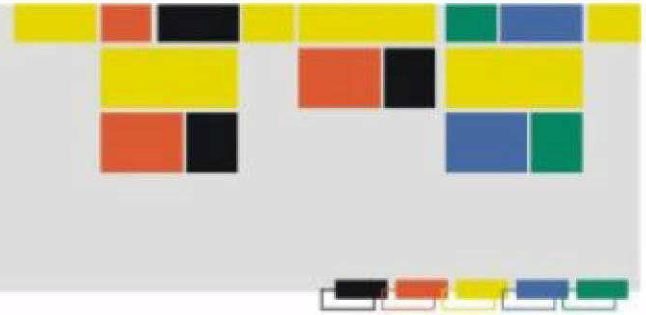




**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40<sup>th</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION  
**2007**



Universidade Federal de Viçosa



# Tratamento da água branca por biorreator anaeróbio convencional e biorreator anaeróbio a membranas

Ana Paula Santana Loures – Bolsista CNPq

Cláudio Mudado Silva – DEF/UFV

Matheus Ribeiro Coura – IC

Ismarley Lage Horta Moraes – IC





**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40<sup>th</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION

**2007**

## INTRODUÇÃO

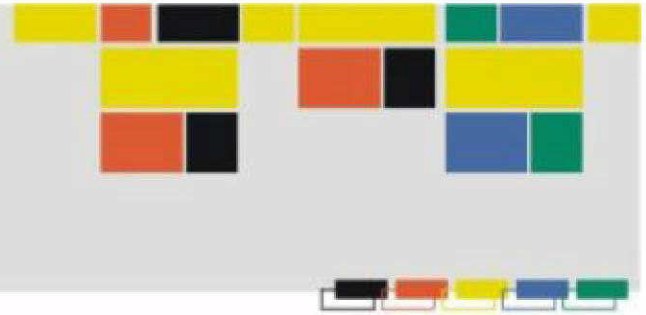
- **Consumo de água na produção de papel**
  - Médio: 11 - 23 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>
  - Máximo: 60 - 100 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>
- **Composição da água branca**
  - Fibras de celulose, finos, aditivos, etc.
  - Alto conteúdo de matéria orgânica
- **Razões para a recuperação da água branca**
  - Redução do uso de água fresca
  - Recuperação de fibras e químicos (\$)
  - Leis ambientais restritivas





## INTRODUÇÃO

- Tratamento de água branca
  - Biológico
    - Anaeróbio
  - Físico
    - Membranas
  - Temperatura
    - Mesofílica (35°C)
    - Termofílica (55°C)



# INTRODUÇÃO

## Tratamento anaeróbico



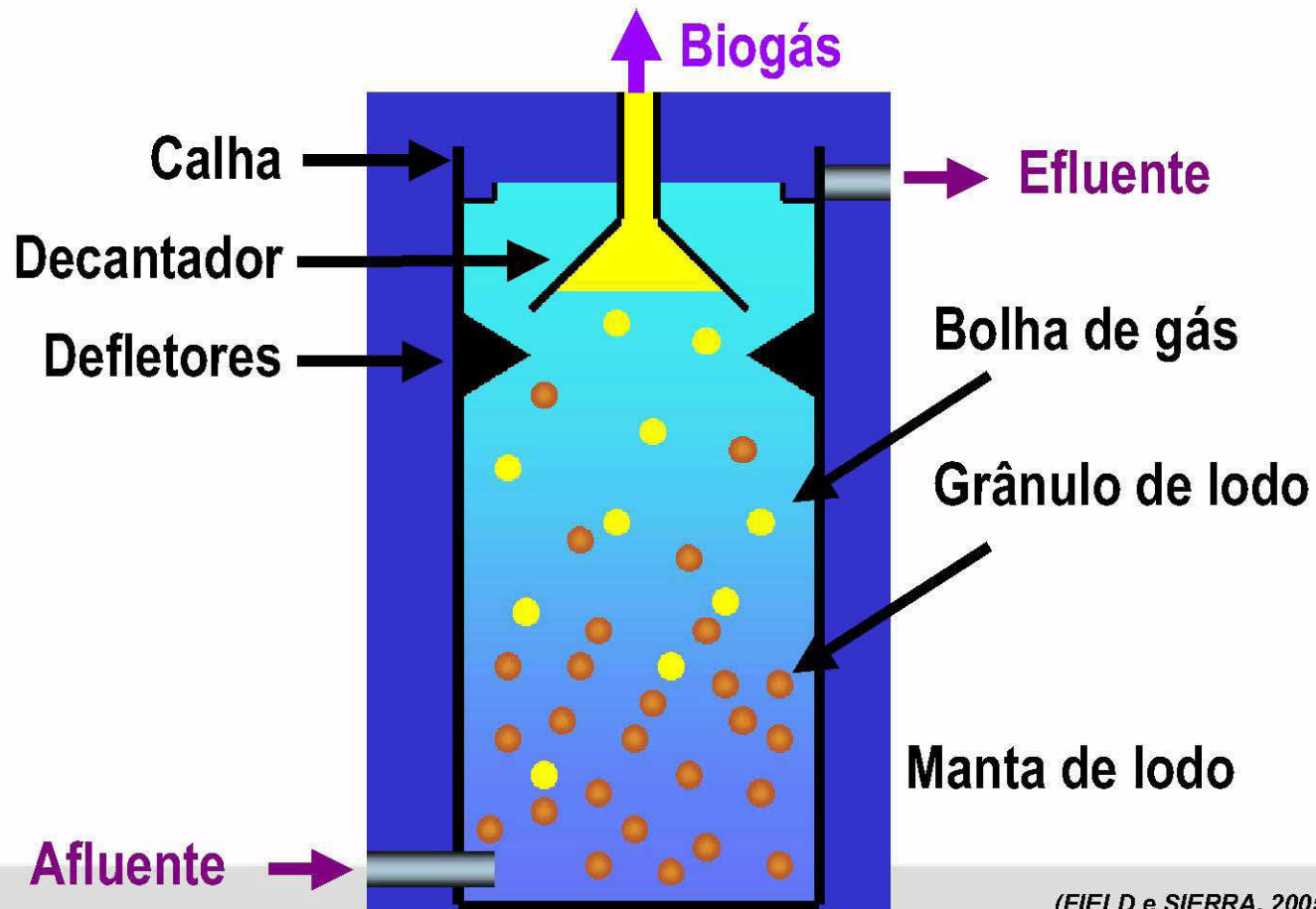


ABTCP-ZELLCHEMING

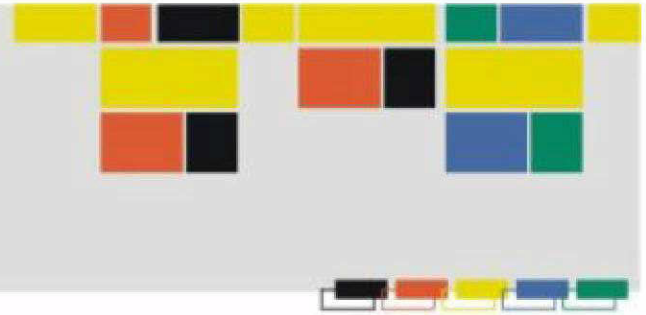
40º CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION

2007

## UASB (“upflow anaerobic sludge blanket”)

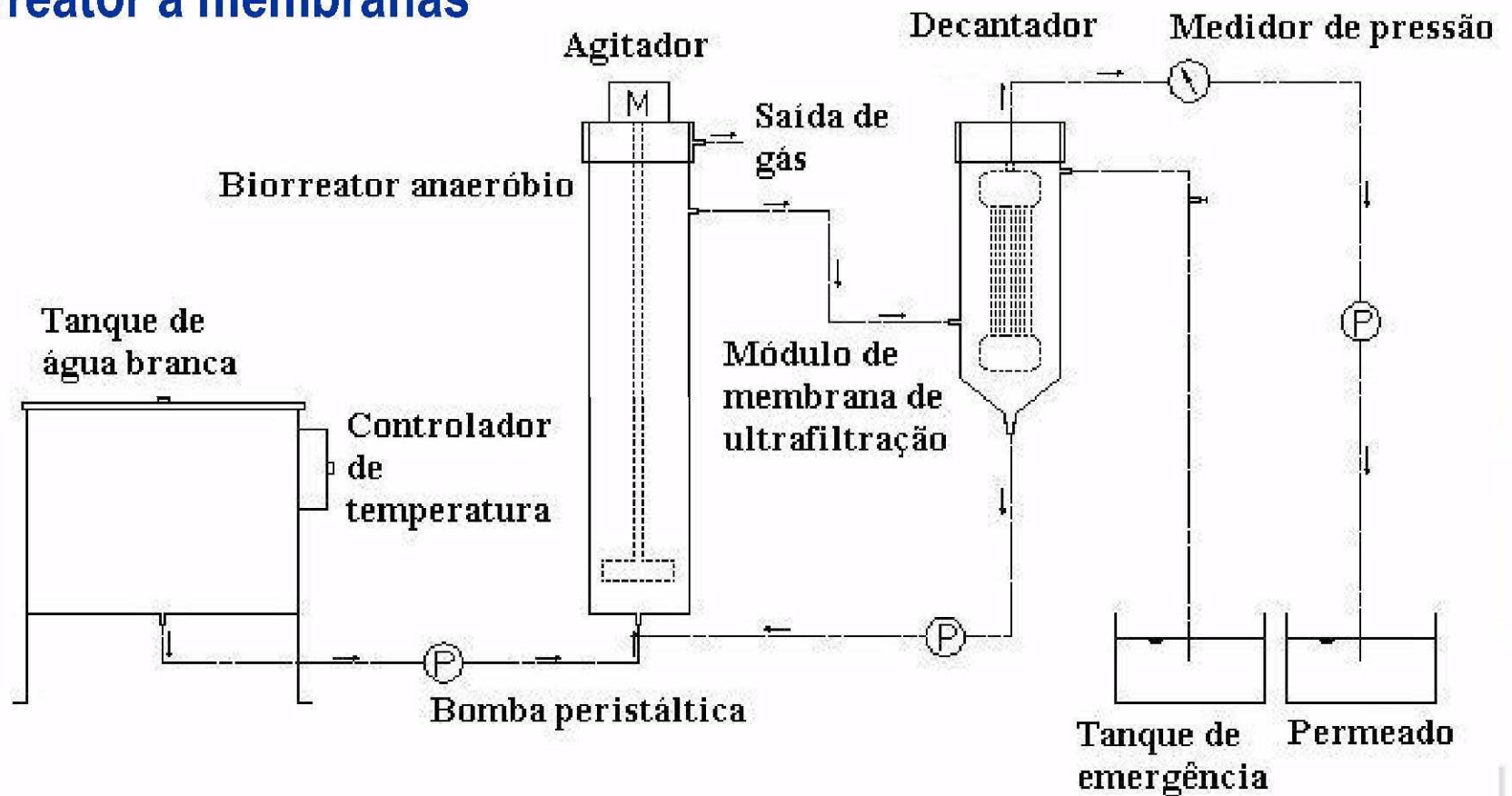


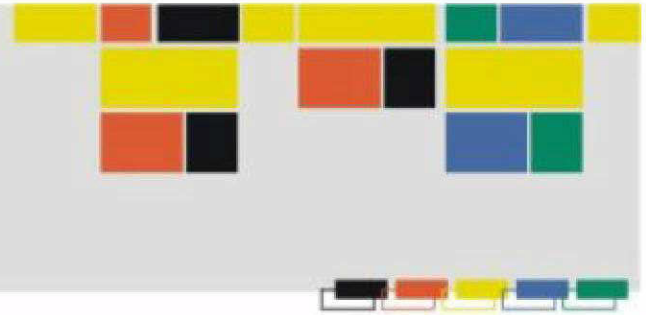
(FIELD e SIERRA, 2005, at <http://www.uasb.org/>)



# INTRODUÇÃO

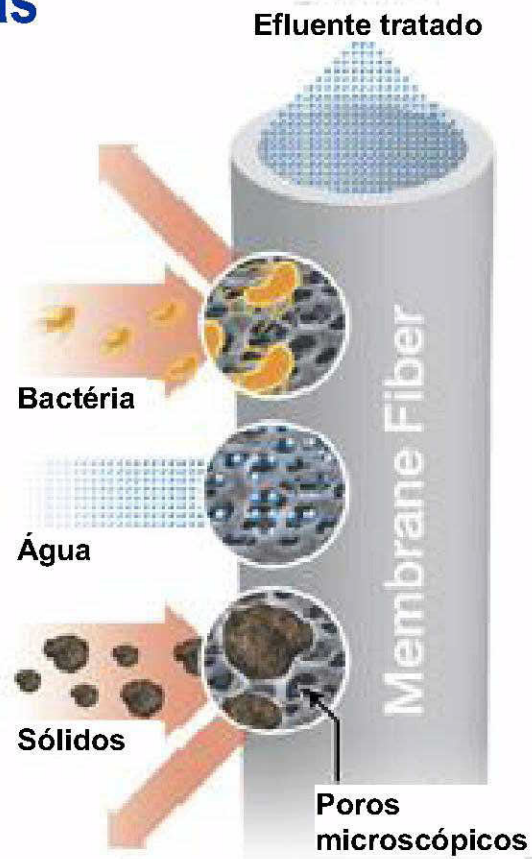
## Biorreator a membranas





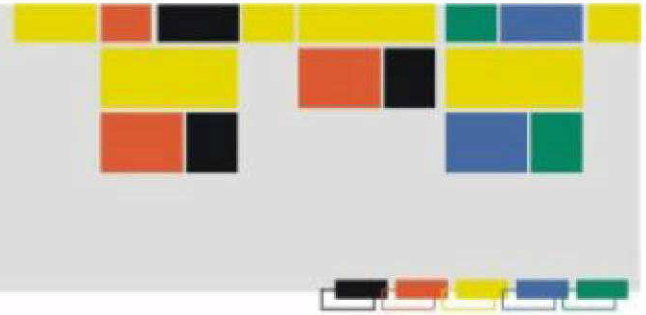
# INTRODUÇÃO

## Membranas



**Seção transversal da membrana**



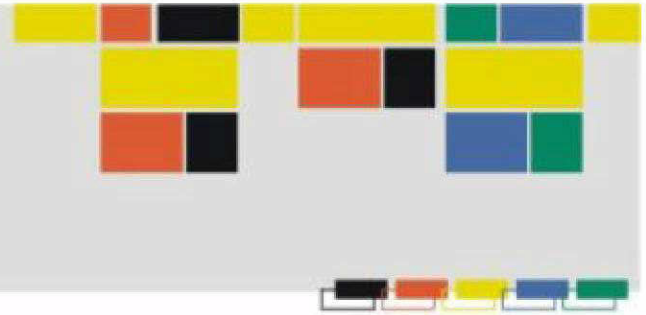


## OBJETIVOS

- Etapa 1: comparar os desempenhos do biorreator anaeróbio convencional (BRAC) e do biorreator anaeróbio a membrana (BRAM), tratando água branca da máquina de papel produzindo **papel kraft branqueado**, sob diferentes cargas de aplicação
- Etapa 2: comparar os desempenhos do biorreator anaeróbio convencional (BRAC) e do biorreator anaeróbio a membrana (BRAM), tratando água branca da máquina de papel produzindo **papel reciclado**, sob diferentes cargas de aplicação







## OBJETIVOS

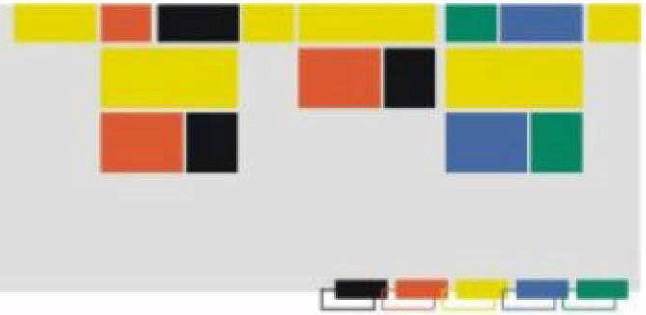
- Etapa 3: comparar as condições de operação do biorreator anaeróbio a membranas a temperaturas **mesofílicas** (BRAM 35°C) e **termofílicas** (BRAM 55°C), tratando água branca da máquina de papel produzindo **papel kraft branqueado**





**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40<sup>th</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION

**2007**



## MATERIAL E MÉTODOS



O experimento foi conduzido no Laboratório de Celulose e Papel do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, MG.



Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel





**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40<sup>th</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION

**2007**

## MATERIAL E MÉTODOS



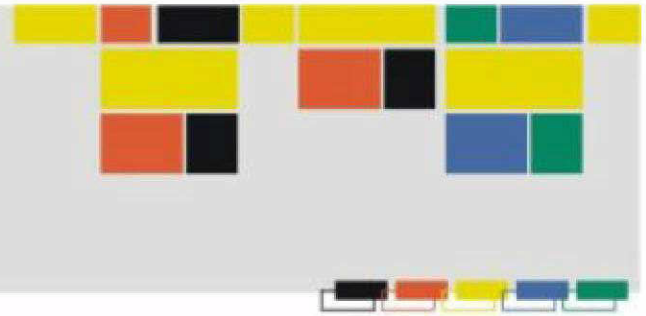
### Módulo de membrana de ultrafiltração

**Modelo:**  
**ZeeWeed-1<sup>®</sup> (ZW-1),**  
**Módulo submersível**

**Diâmetro de poro:**  
**0,04  $\mu\text{m}$  (abs. 0,1  $\mu\text{m}$ )**

**Área superficial:**  
**0,047 m<sup>2</sup>**





# MATERIAL E MÉTODOS

## Alimentação e lodo



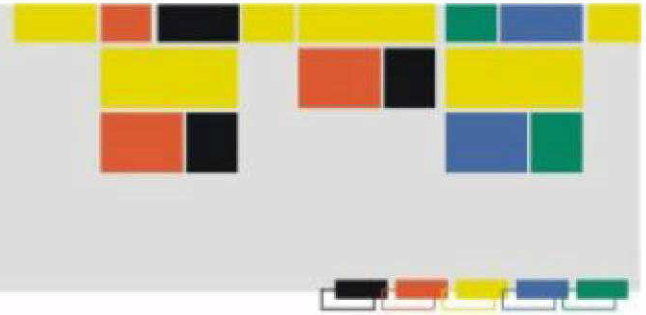
Água branca fornecida por uma fábrica que produz papel a partir de polpa kraft branqueada



Lodo fornecido pela estação de tratamento anaeróbio de esgoto doméstico do município

Água branca fornecida por uma fábrica que produz papel a partir de polpa reciclada





# MATERIAL E MÉTODOS

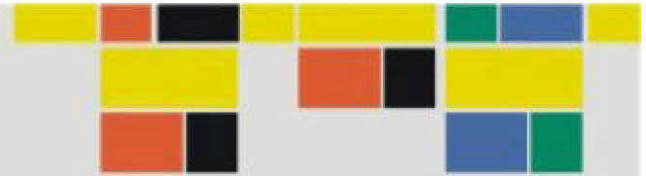
## Análises físico químicas

Parâmetro	Métodos	Referência
DQO	5220 D	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 1998)
SST	2540 D	
Turbidez	2130	
Dureza total	2340 C	





**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40<sup>o</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION

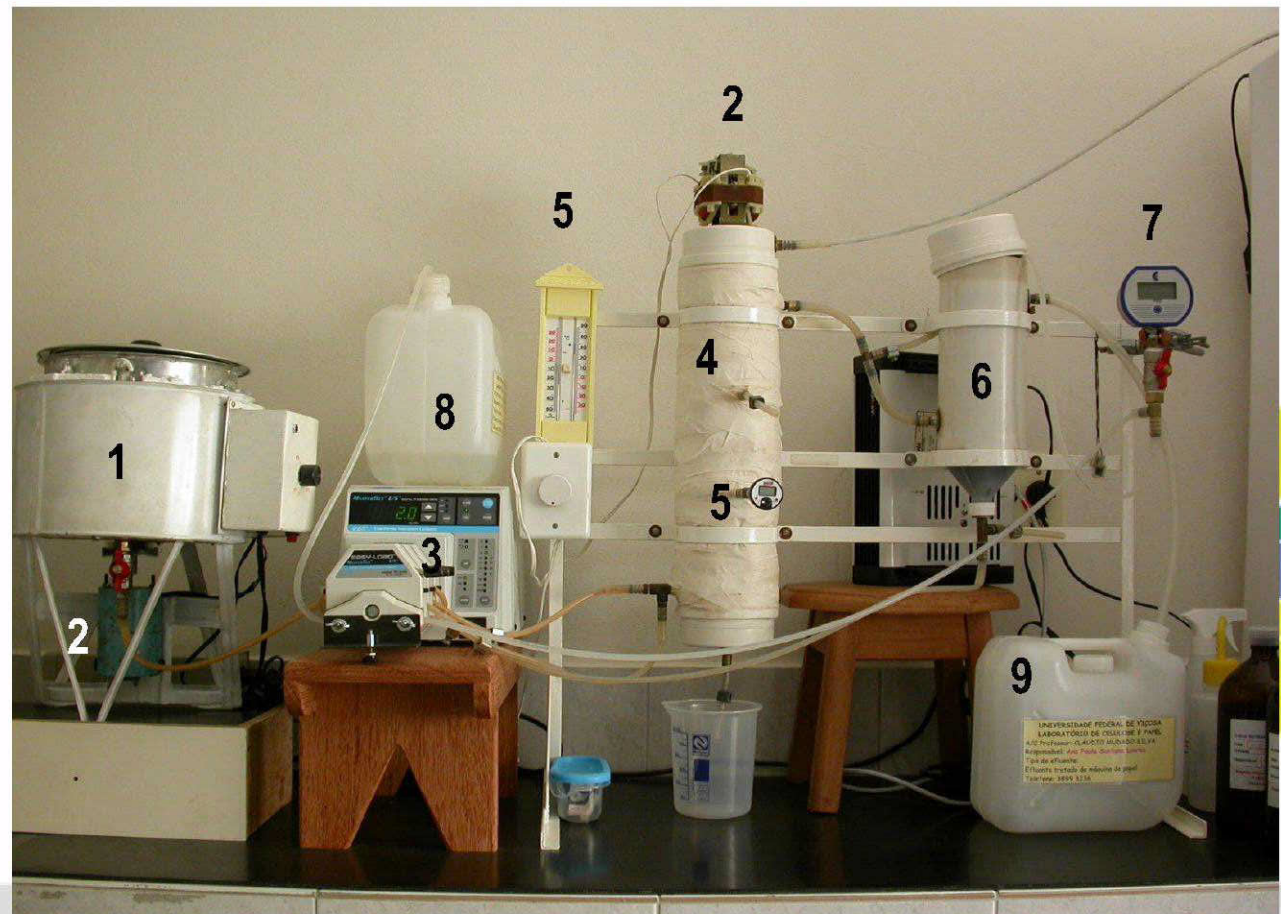


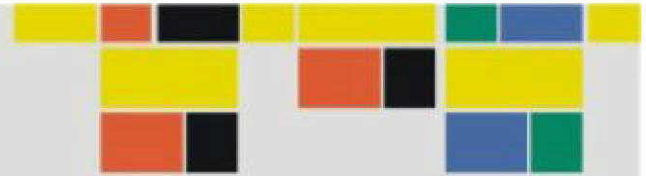
## MATERIAL E MÉTODOS

## ETAPA 1

### Sistema de tratamento biológico

- 1 Aquecedor
- 2 Agitador
- 3 Bomba
- 4 Biorreator
- 5 Termômetro
- 6 Decantador
- 7 Manômetro
- 8 Tratado
- 9 Tanque de emergência





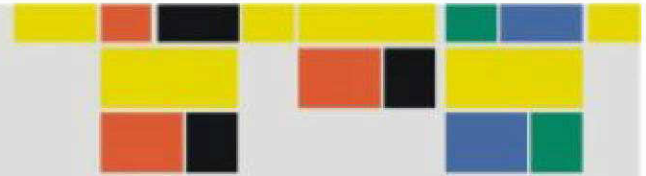
## MATERIAL E MÉTODOS

## ETAPA 1

### Sistema de aquecimento da entrada

- 1 Água branca
- 2 Resistência
- 3 Controlador de temperatura
- 4 Controlador de velocidade





## MATERIAL E MÉTODOS

## ETAPA 1

Parâmetro	Unidade	Fase 1		Fase 2	
		BRAC	BRAM	BRAC	BRAM
Temperatura					
Entrada	°C	34,8	43,1	34,0	30,8
Tratado	°C	27,2	28,0	28,5	28,5
Vazão	l d <sup>-1</sup>	2,70	2,00	0,74	8,53
Tempo de Detenção Hidráulica	h	27,4	25,9	8,5	8,8
Carga Hidráulica Volumétrica	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	0,88	0,93	2,84	2,77
Carga Orgânica Volumétrica	kg DBO m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	-	0,16	0,68	0,38
	kg DQO m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	0,24	0,33	1,36	0,85



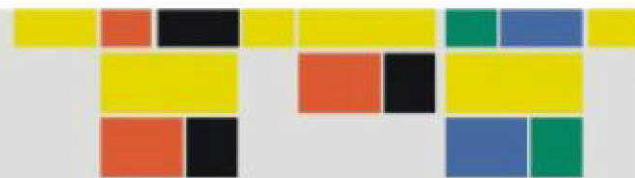




## RESULTADOS E DISCUSSÃO

## ETAPA 1

Parâmetro	Unidade	Fase 1		Fase 2	
		BRAC	BRAM	BRAC	BRAM
TDH	h	27,4	25,9	8,5	8,8
COV	kg DQO <sub>1</sub> m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	0,24	0,33	1,36	0,85
DQO	Entrada	274	368	456	289
	Tratado	89	28	107	60
	Remoção	66	92	74	79
SST	Entrada	645	945	222	247
	Tratado	20	7	32	18
	Remoção	97	99	83	90



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

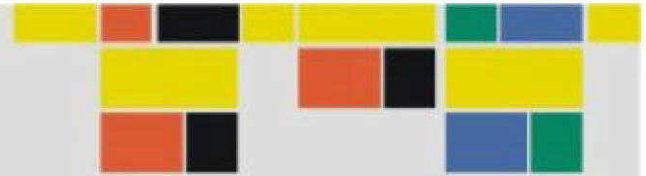
## ETAPA 1

Parâmetro		Unidade	Fase 1		Fase 2	
			BRAC	BRAM	BRAC	BRAM
TDH		h	27,4	25,9	8,5	8,8
COV		kgDQO m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	0,24	0,33	1,36	0,85
Turbidez	Entrada	NTU	1.278	1.692	319	463
	Tratado	NTU	14	1	144	19
	Remoção	%	99	100	49	92
Dureza total	Entrada	mg CaCO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>	462	877	310	355
	Tratado	mg CaCO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>	199	230	298	254
	Remoção	%	57	64	13	28





**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40º CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION



## CONCLUSÕES

### ETAPA 1

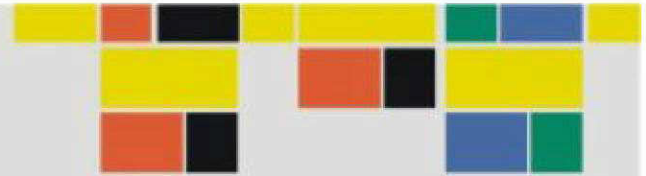
- a água branca foi adequada ao tratamento anaeróbio
- ambas as configurações testadas apresentaram boa remoção de dureza total
- o BRAM tem vantagens sobre o BRAC na recuperação da água branca tratada, especialmente devido à completa remoção dos sólidos suspensos e ao conteúdo orgânico muito baixo presente no efluente do BRAM





**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40<sup>th</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION

**2007**



## MATERIAL E MÉTODOS

## ETAPA 2

### Sistema de tratamento biológico

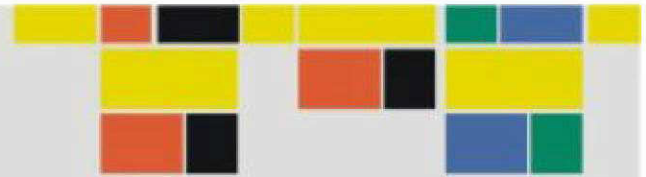
- 1 Aquecedor
- 2 Bomba
- 3 BRAM
- 4 BRAC
- 5 e 6 Termômetros
- 7 Controlador de temperatura
- 8 Módulo de membrana
- 9 Manômetro
- 10 Tratado
- 11 Emergência





**ABTCP-ZELLCHEMING**  
**2007**

40<sup>th</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION



## MATERIAL E MÉTODOS

## ETAPA 2



**Sistema de  
aquecimento da  
entrada**

**Detalhe dos aquecedores  
de aquário**





## MATERIAL E MÉTODOS

## ETAPA 2

Parâmetro	Unidade	Fase 1		Fase 2		Fase 3	
		BRAC	BRAM	BRAC	BRAM	BRAC	BRAM
Temperatura Entrada	°C	35,1	35,1	35,4	35,4	35,6	35,6
Biorreator	°C	34,9	35,5	39,3	37,4	35,1	35,2
Vazão	l d <sup>-1</sup>	9,39	8,45	4,59	4,59	2,00	2,74
Tempo de Detenção Hidráulica	h	6,9	7,6	14,0	14,6	23,9	23,4
Carga Hidráulica Volumétrica	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	3,52	3,16	1,72	1,69	1,00	1,03
Carga Orgânica Volumétrica	kg DQO m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	15,1	13,6	8,1	8,0	4,7	4,8



**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40<sup>o</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION

**2007**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

**ETAPA 2**

Parâmetro		Unidade	Fase 1		Fase 2		Fase 3	
			BRAC	BRAM	BRAC	BRAM	BRAC	BRAM
TDH		h	6,9	7,6	14,0	14,6	23,9	23,4
COV		kg DQO m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	15,1	13,6	8,1	8,0	4,7	4,8
DQO	Entrada	mg l <sup>-1</sup>	4.245	4.245	4.717	4.717	4.671	4.671
	Tratado	mg l <sup>-1</sup>	3.730	3.121	3.727	3.196	3.727	3.207
	Remoção	%	12	27	21	32	19	31
SST	Entrada	mg l <sup>-1</sup>	694	694	844	844	634	634
	Tratado	mg l <sup>-1</sup>	346	39	260	21	255	15
	Remoção	%	49	94	67	97	59	98



**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40<sup>th</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION

40<sup>th</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION

**2007**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

## ETAPA 2

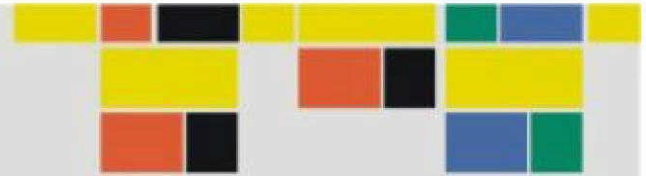
Parâmetro	Unidade	Fase 1		Fase 2		Fase 3	
		BRAC	BRAM	BRAC	BRAM	BRAC	BRAM
TDH	h	6,9	7,6	14,0	14,6	23,9	23,4
COV	kg DQO m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	15,1	13,6	8,1	8,0	4,7	4,8
Turbidez	Entrada	411	411	401	401	380	380
	Tratado	622	316	529	299	455	146
	Remoção	0	45	12	35	4	63
Dureza total	Entrada	1.026	1.026	1.639	1.639	1.276	1.276
	Tratado	1.040	1.006	979	894	537	547
	Remoção	1	2	40	46	58	57





**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40<sup>o</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION

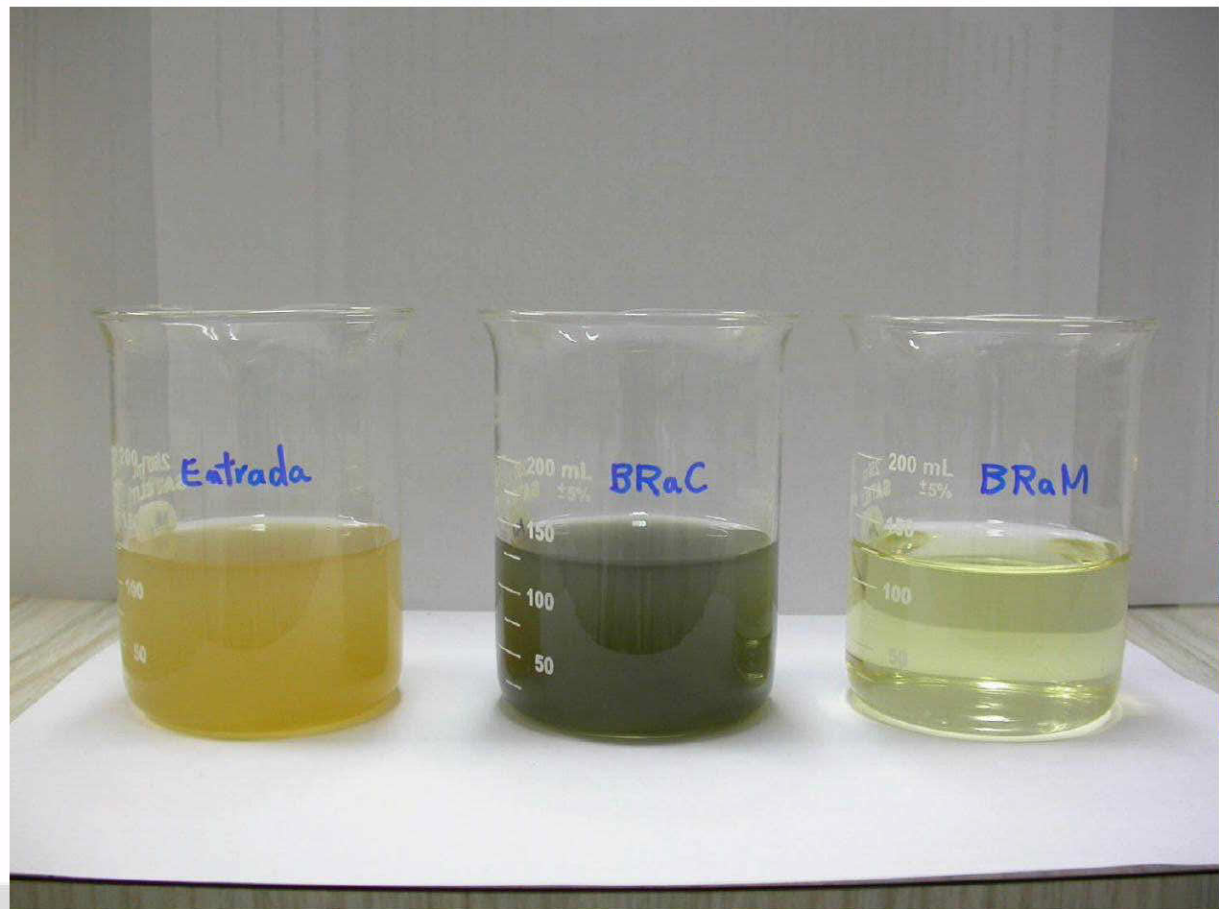
**2007**



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

ETAPA 2

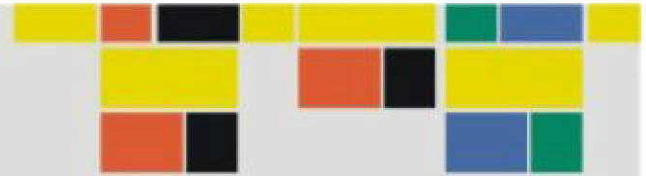
Aspecto visual da  
entrada e dos  
tratados do BRAC e  
BRAM durante a  
Fase 3





**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40<sup>o</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION

**2007**

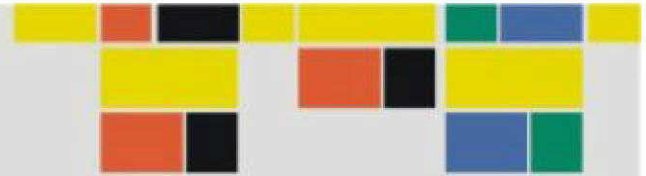


## CONCLUSÕES

## ETAPA 2

- a água branca foi inadequada para o tratamento anaeróbio, provavelmente devido à geração de ácidos orgânicos voláteis
- ambas as configurações apresentaram baixa eficiência de remoção da DQO, turbidez e dureza
- para SST, observou-se que o BRAM apresentou desempenho superior ao do BRAC





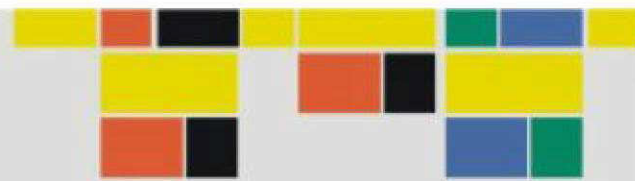
## MATERIAL E MÉTODOS

## ETAPA 3

### Sistema de tratamento biológico

- 1 Aquecedor
- 2 Bomba
- 3 BRAM 35°C
- 4 BRAM 55°C
- 5 e 6 Termômetros
- 7 Controlador de temperatura
- 8 Módulo de membrana
- 9 Tratado
- 10 Tanque de emergência

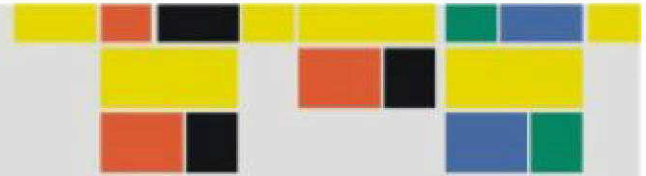




# MATERIAL E MÉTODOS

Parâmetro	Unidade	BRAM 35°C	BRAM 55°C
Temperatura			
Entrada	°C	35,3	35,3
Biorreator	°C	36,6	53,5
Vazão	l d <sup>-1</sup>	0,34	0,00
Tempo de Detenção Hidráulica	h	10,1	9,8
Carga Hidráulica Volumétrica	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	2,37	2,47
Carga Orgânica Volumétrica	kg DQO m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	1,41	1,46



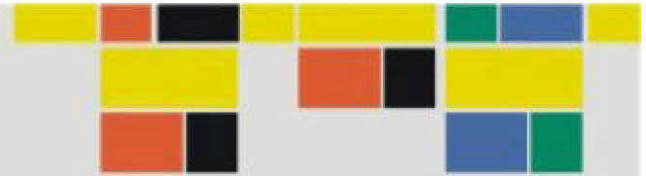


## RESULTADOS E DISCUSSÃO

## ETAPA 3

Parâmetro		Unidade	BRAM 35°C	BRAM 55°C
TDH		h	10,1	9,8
COV		kg DQO m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	1,41	1,46
DQO	Entrada	mg l <sup>-1</sup>	586	586
	Tratado	mg l <sup>-1</sup>	182	264
	Remoção	%	70	55
SST	Entrada	mg l <sup>-1</sup>	330	330
	Tratado	mg l <sup>-1</sup>	13	9
	Remoção	%	95	97





## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### ETAPA 3

Parâmetro		Unidade	BRAM 35°C	BRAM 55°C
TDH		h	10,1	9,8
COV		kg DQO m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	1,41	1,46
Turbidez	Entrada	NTU	452	452
	Tratado	NTU	97	73
	Remoção	%	68	77
Dureza total	Entrada	mg CaCO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>	330	330
	Tratado	mg CaCO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>	250	240
	Remoção	%	19	20





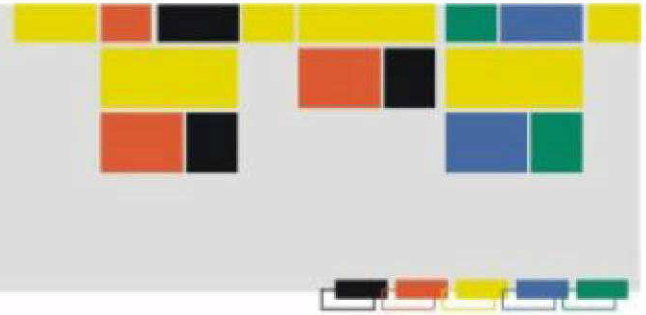
## CONCLUSÕES

## ETAPA 3

- a água branca foi adequada ao tratamento anaeróbio
- ambas as configurações apresentaram baixa eficiência de remoção da dureza
- o BRAM 35°C alcançou maior eficiência de remoção da DQO
- o BRAM 55°C alcançou maior eficiência de remoção de SST e turbidez
- o BRAM 55°C tem vantagens sobre o tratamento anaeróbio mesofílico principalmente por não necessitar do resfriamento da água branca



**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40º CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>TH</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION



## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a:

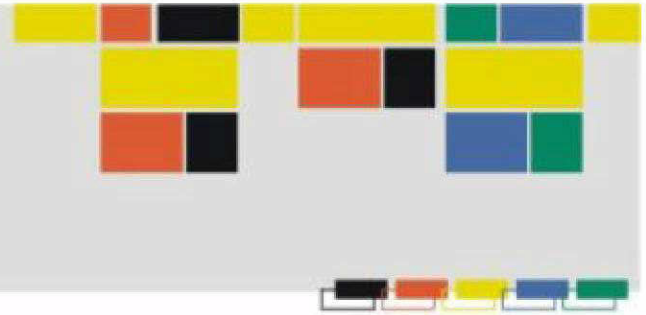
- Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq)
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)
- Zenon Environmental Inc., Canadá
- Suzano Papel e Celulose, Unidade Mucuri
- Klabin S/A, Unidade Ponte Nova







**ABTCP-ZELLCHEMING**  
40<sup>o</sup> CONGRESSO E EXPOSIÇÃO  
INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL  
40<sup>th</sup> PULP AND PAPER INTERNATIONAL  
CONGRESS & EXHIBITION



## AGRADECIMENTOS

**Obrigado** DS



**Perguntas?**

[aploures@vicoso.ufv.br](mailto:aploures@vicoso.ufv.br)

[mudado@ufv.br](mailto:mudado@ufv.br)

