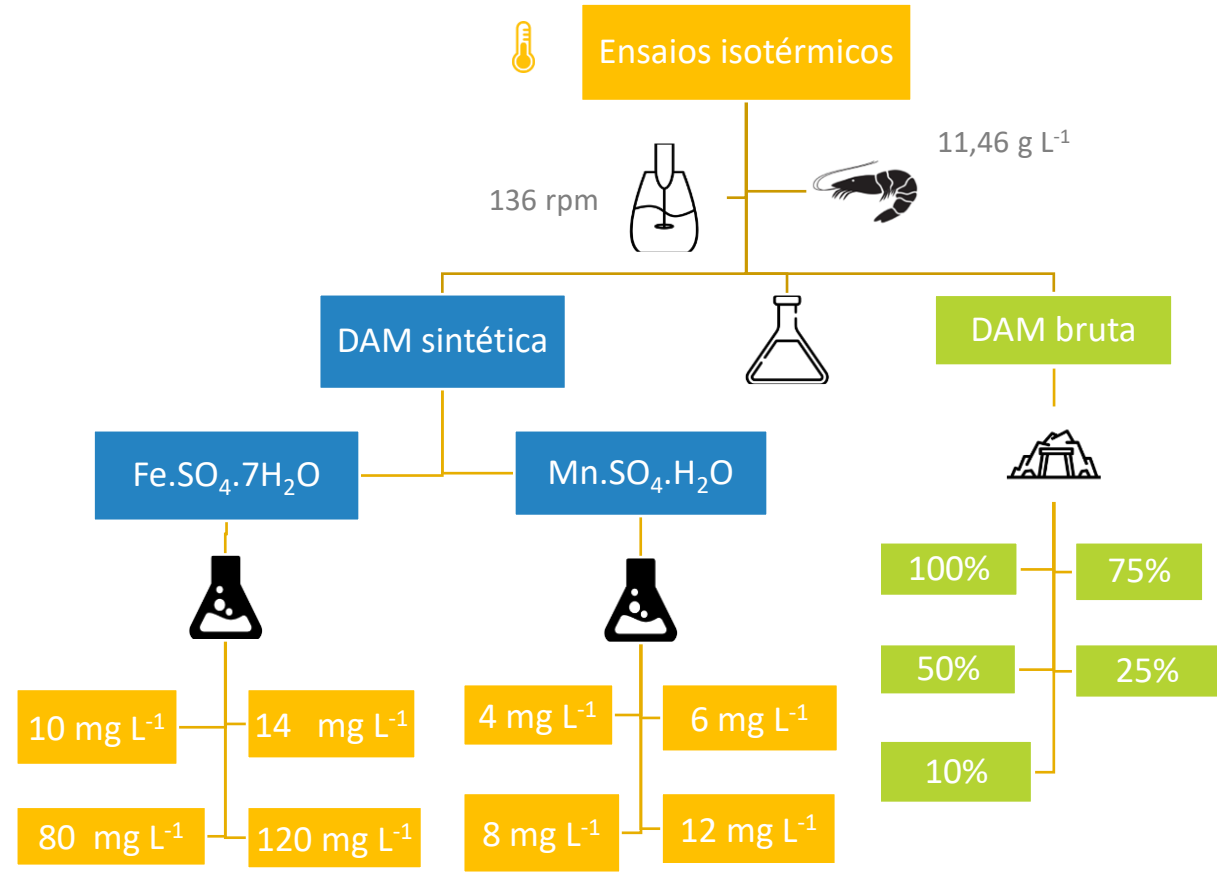
Planejamento Fatorial

Modelos cinéticos



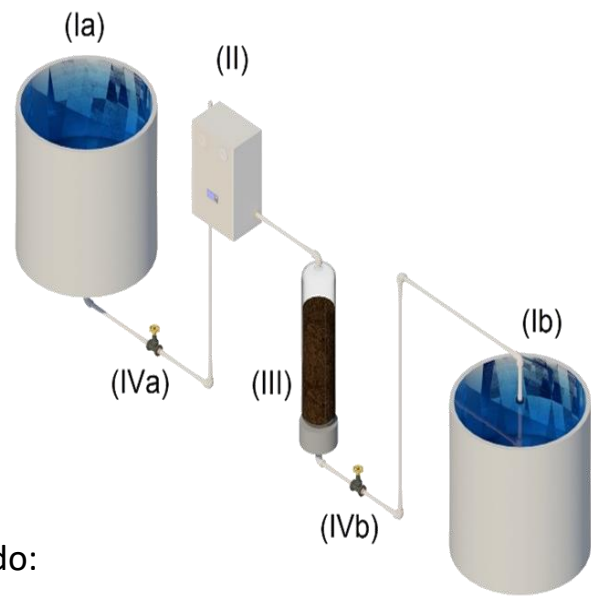


Modelo Isotérmico	Equação linearizada
Freundlich	$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m}$
Temkin	$q_e = B \ln K_T + B \ln C_e$
Dubinin-Radushkevich	$\ln q_e = \ln K_D - 2B_D RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_e}\right)$
Sips	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max} K_S} \left(\frac{1}{C_e}\right)^{1/n} + \frac{1}{q_{max}}$



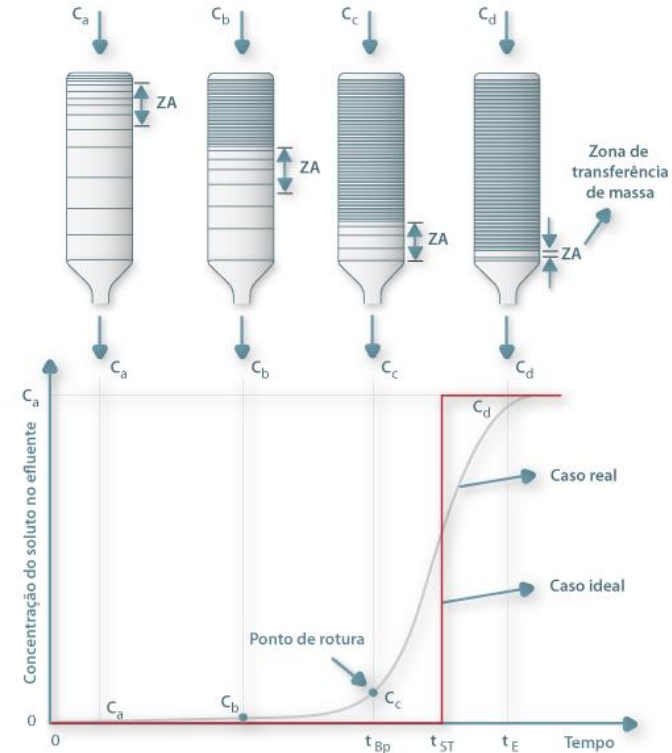
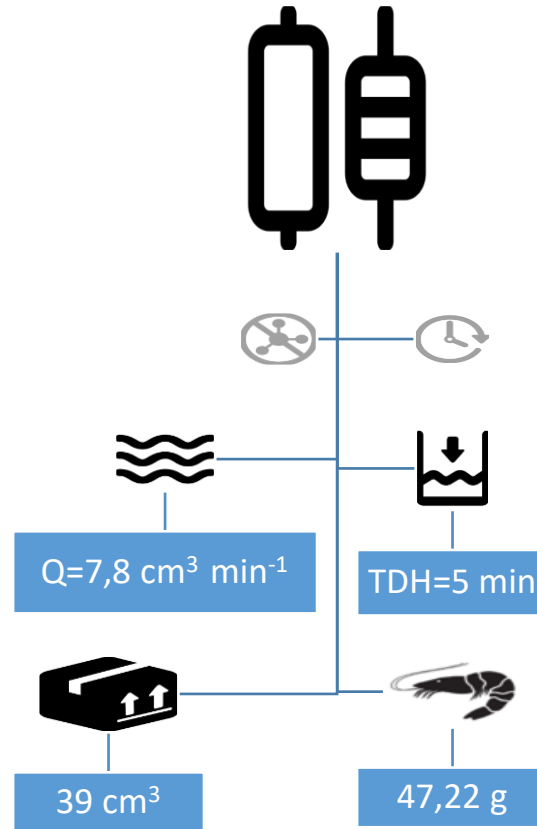
Referências: FOO & HAMMED, 2010; TENG & HSIEH, 1998; TENG & HSIEH, 1998; VIJAYARAGHAVAN et al., 2006; TEMKIN & PYOZHEV, 1940; LANGMUIR, 1916; GERCEL et al. 2008

Materiais e Métodos
Equilíbrio de sorção



Sendo:

- (Ia) Reservatório inicial DAM
- (Ib) Reservatório final DAM tratado
- (II) Bomba peristáltica (Milan BP600/1)
- (III) Coluna de leito fixo
- (IVa) e (IVb) Válvulas



Modelos isotérmicos



Coluna leito fixo

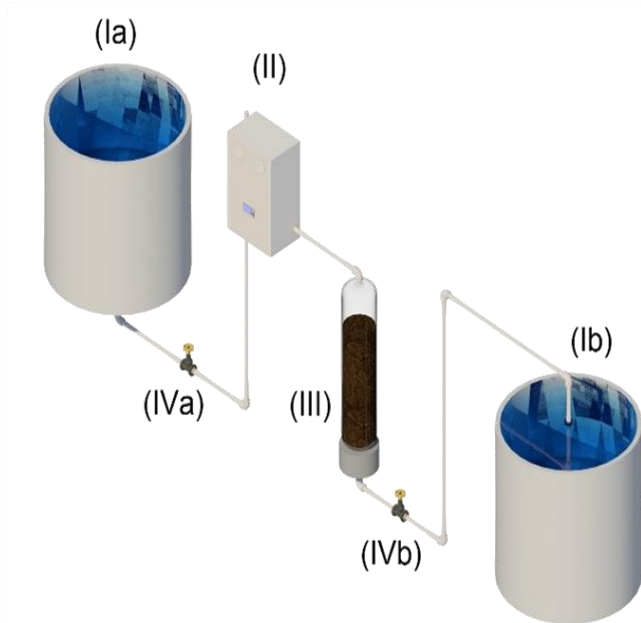


Modelagem química computacional

Referências: FOO & HAMMED, 2010; TENG & HSIEH, 1998; TENG & HSIEH, 1998; VIJAYARAGHAVAN et al., 2006; TEMKIN & PYOZHEV, 1940; LANGMUIR, 1916; GERCEL et al. 2008

Materiais e Métodos

Ensaios em fluxo contínuo descendente



Sendo:

- (Ia) Reservatório inicial DAM
- (Ib) Reservatório final DAM tratado
- (II) Bomba peristáltica (Milan BP600/1)
- (III) Coluna de leito fixo
- (IVa) e (IVb) Válvulas

Modelos isotérmicos

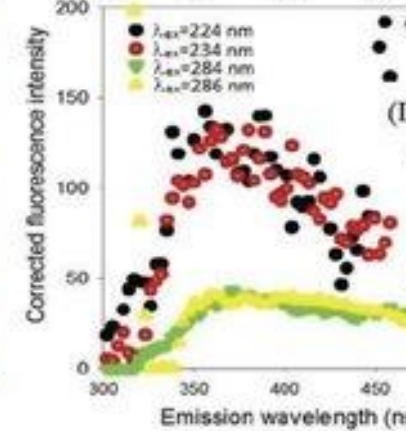
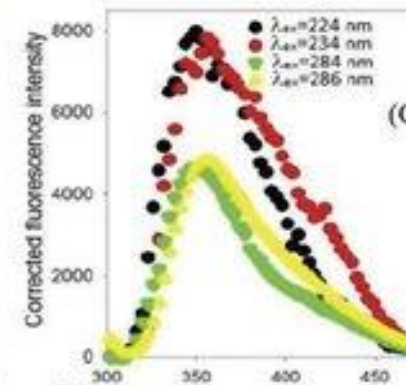
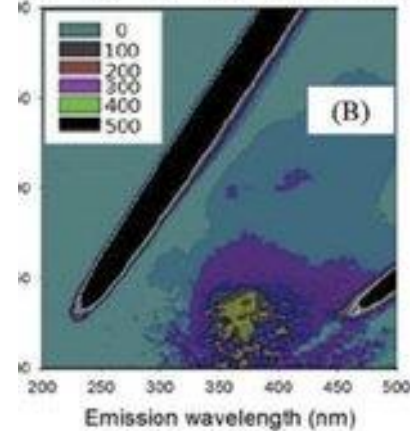
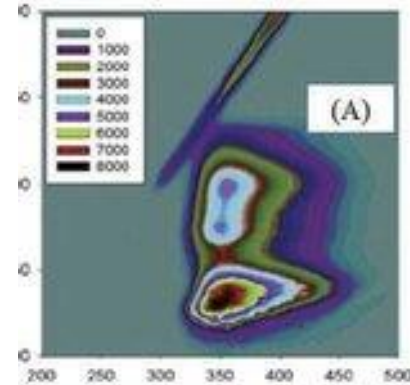


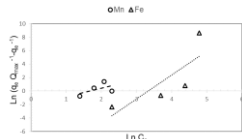
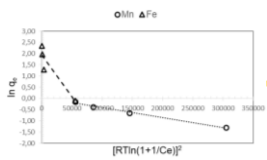
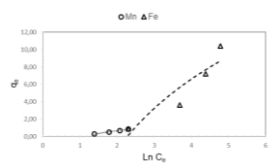
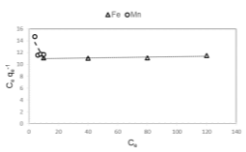
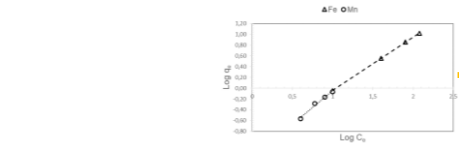
Coluna leito fixo



Modelagem química computacional

Visual MINTEQ 3.1





MODELO	PARÂMETRO	Fe	Mn
Freundlinch	R^2	$y=0.9903x-1.0332$ 0.9998	$y=1.239x-1.2881$ 0.9831
	K_F (L mg ⁻¹)	0.093	0.059
	η	1.01	0.81
Langmuir	R^2	$y=0.0035x+10.982$ 0.6121	$y=-0.437x-15.479$ 0.5664
	q_m (mg g ⁻¹)	285.71	0.064
	K_L (L mg ⁻¹)	$3.187 \cdot 10^{-04}$	35.75
Temkin	R^2	$y=11.727\ln(x)-9.6601$ 0.8479	$y=1.1153\ln(x)-0.1085$ 0.9858
	K_T (L mg ⁻¹)	0.44	0.91
	b (J mol ⁻¹)	211.5	2222.56
Dubinin-Radushkevich	R^2	$y=-4E-05x+1.9416$ 0.8724	$y=-4E-06x+0.0291$ 0.9903
	B_D	$8.07 \cdot 10^{-09}$	$8.06 \cdot 10^{-10}$
	ϵ	7872.13	24893.87
Sips	K_D (L mg ⁻¹)	6.97	1.03
	Linear regression R^2	$y=-3.554x-11.854$ 0.6344	$y=1.276x-2.1377$ 0.3159

Modelos isotérmicos



Coluna leito fixo



Modelagem química computacional

Resultados e Discussão

Equilíbrio de sorção

DAM SINTÉTICA

MODELO	PARÂMETRO	Fe	Mn
Freundlinch	R^2	$y=0.9903x-1.0332$ 0.9998	$y=1.239x-1.2881$ 0.9831
	K_F (L mg ⁻¹)	0.093	0.059
	η	1.01	0.81
Langmuir	R^2	$y=0.0035x+10.982$ 0.6121	$y=-0.437x-15.479$ 0.5664
	q_m (mg g ⁻¹)	285.71	0.064
	K_L (L mg ⁻¹)	$3.187 \cdot 10^{-04}$	35.75
	R_L	0.93	$16.44 \cdot 10^{-03}$
Temkin	R^2	$y=11.727\ln(x)-9.6601$ 0.8479	$y=1.1153\ln(x)-0.1085$ 0.9858
	K_T (L mg ⁻¹)	0.44	0.91
	b (J mol ⁻¹)	211.5	2222.56
	R^2	$y=-4E-05x+1.9416$ 0.8724	$y=-4E-06+0.0291$ 0.9903
Dubinin-Radushkevich	B_D	$8.07 \cdot 10^{-09}$	$8.06 \cdot 10^{-10}$
	ϵ	7872.13	24893.87
	K_D (L mg ⁻¹)	6.97	1.03
Sips	Linear regression	$y=-3.554x-11.854$	$y=1.276x-2.1377$
	R^2	0.6344	0.3159

DAM BRUTA

MODELO	PARÂMETRO	Fe	Mn
Freundlinch	R^2	$y=0.9415x-0.9899$ 0.9929	$Y=1.740x-1.6627$ 0.9663
	K_F (L mg ⁻¹)	0.102	0.0217
	η	1.062	0.575
Langmuir	R^2	$y=0.0349x+10.5$ 0.5503	$y=-6.7763x-10.928$ 0.0503
	R^2	$y=1.9366\ln(x)+3.1433$ 0.9592	$y=2.3045\ln(x)+0.78$ 0.9093
Temkin	K_T (L mg ⁻¹)	5.07	1.4
	b (J mol ⁻¹)	1280	1075.6
Dubinin-Radushkevich	R^2	$y=-5E-06x+0.6035$ 0.8321	$y=-1E-06-0.1241$ 0.0026
	R^2	$y=-1.2046x-5.0791$ 0.9449	$y=0.9638x-2.2099$ 0.1975

Modelos isotérmicos



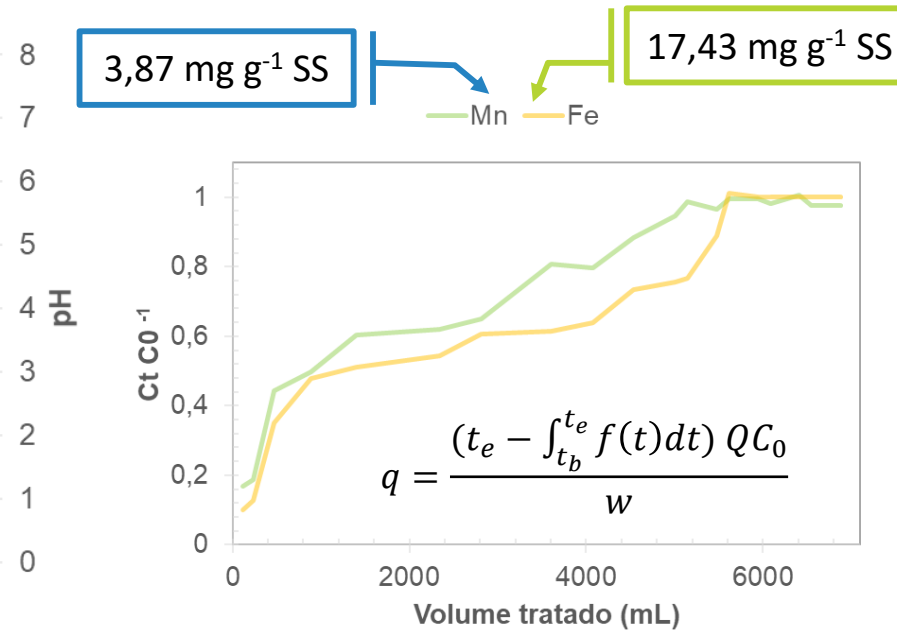
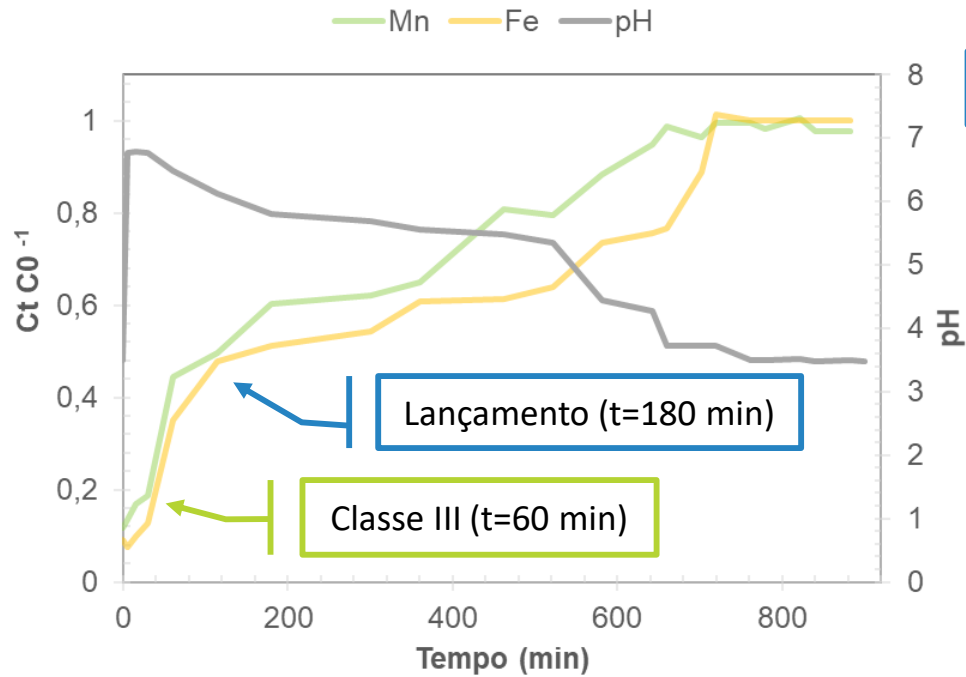
Coluna leito fixo



Modelagem química computacional

Resultados e Discussão

Equilíbrio de sorção



Modelos isotérmicos



Coluna leito fixo

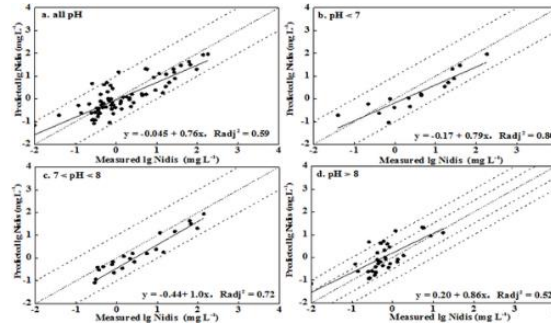


Modelagem química computacional

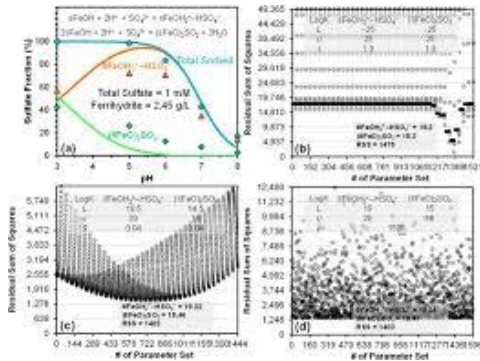
Resultados e Discussão

Ensaio em fluxo contínuo descendente

PARÂMETRO	PRÉ TRATAMENTO COM SS	PÓS TRATAMENTO COM SS
	VALOR	
pH	3,49	6,79
	CONCENTRAÇÃO (mg L ⁻¹)	
Fe	83,24	3,1
Mn	14,70	2,9
SO ₄ ²⁻	2300,00	2432,00



- ✓ Sorção como processo predominante
- ✓ pH-dependente



COMPONENTE	ESPÉCIE QUÍMICA	% DA CONCENTRAÇÃO TOTAL	
		Antes do tratamento	Depois do tratamento
Fe ²⁺	Fe ²⁺	47.802	47.434
	FeSO ₄ (aq)	52.197	52.498
	FeOH ⁺	-	0,067
Mn ²⁺	Mn ²⁺	55.833	55.498
	MnSO ₄ (aq)	44.167	0.067
	SO ₄ ²⁻	93.948	95.669
	FeSO ₄ (aq)	3.737	3.758
SO ₄ ²⁻	MnSO ₄ (aq)	0.568	0.572
	HSO ₄ ⁻	1.711	-

Modelos isotérmicos



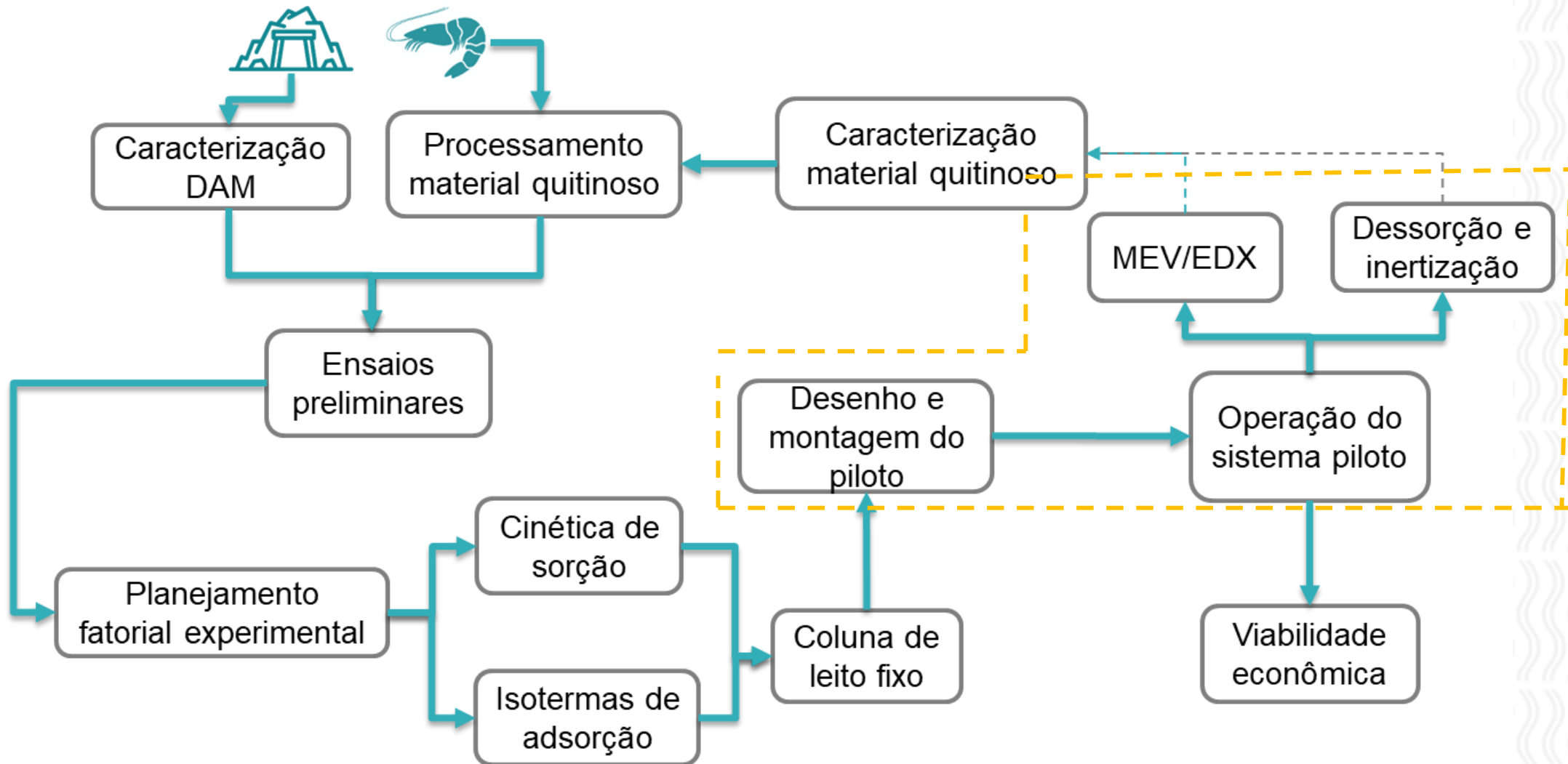
Coluna leito fixo



Modelagem química computacional

Resultados e Discussão

Modelagem química



AMAS (Aquatic Measurements Automated System)

```

6 // the setup function runs once when you press reset or power the board
7 #include "Arduino.h"
8 #include "Global_includes.h"
9 #include "Sensor.h"
10 #include "Ph.h"
11 #include "Thermo.h"
12 #include "SecureDigitalCard.h"
13 #include "MyServo.h"
14 #include <string.h>
15
16 Ph* ph_sensor;
17 Thermo* t_sensor;
18 SecureDigitalCard* sdc;
19 MyServo* mechanicArm;
20 String Word;
21 void setup() {
22     sdc = new SecureDigitalCard(4); // CS = 4
23     mechanicArm = new MyServo(8);
24     ph_sensor = new Ph(14); // ADC8
25 }
26
27 // the loop function runs over and over again until power down or reset
28 void loop() {
29     mechanicArm->init();
30     mechanicArm->goKc1();
31     mechanicArm->goPh();
32     String ph_v(ph_sensor->setup());
33     mechanicArm->goCleaning();
34     delay(3*MS_TO_S);
35     //String t_v(t_sensor->init());
36     Word = "Ph = " + ph_v + ". Temperatura = /* + t_v */ + "Amas está ativo há " + millis()/(60.0*1000.0) + " minutos.\n";
37
38     //Word = "Feste2";
39     sdc->init(Word.c_str());
40     Sensor::write(Word.c_str());

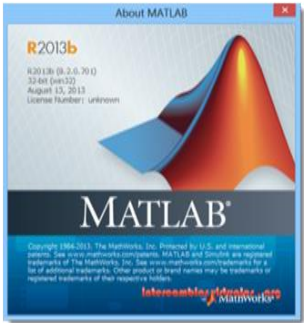
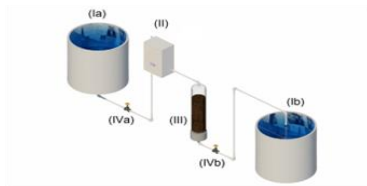
```

Arduino UNO

Visual Studio Code
PlatformIO



Modelagem computacional prévia



Modelagem computacional



Operação sistema



Dessorção



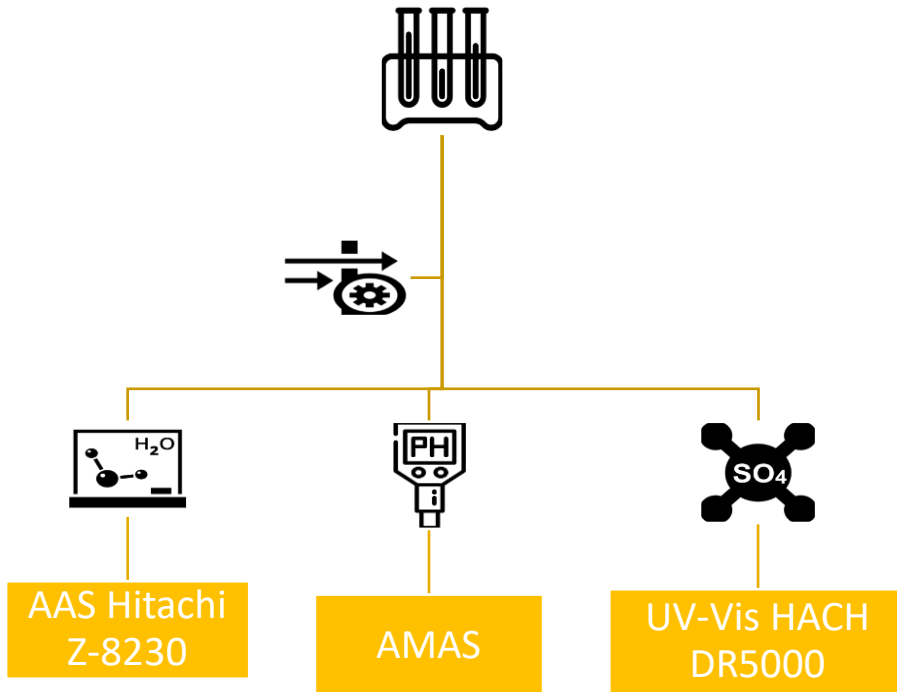
Inertização



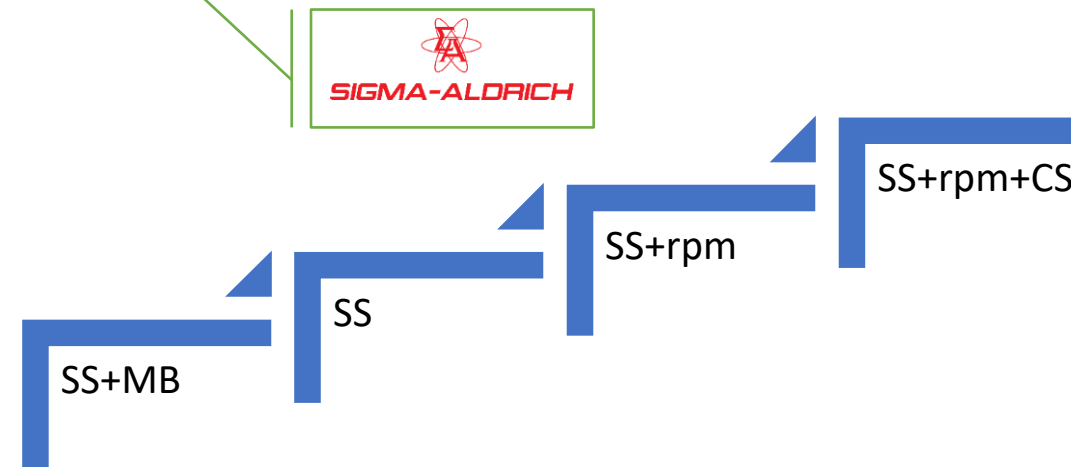
MEV/EDX

Materiais e Métodos

Modelagem computacional, Design 3D e AMAS



PARÂMETRO		ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3	ENSAIO 4
MB	71,6 g L ⁻¹	X	-	-	-
SS	11,46 g L ⁻¹	X	X	X	X
Agitação	136 rpm	-	-	X	X
Quitosana (CS)	15 g L ⁻¹	-	-	-	X



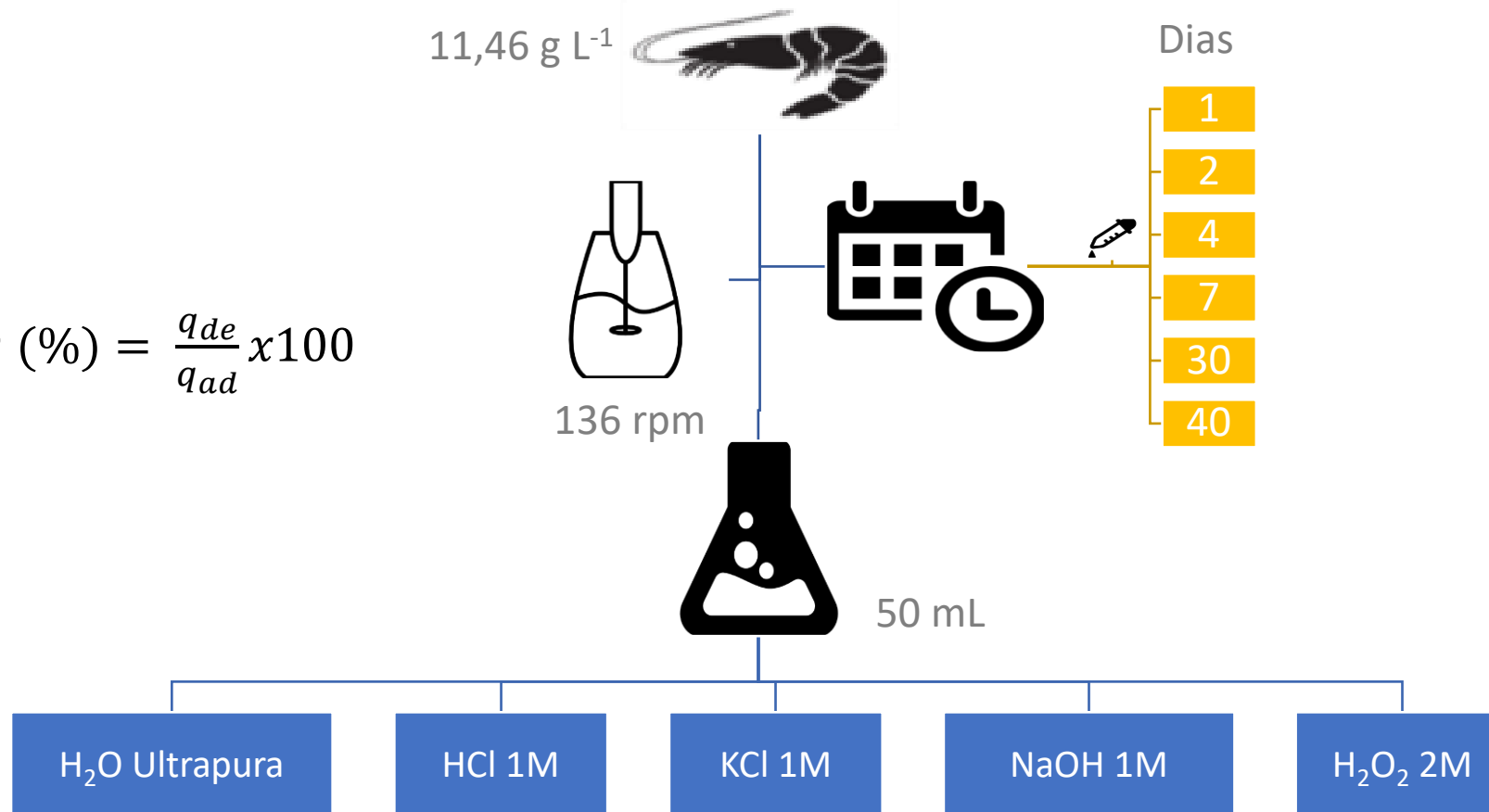


XIISSEMA
SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE
SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE
II WORKSHOP INTERNACIONAL DE
BIORREMEDIAÇÃO
DE ÁREAS CONTAMINADAS

Segurança Hídrica Global

25 e 26 AGOSTO
2018

$$ED (\%) = \frac{q_{de}}{q_{ad}} \times 100$$



Modelagem computacional

Operação sistema

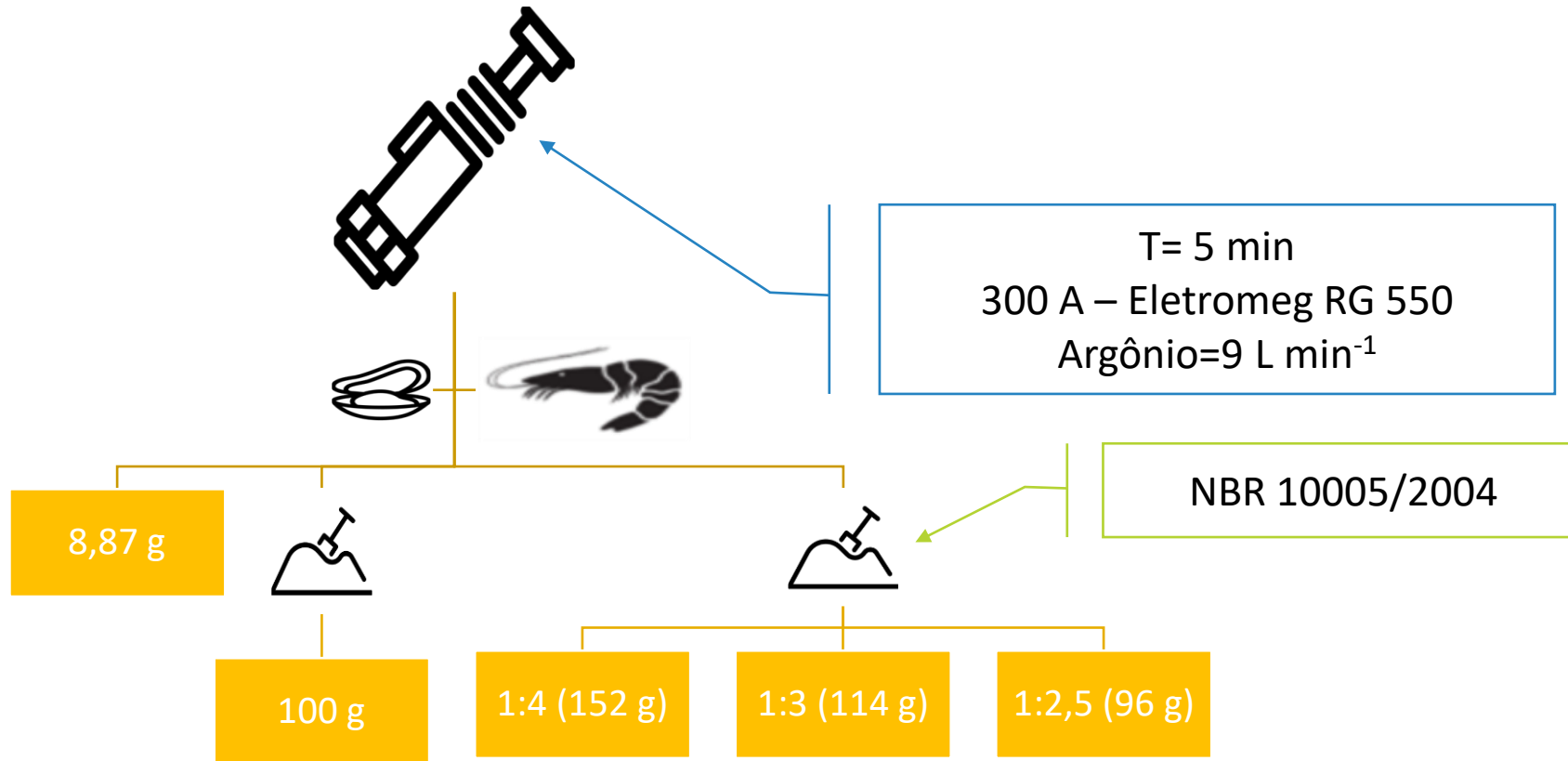
Dessorção

Inertização

MEV/EDX

Materiais e Métodos

Ensaio de dessorção da SS



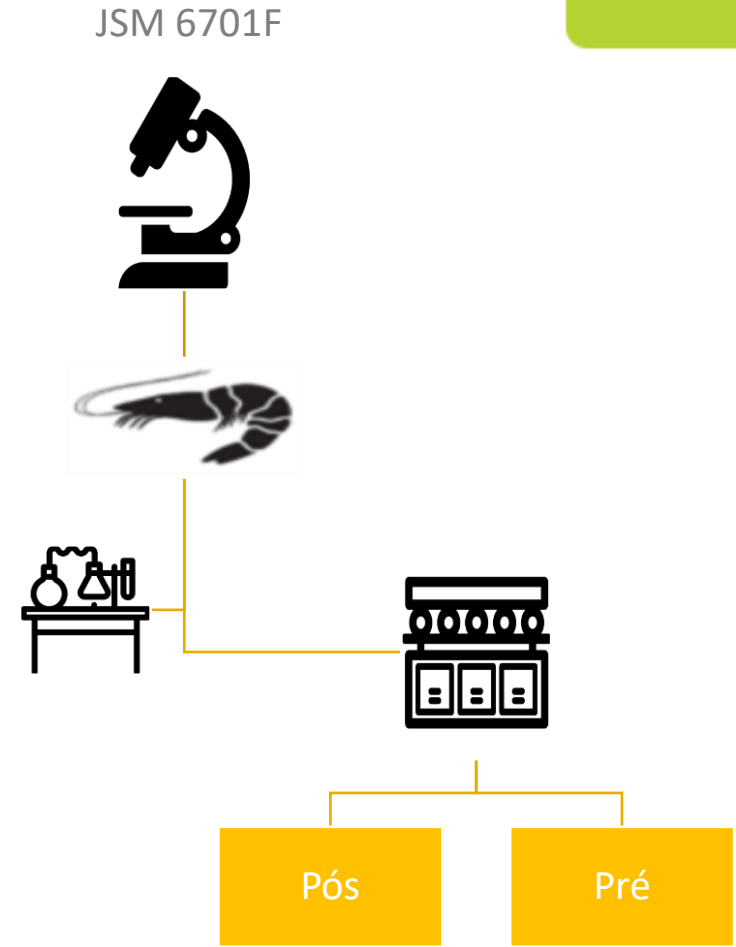
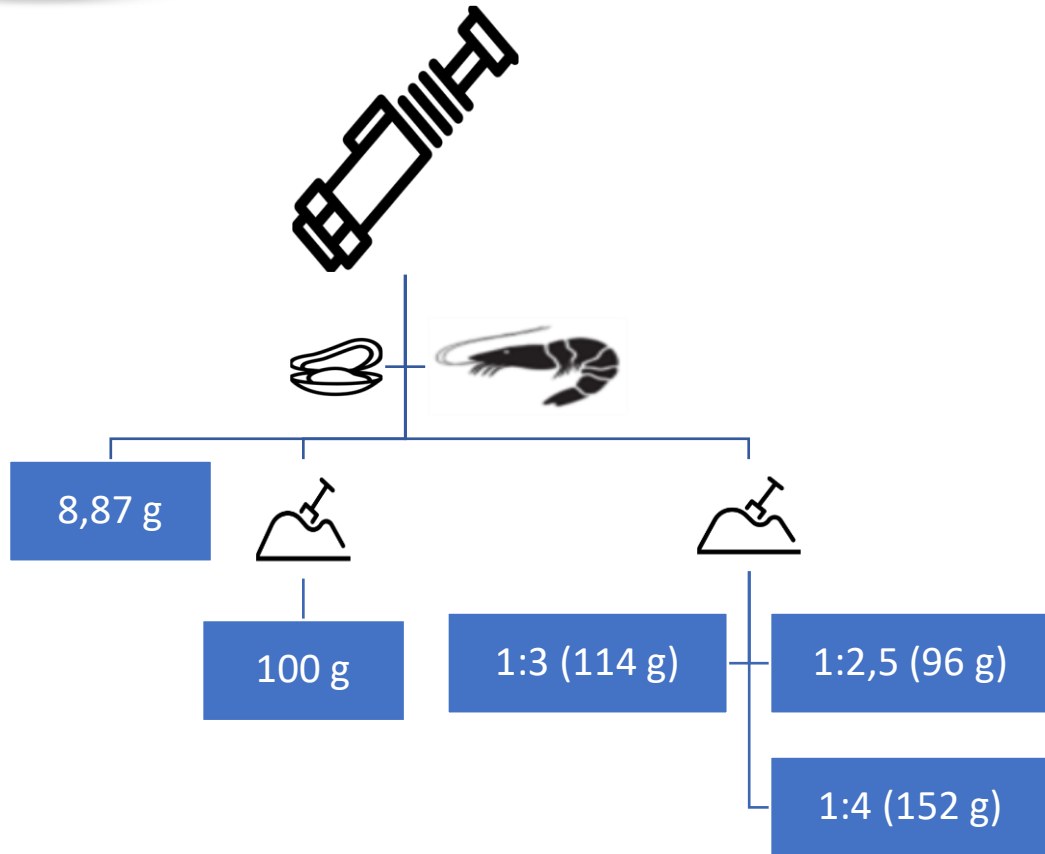
Modelagem computacional

Operação sistema

Dessorção

Inertização

MEV/EDX

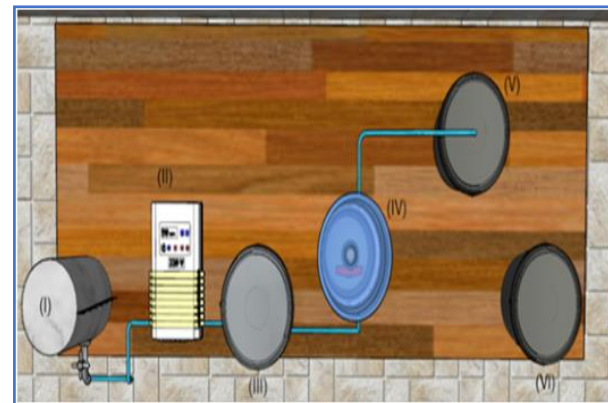
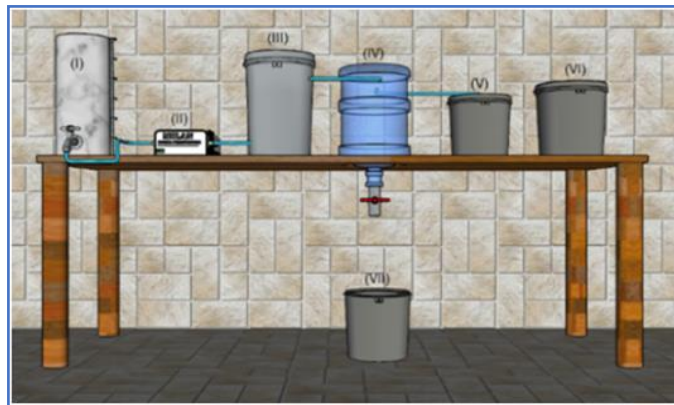
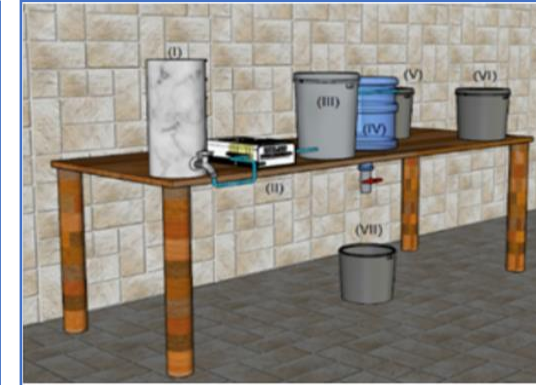
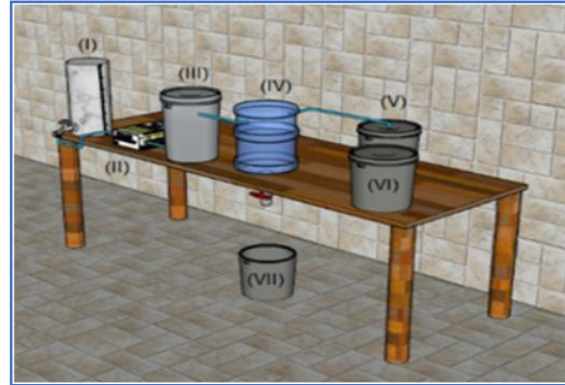


Referências: ABNT, 2004; VAGHETTI, 2009; (INYINBOR et al., 2016

Materiais e Métodos
Microscopia eletrônica



Design Computacional



Modelagem computacional



Operação sistema



Dessorção



Inertização

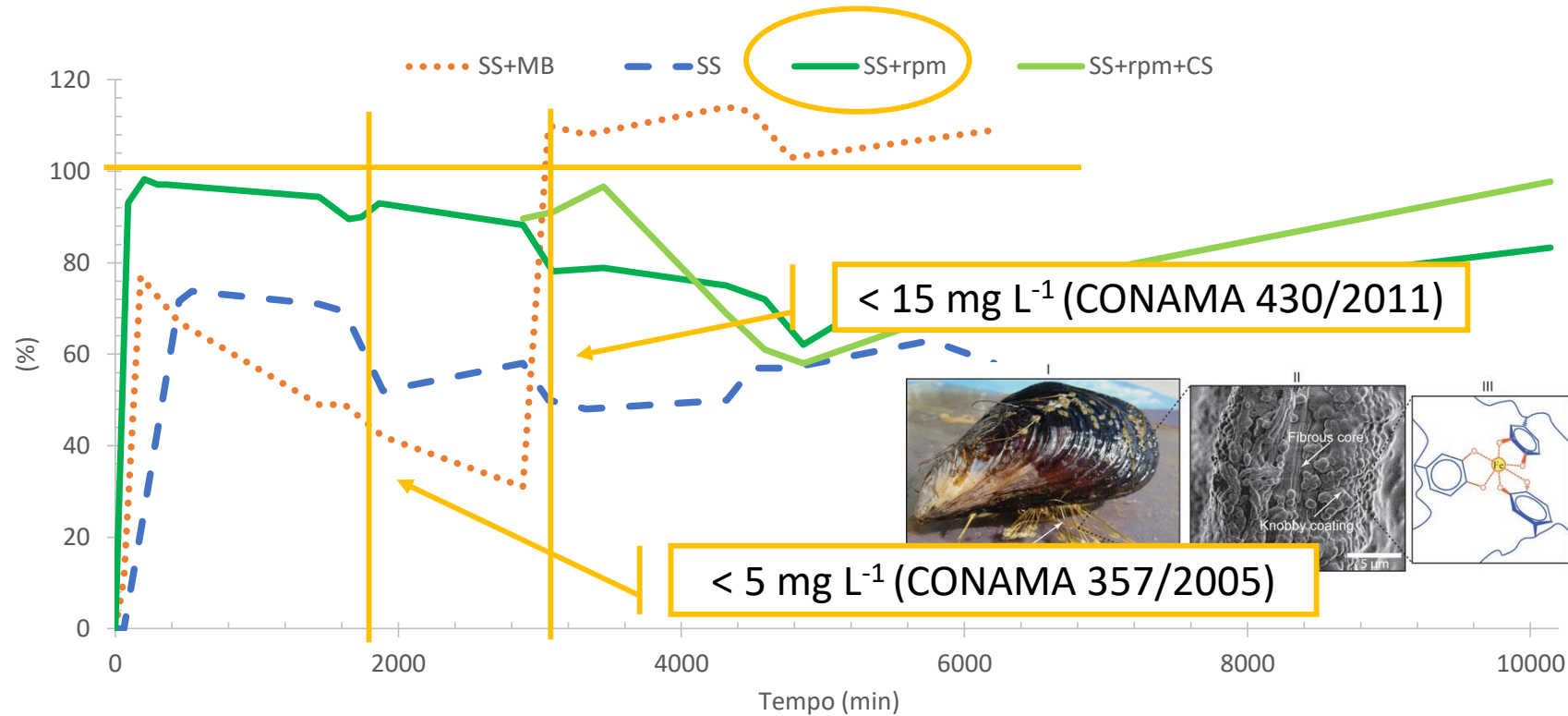


MEV/EDX

Resultados e Discussão

Modelagem computacional e Design 3D

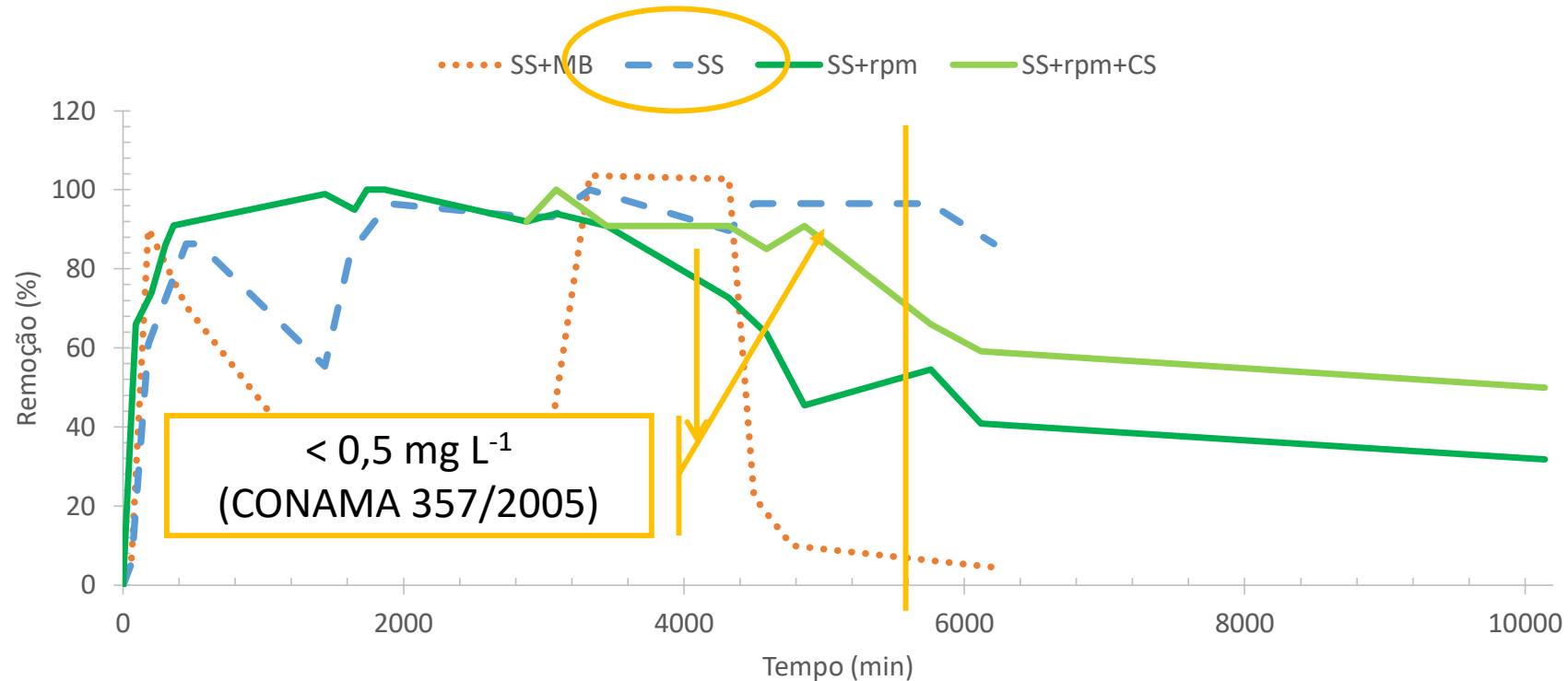
Remoção de Fe



Resultados e Discussão
Operação sistema piloto



Remoção de Mn



Modelagem computacional

Operação sistema

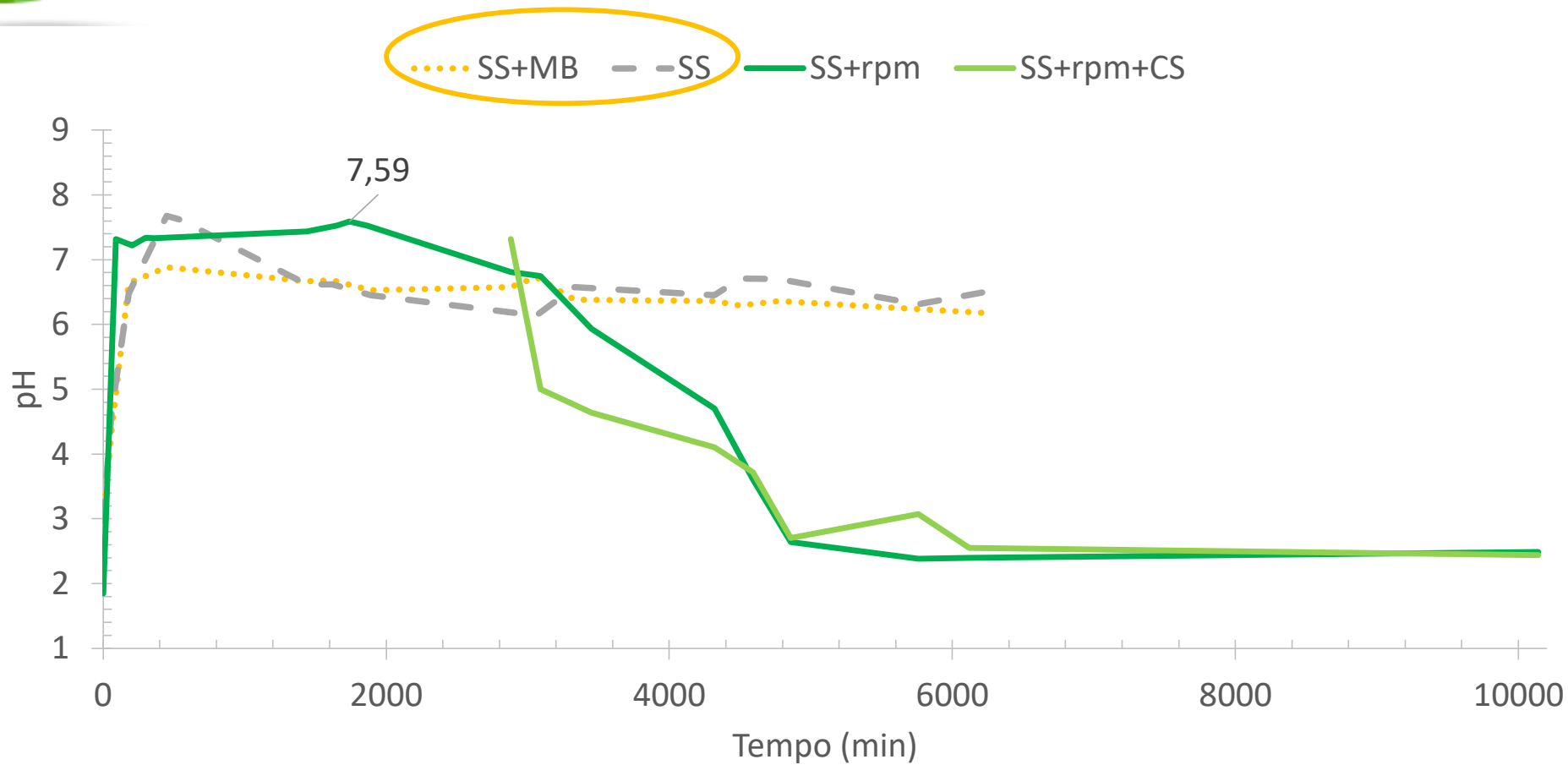
Dessorção

Inertização

MEV/EDX

Resultados e Discussão

Operação sistema piloto



Modelagem computacional



Operação sistema



Dessorção



Inertização



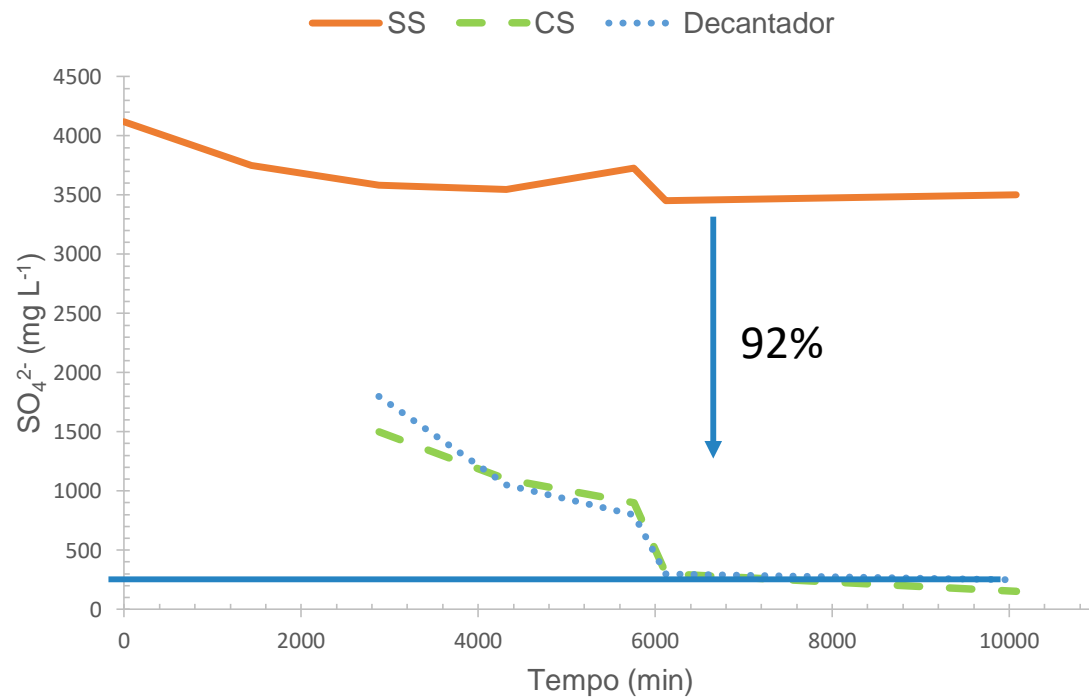
MEV/EDX

Resultados e Discussão

Operação sistema piloto – Variação do pH



Remoção de Sulfatos



COR

198 mg Pt L⁻¹
95 mg Pt L⁻¹
< 75 mg Pt L⁻¹
(CONAMA 357/2005)

TURBIDEZ

38,7±2 UNT
< 100 UNT
(CONAMA 357/2005)

Modelagem computacional

Operação sistema

Dessorção

Inertização

MEV/EDX

Resultados e Discussão

Operação sistema piloto – Sulfatos, cor e turbidez

Modelo dinâmico computacional

$$\left(\frac{m_{SS}\beta}{5q}\right)^2 \frac{\partial^2 M^+(t)}{\partial t^2} + \left(\frac{m_{SS}\beta}{5q}\right) \frac{\partial M^+(t)}{\partial t} + M^+(t) = \alpha$$

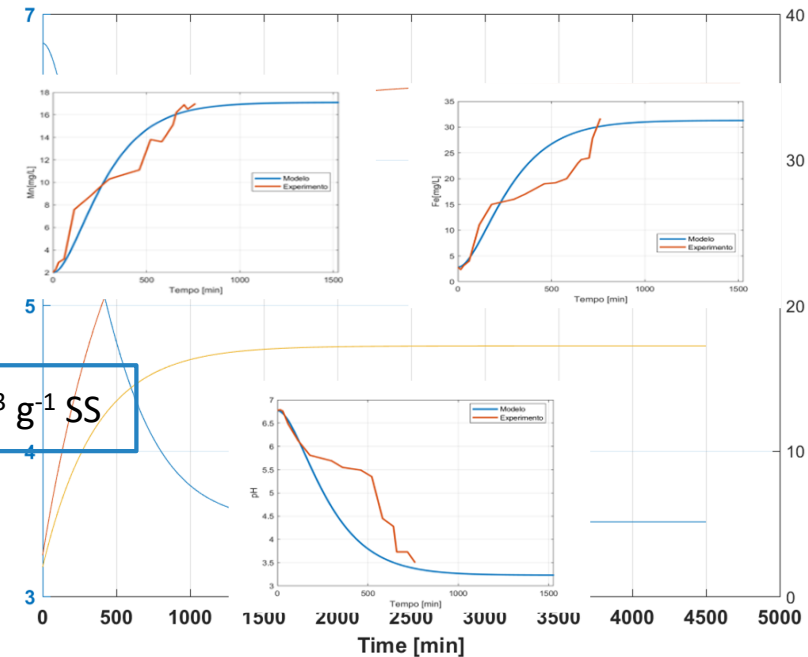
$$\alpha = M^+S - M^+I$$

$$\beta = \frac{V}{M_{SS}}$$

414,71 cm³ g⁻¹ SS

Onde:

- $M^+(t)$: concentração do íon metálico (mg L⁻¹);
- M^+S : concentração do íon metálico na solução inicial (mg L⁻¹);
- M^+I : concentração do íon metálico na saída (mg L⁻¹);
- m_{SS} : massa da SS (g);
- q : vazão do fluido (cm³ min⁻¹); e
- β : capacitância volumétrica de absorção da SS (cm³ g⁻¹).



Modelagem computacional

Operação sistema

Dessorção

Inertização

MEV/EDX

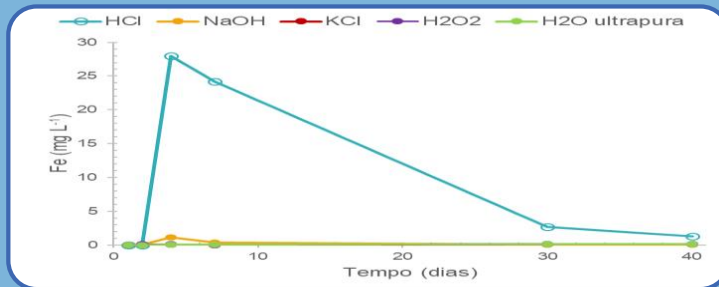
Resultados e Discussão

Modelo dinâmico computacional

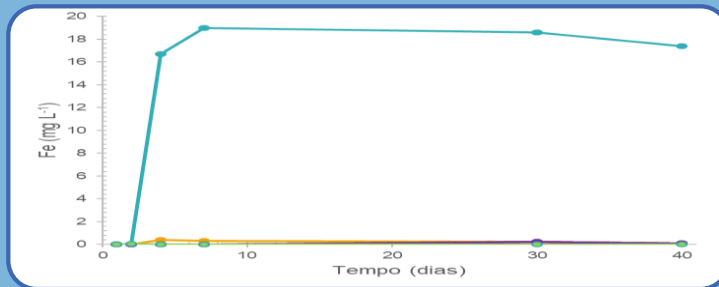


Dessorção ⇄ Adsorção

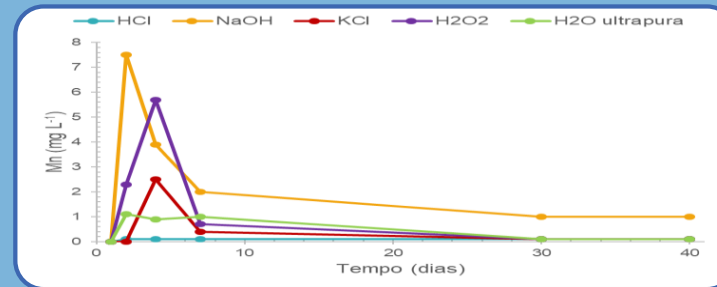
Fe



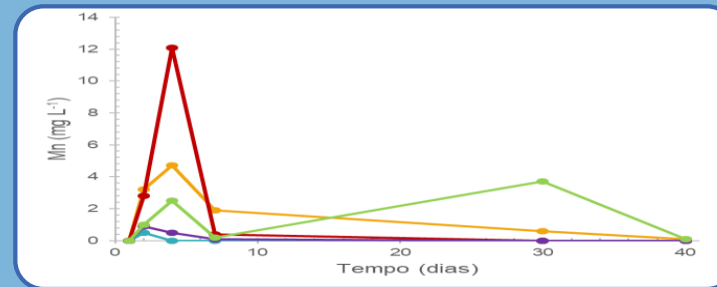
Agitação



Mn



Agitação



Modelagem computacional

Operação sistema

Dessorção

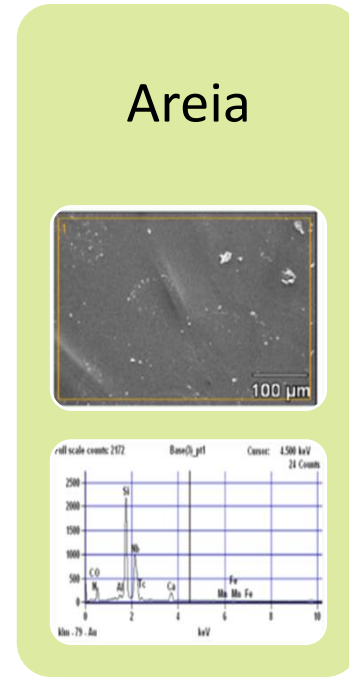
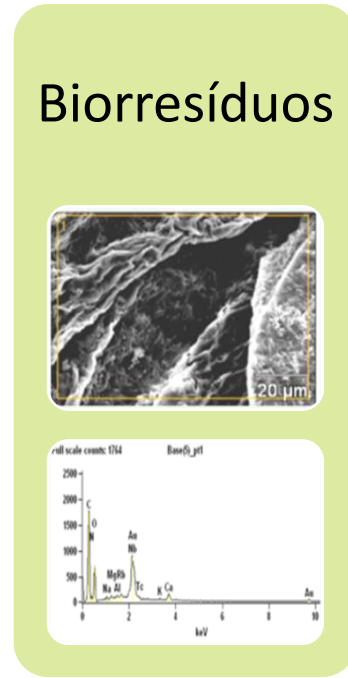
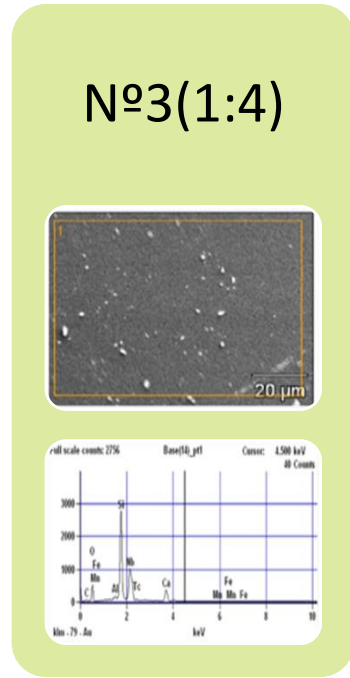
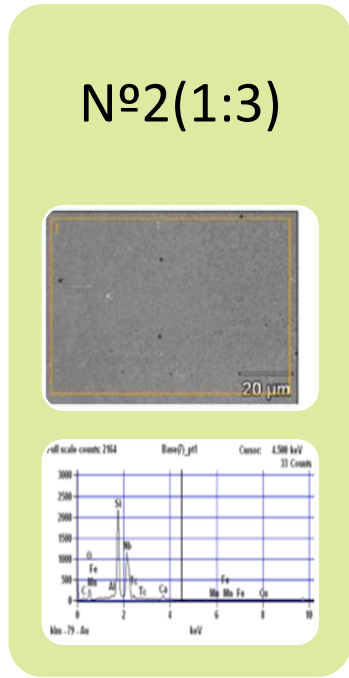
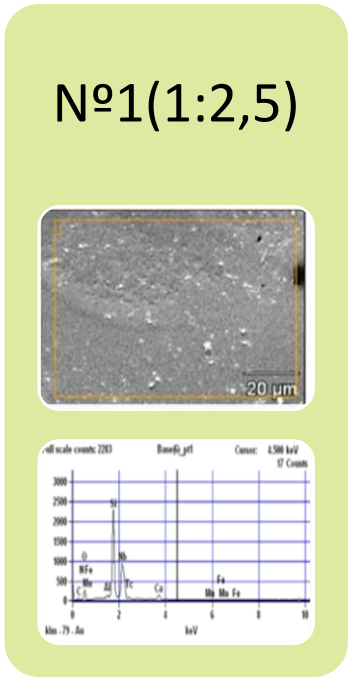
Inertização

MEV/EDX

Resultados e Discussão

Operação sistema piloto

AMOSTRA	AMOSTRA INICIAL (g)	AMOSTRA FINAL (g)	REDUÇÃO DE VOLUME (%)
1	134	39,63	70,42
2	152	15,77	89,62
3	190	31,68	83,32



Modelagem computacional



Operação sistema



Dessorção



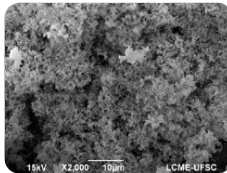
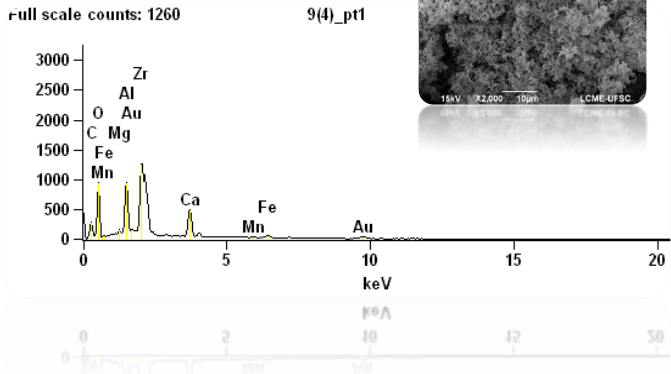
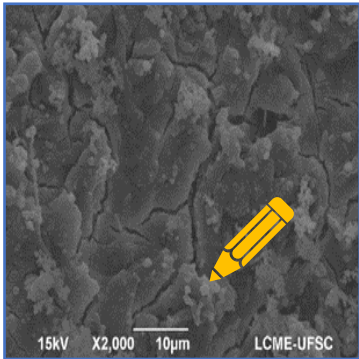
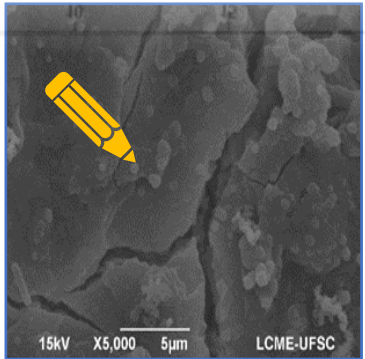
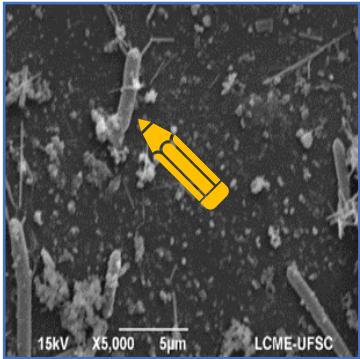
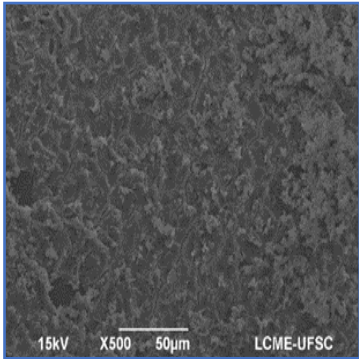
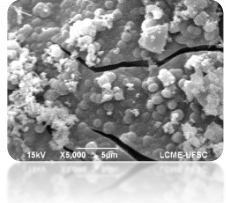
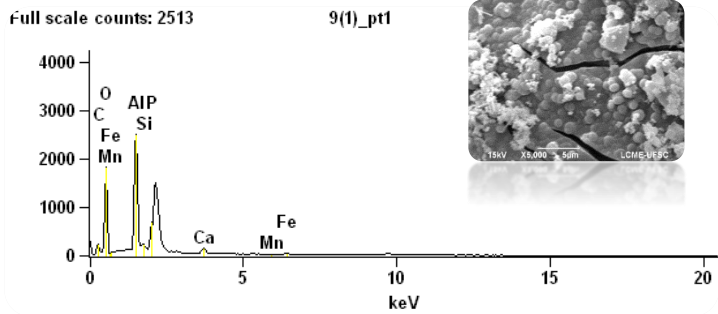
Inertização



MEV/EDX

Resultados e Discussão

Plasma térmico



Resultados e Discussão

MEV/EDX – Pós tratamento



XIISMA
SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE
SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE
II WORKSHOP INTERNACIONAL DE
BIORREMEDIÇÃO
DE ÁREAS CONTAMINADAS

Segurança Hídrica Global

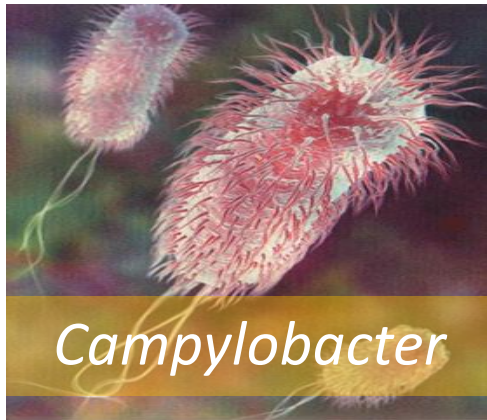
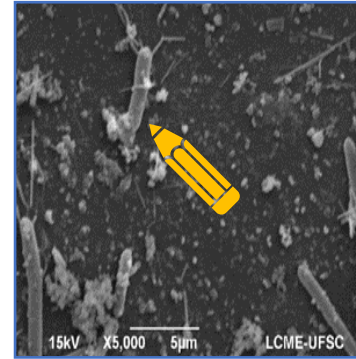
25 e 26 AGOSTO
2018



Thiopneutes



Desulfovibrio



Campylobacter



Desulforomonas

Modelagem computacional



Operação sistema



Dessorção



Inertização



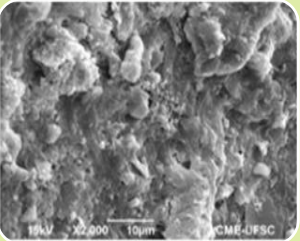
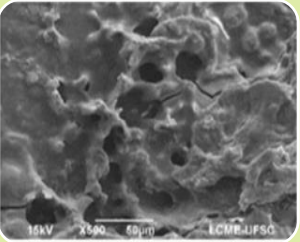
MEV/EDX

Resultados e Discussão

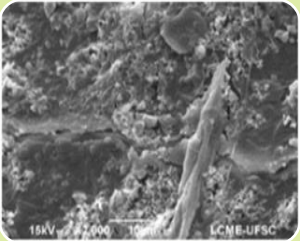
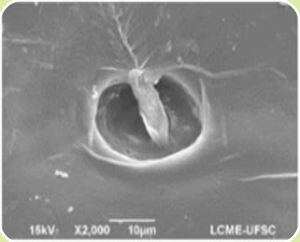
MEV/EDX – Pós tratamento

AGITAÇÃO

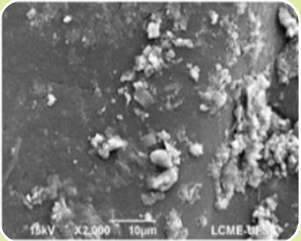
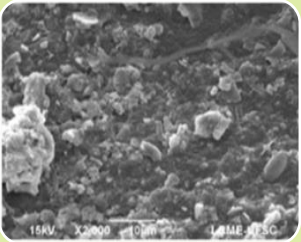
HCl

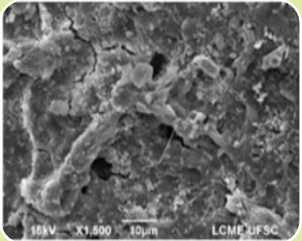
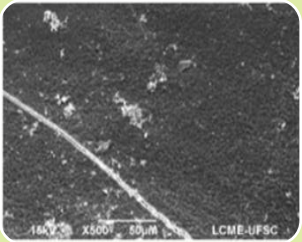
NaOH

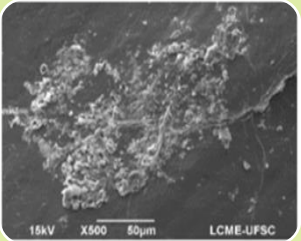
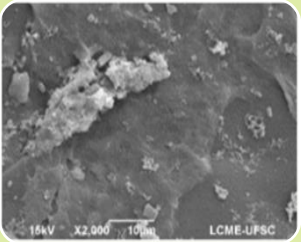
KCl

H₂O₂

H₂O
Ultrapura

Modelagem computacional



Operação sistema



Dessorção



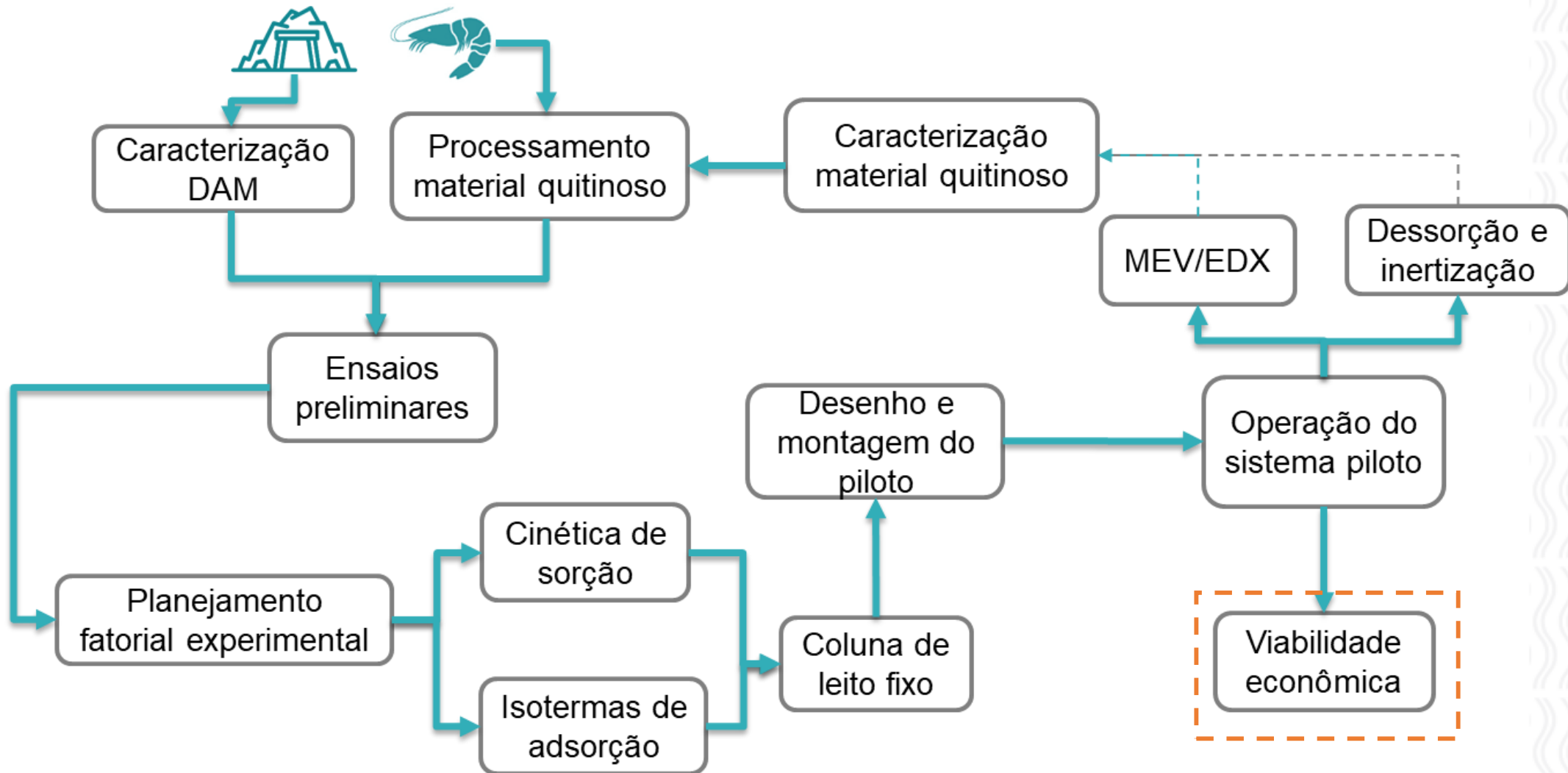
Inertização

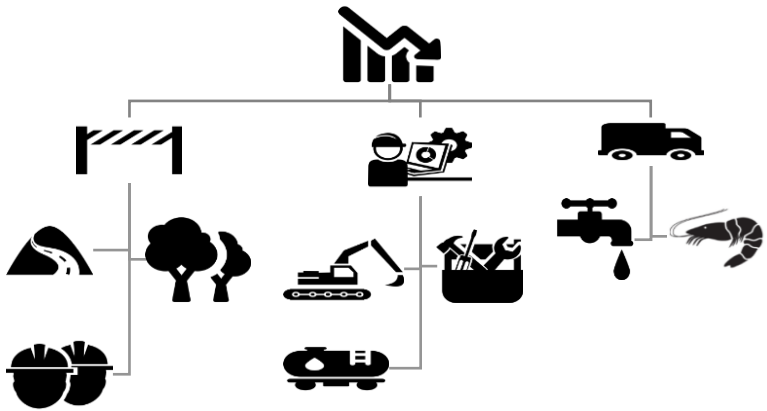
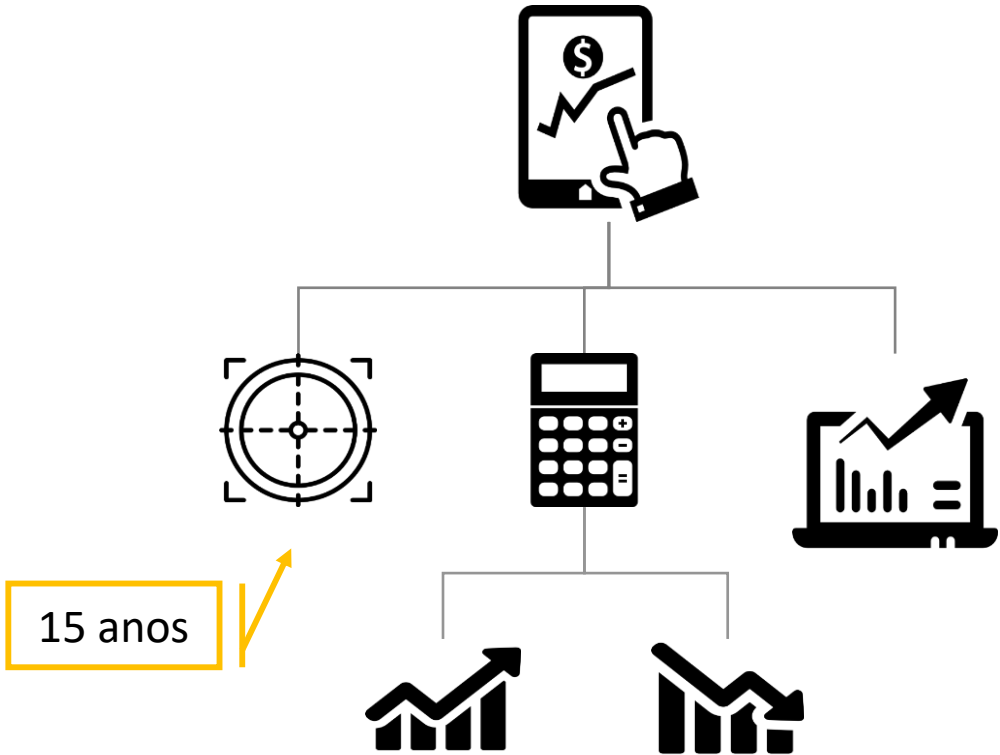


MEV/EDX

Resultados e Discussão

MEV/EDX - Dessorção

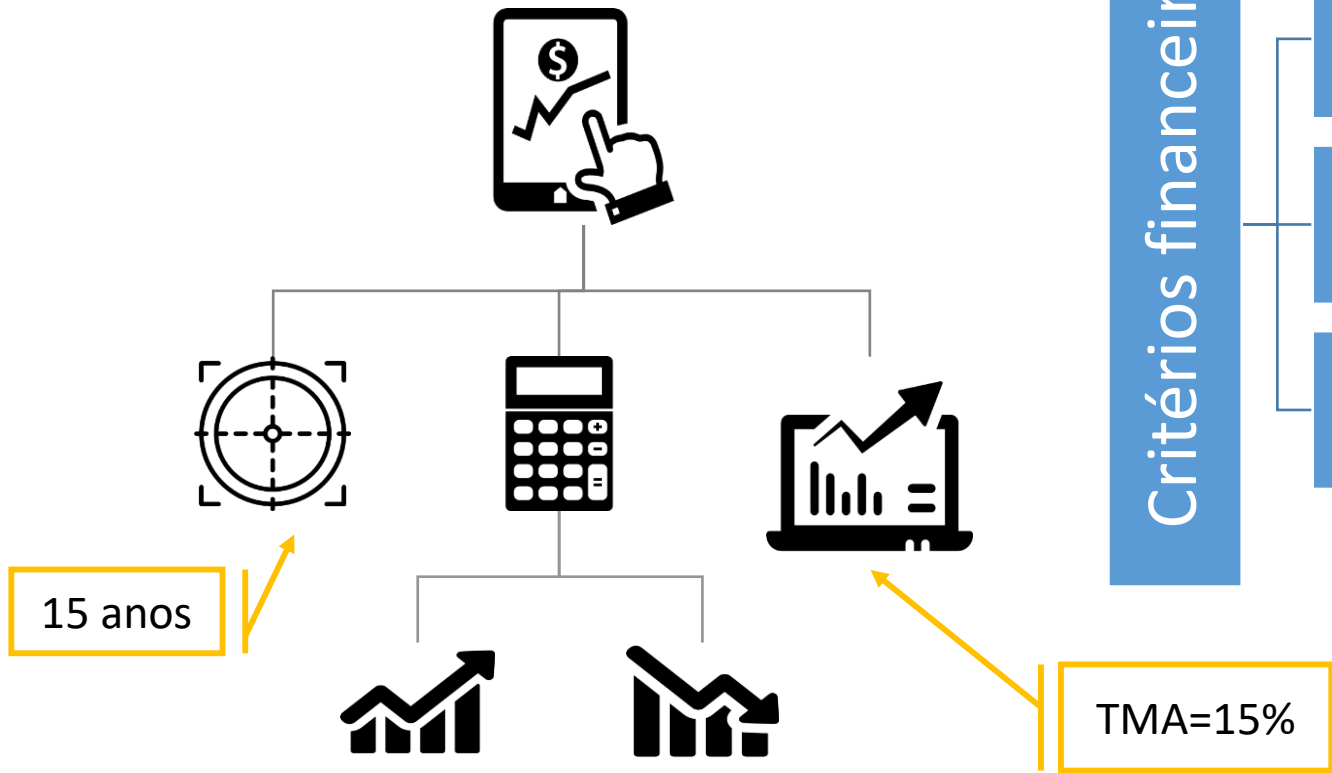




Materiais e Métodos

Estudo de Viabilidade Econômica (EVE)

Referências: Ponciano et al., 2004; Rocabert, 2006; Dos Santos & De Paiva, 2002



Critérios financeiros

Valor presente Líquido

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

Taxa Interna de Retorno

$$0 = -1 + \sum_0^n \frac{F_n}{(1 + TIR)^n}$$

Razão Benefício/Custo

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}}$$



Materiais e Métodos
Estudo de Viabilidade Econômica (EVE)

Referências: Ponciano et al., 2004; Rocabert, 2006; Dos Santos & De Paiva, 2002



Inflação 4%/ano
Acréscimo 0,15%/triênio

Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPAC)

ANO	CUSTOS OPERAÇÃO	DEPRECIÇÃO
1	R\$ 11.910,00	R\$ 1.089,83
2	R\$ 12.386,40	R\$ 1.089,83
3	R\$ 12.881,86	R\$ 1.089,83
4	R\$ 13.416,45	R\$ 1.089,83
5	R\$ 13.973,24	R\$ 1.089,83
6	R\$ 14.553,13	R\$ 1.089,83
7	R\$ 17.678,91*	R\$ 1.089,83
8	R\$ 18.439,10	R\$ 1.089,83
9	R\$ 19.231,98	R\$ 1.089,83
10	R\$ 20.087,81	R\$ 1.089,83
11	R\$ 20.981,71	R\$ 1.089,83
12	R\$ 21.915,40	R\$ 1.089,83
13	R\$ 22.923,51	R\$ 1.089,83
14	R\$ 23.977,99	R\$ 1.089,83
15	R\$ 25.080,98	R\$ 1.089,83

Custo adicional manutenção

	TOTAL (R\$)
FASE DE INSTALAÇÃO /CONSTRUÇÃO	R\$ 19.461,20
Abertura de acessos	R\$ 1.500,00
Terraplenagem do terreno	R\$ 900,00
Desmatamento e limpeza do terreno	R\$ 600,00
Infraestrutura de acesso	R\$ 6.161,20
Locação retroescavadeira	R\$ 600,00
Construção do reator/reservatório	R\$ 5.800,00
Materiais complementares	R\$ 3.900,00
FASE DE OPERAÇÃO*	R\$ 11.910,00
Transporte casca de camarão	R\$ 2.400,00
Transporte água reuso com caminhão pipa	R\$ 2.832,00
Disposição final casca camarão	R\$ 2.178,00
Ensaio laboratoriais	R\$ 4.500,00

*Custos anuais

Depreciação fixa 5,6%

Art. 310 do Decreto Federal 3000/99

Resultados e Discussão

Estimativa de custos



Referências: Ponciano et al., 2004; Rocabert, 2006; Dos Santos & De Paiva, 2002



M ³ REUSO MÊS	ANO	VALOR POR M ³ *	TOTAL ANUAL
144	1	R\$ 10,33	R\$ 17.850,24
	2	R\$ 11,10	R\$ 19.180,80
	3	R\$ 11,87	R\$ 20.511,36
	4	R\$ 12,64	R\$ 21.841,92
	5	R\$ 13,41	R\$ 23.172,48
	6	R\$ 14,18	R\$ 24.503,04
	7	R\$ 14,95	R\$ 25.833,60
	8	R\$ 15,72	R\$ 27.164,16
	9	R\$ 16,49	R\$ 28.494,72
	10	R\$ 17,26	R\$ 29.825,28
	11	R\$ 18,03	R\$ 31.155,84
	12	R\$ 18,80	R\$ 32.486,40
	13	R\$ 19,57	R\$ 33.816,96
	14	R\$ 20,34	R\$ 35.147,52
	15	R\$ 21,11	R\$ 36.478,08

Atividades Industriais
Faixa 2 (↑10 m³)

Acréscimo
anual R\$ 0,77/ m³

Reajuste tarifário 2015-2018 CASAN

*CASAN, 2018



Resultados e Discussão

Estimativa de benefícios

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investimento (-)	19.461,20															
Custos operação (-)		11.910,00	12.386,40	12.881,86	13.416,45	13.973,24	14.553,13	17.678,91	18.439,10	19.231,98	20.087,81	20.981,71	21.915,40	22.923,51	23.977,99	25.080,98
Faturamento (+)		17.850,24	19.180,80	20.511,36	21.841,92	23.172,48	24.503,04	25.833,60	27.164,16	28.494,72	29.825,28	31.155,84	32.486,40	33.816,96	35.147,52	36.478,08
Depreciação (-)		1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83
Valor residual (+)																3.113,79
Lucro líquido (+)	-19.461,20	4.850,41	5.704,57	6.539,68	7.335,64	8.109,42	8.860,09	7.064,86	7.635,23	8.172,91	8.647,65	9.084,30	9.481,17	9.803,62	10.079,70	13.421,07

Amortização
investimento



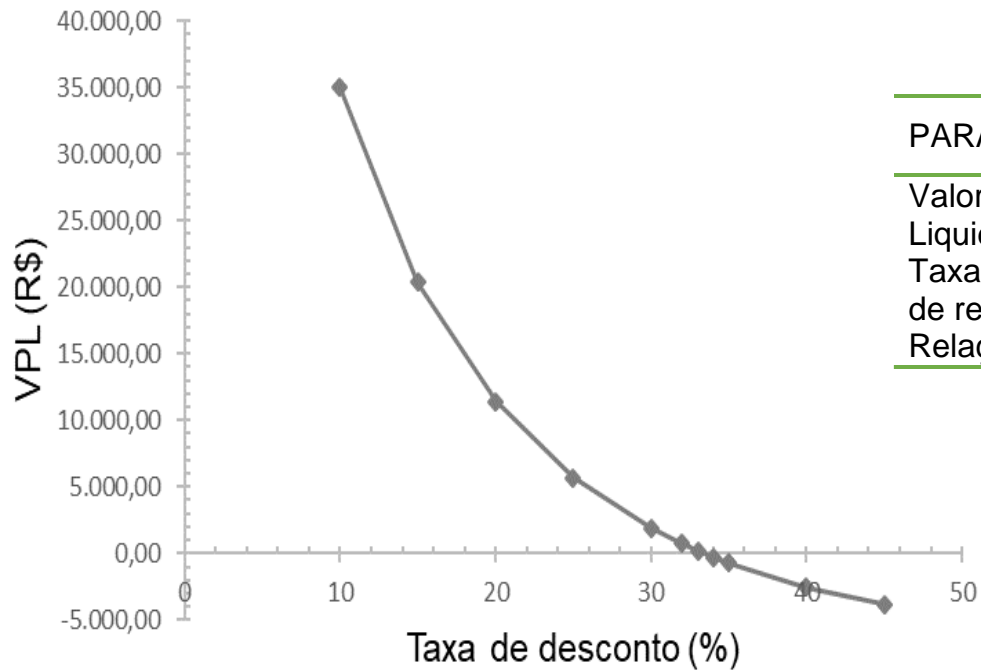
FLUXO DE CAIXA

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investimento (-)	19.461,20															
Custos operação (-)		11.910,00	12.386,40	12.881,86	13.416,45	13.973,24	14.553,13	17.678,91	18.439,10	19.231,98	20.087,81	20.981,71	21.915,40	22.923,51	23.977,99	25.080,98
Faturamento (+)		17.850,24	19.180,80	20.511,36	21.841,92	23.172,48	24.503,04	25.833,60	27.164,16	28.494,72	29.825,28	31.155,84	32.486,40	33.816,96	35.147,52	36.478,08
Depreciação (-)		1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83	1.089,83
Valor residual (+)																3.113,79
Lucro líquido (+)	-19.461,20	4.850,41	5.704,57	6.539,68	7.335,64	8.109,42	8.860,09	7.064,86	7.635,23	8.172,91	8.647,65	9.084,30	9.481,17	9.803,62	10.079,70	13.421,07

INDICADORES FINANCEIROS

PARÂMETRO	VALOR	PARÂMETRO VIABILIDADE
Valor Presente Líquido	VPL R\$ 20.374,91	> 0
Taxa interna de retorno	TIR 33%	> TMA
Relação B/C	B/C 1,43	> 1





PARÂMETRO		VALOR (5%)*	VALOR (6%)*	VALOR (8%)*	VALOR (9%)*	Parâmetro viabilidade
Valor Presente Líquido	VPL	R\$ 16.349,3	R\$ 12.028,6	R\$ 2.403,9	R\$ -1.820,0	> 0
Taxa interna de retorno	TIR	31%	29%	20%	NA**	> TMA
Relação B/C	B/C	1,33	1,24	1,08	1,02	>1

EVE

Estimativa de custos

Estimativa de benefícios

Fluxo de caixa

Indicadores financeiros

Análise de sensibilidade



01

Potencial da SS

02

Quimiossorção

03

Efluente dentro padrões legais

04

Baixo custo

05

Estabilidade biorresíduo

06

Viável economicamente



Conclusões finais gerais



Segurança Hídrica Global

25 e 26 AGOSTO
2018



Dámaris Núñez Gómez

Laboratório de Reuso de Água (LaRA)
Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA)
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
damaris_ng@hotmail.com
(48) 9 9664 2110

