SISTEMAS DE COMBUSTÃO DE BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

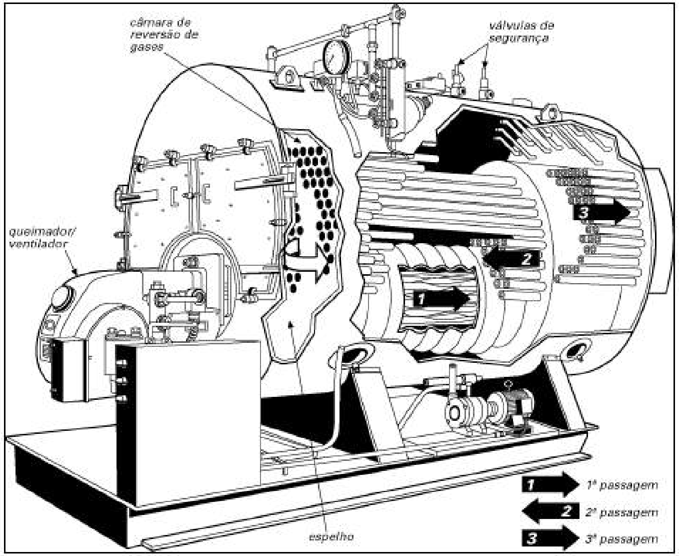
Prof. Dr. Waldir A. Bizzo

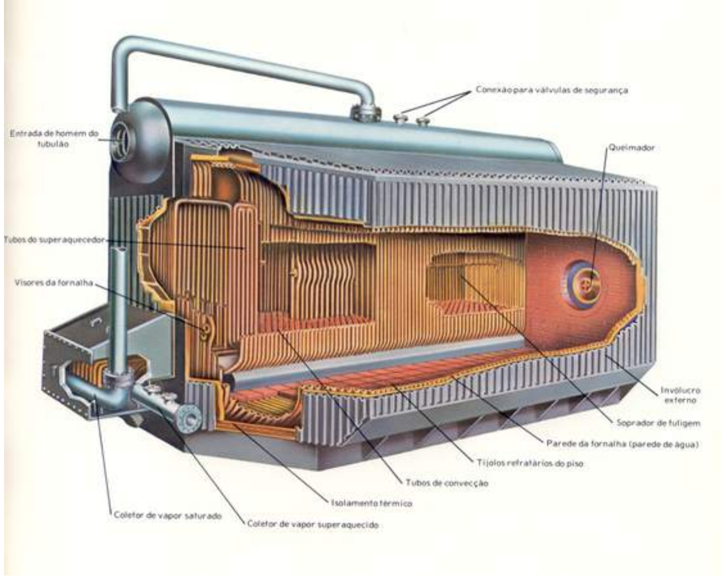
Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Mecânica

GERADORES DE VAPOR

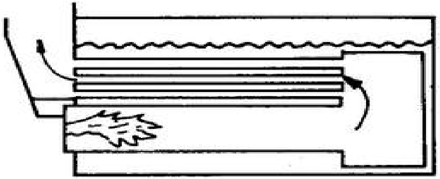
Dois típos básicos:

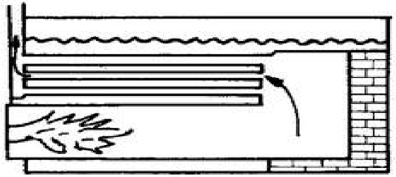
- caldeiras **flamotubulares**: gases de combustão dentro dos tubos
- caldeiras **aquatubulares**: água dentro dos tubos



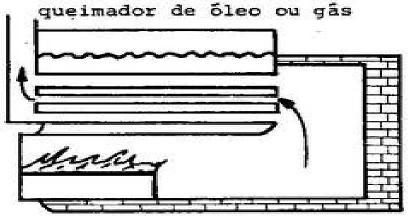


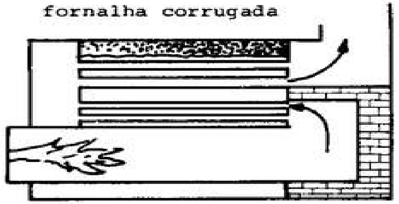
Diversas configurações de caldeiras flamotubulares

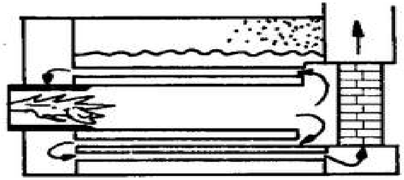

Traseira molhada,
dois passes,
queimador de óleo ou gás

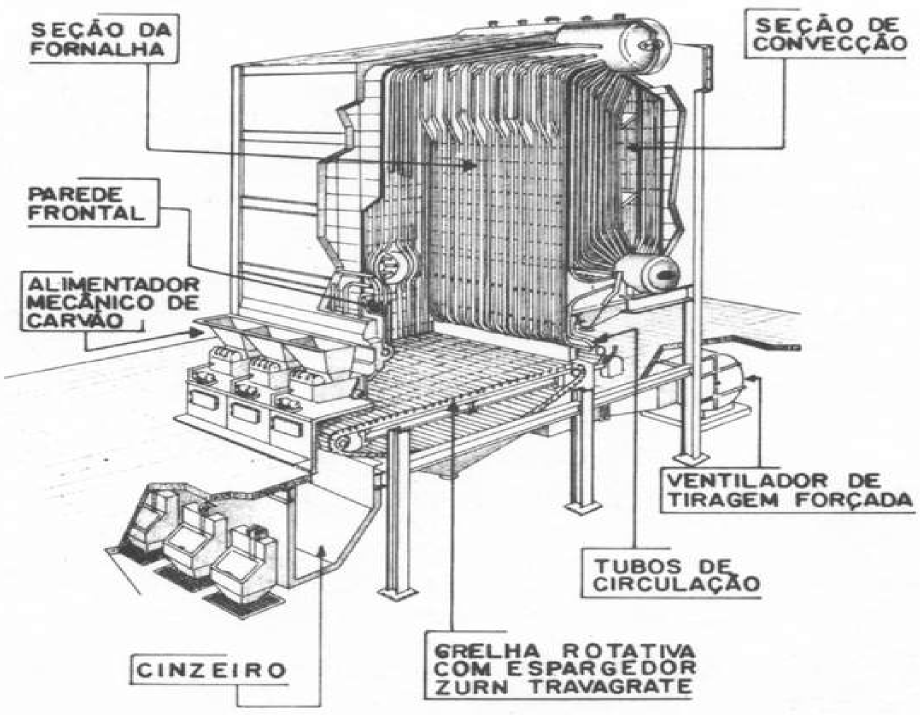

Traseira com topo molhado,
dois passes,
queimador de óleo ou gás


Traseira seca,
dois passes,
queimador a óleo ou gás
fornalha corrugada


Traseira Seca,
dois passes,
queimador de combustível sólido

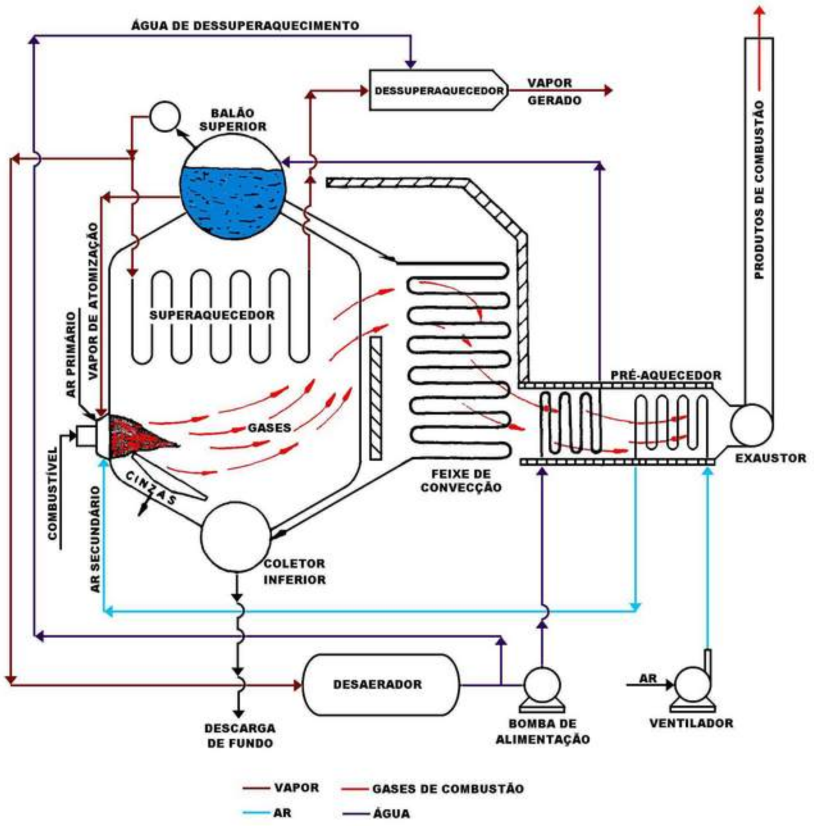

Traseira seca,
tres passes,
queimador de óleo ou gás

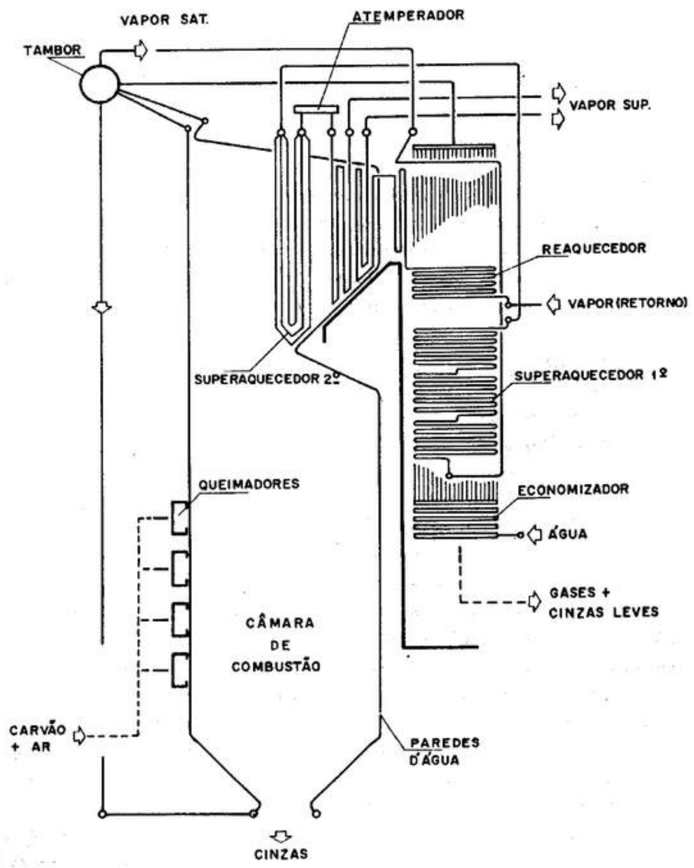

Traseira seca,
tres passes,
queimador de óleo ou gás



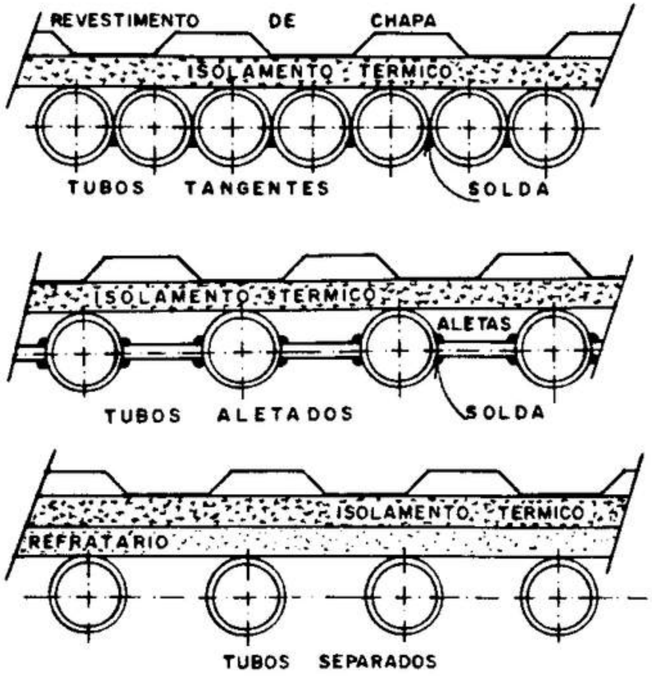
Caldeira DEDINI ZURN - Modelo "VC"


RIPASA

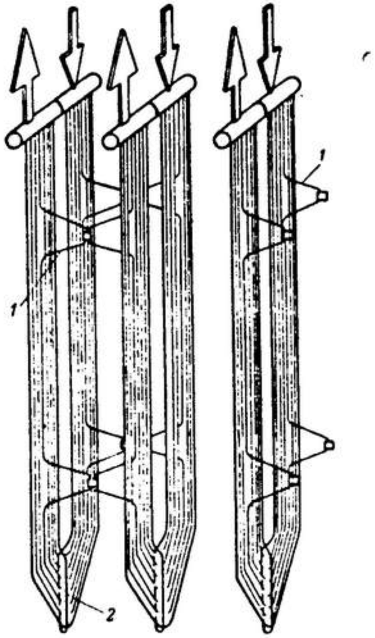

ÁGUA DE DESSUPERAQUECIMENTO
DESSUPERAQUECEDOR
VAPOR GERADO
PRODUTOS DE COMBUSTÃO
BALÃO SUPERIOR
SUPERAQUECEDOR
VAPOR DE ATOMIZAÇÃO
AR PRIMÁRIO
GASES
CINZAS
COMBUSTÍVEL
AR SECUNDÁRIO
FEIXE DE CONVECÇÃO
PRÉ-AQUECEDOR
EXAUSTOR
COLETOR INFERIOR
DESAERADOR
DESCARGA DE FUNDO
BOMBA DE ALIMENTAÇÃO
AR
VENTILADOR
VAPOR
GASES DE COMBUSTÃO
AR
ÁGUA

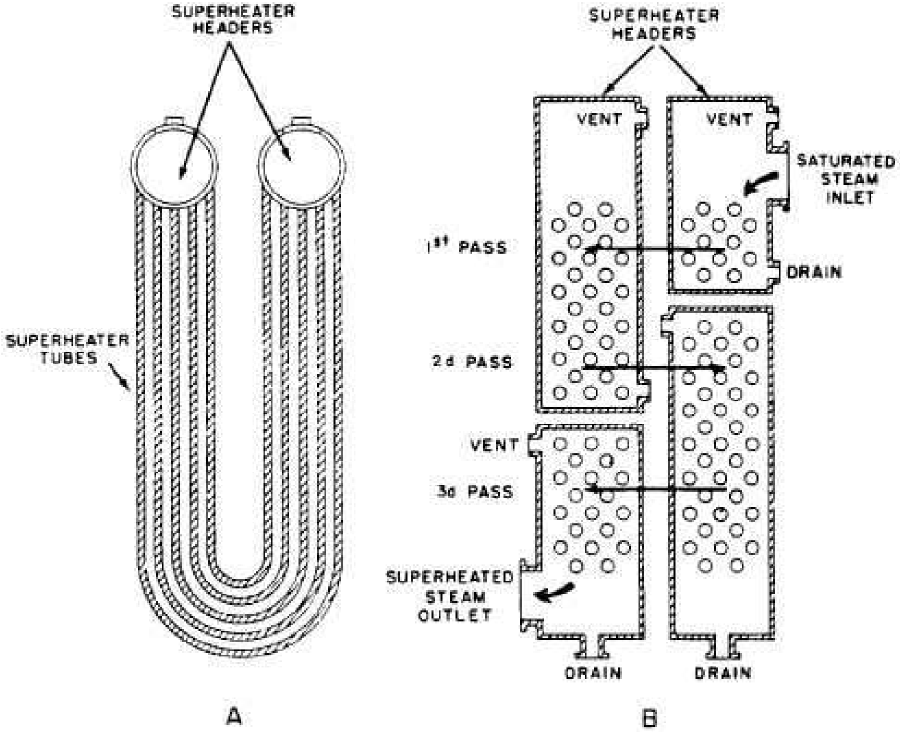

VAPOR SAT.
ATEMPERADOR
TAMBOR
VAPOR SUP.
REAQUECEDOR
VAPOR (RETORNO)
SUPERAQUECEDOR 2º
SUPERAQUECEDOR 1º
QUEIMADORES
ECONOMIZADOR
ÁGUA
GASES + CINZAS LEVES
CÂMARA DE COMBUSTÃO
CARVÃO + AR
PAREDES D'ÁGUA
CINZAS

Configurações de
tubos formando
a parede da fornalha

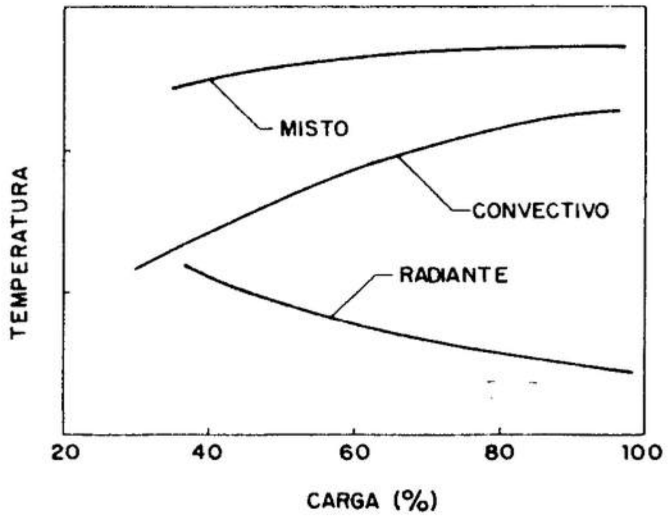


SUPERAQUECEDOR

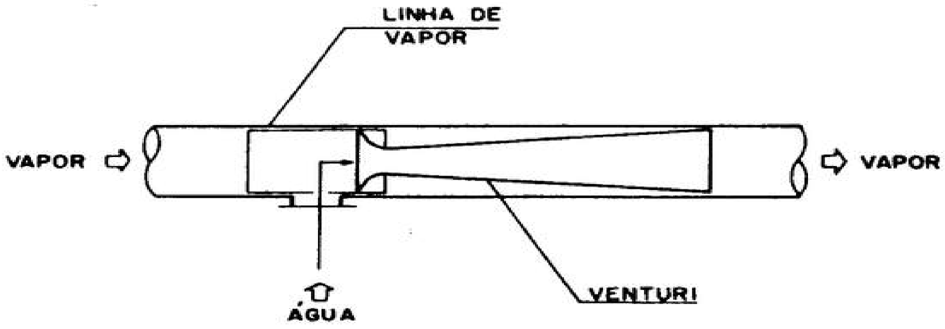




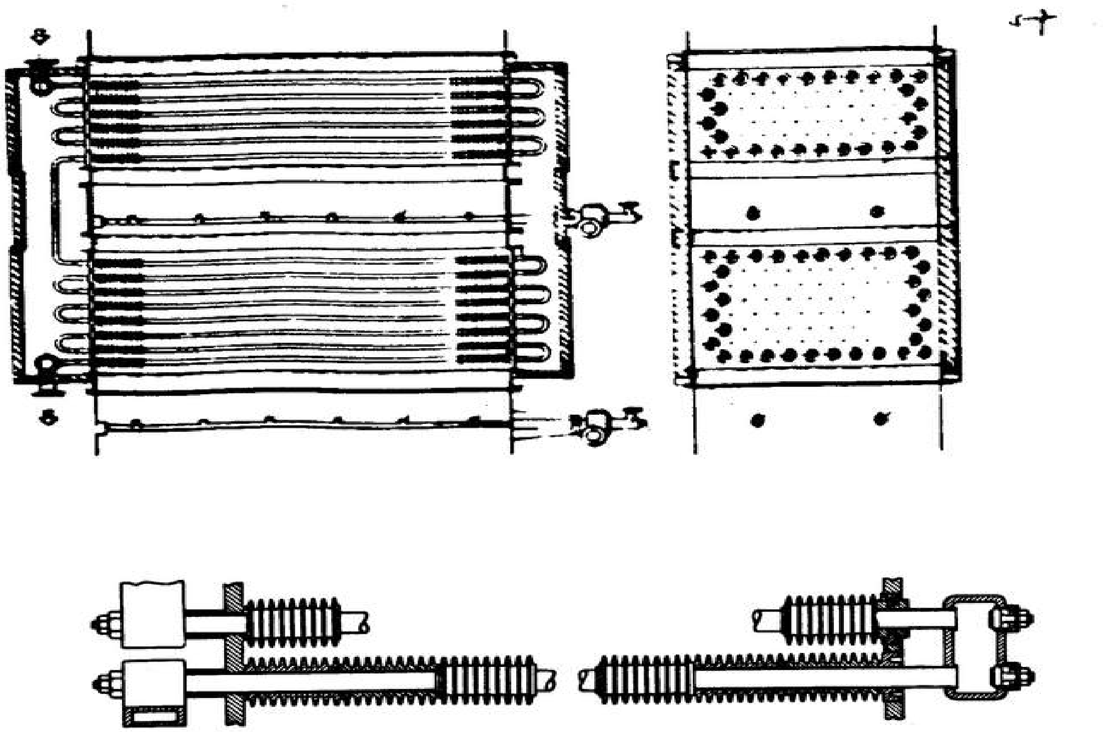
comportamento de superaquecedor em função da carga do gerador de vapor



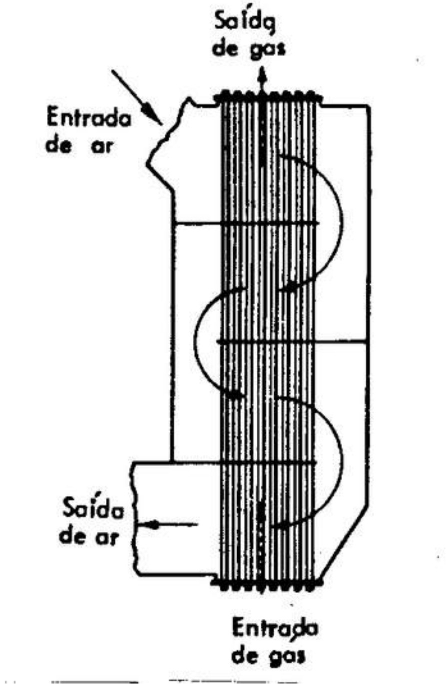
Dessuperaquecedor

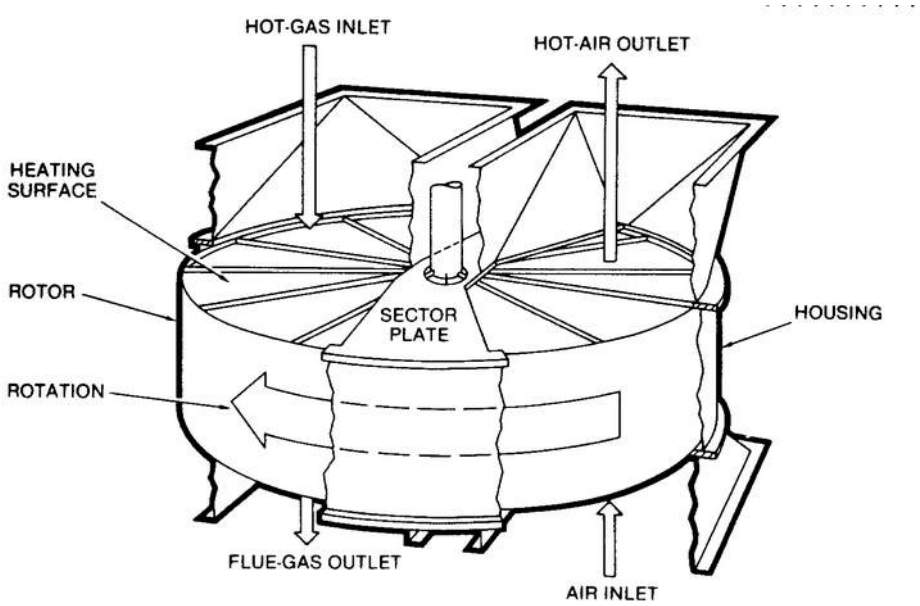


Economizador



PRÉ-AQUECEDOR DE AR

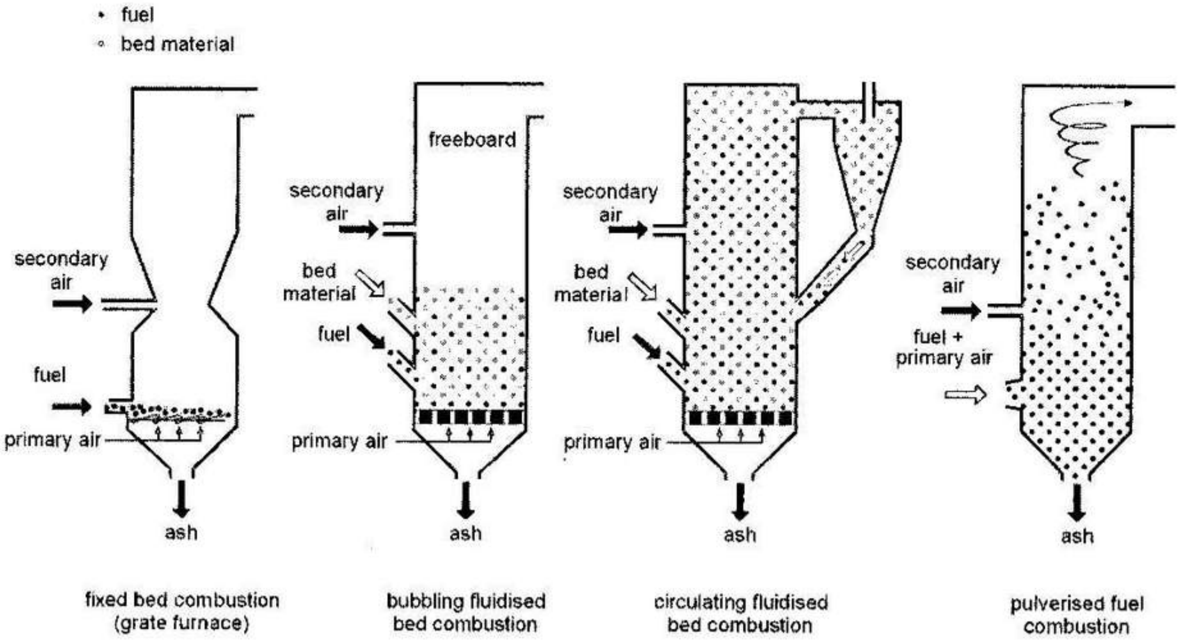




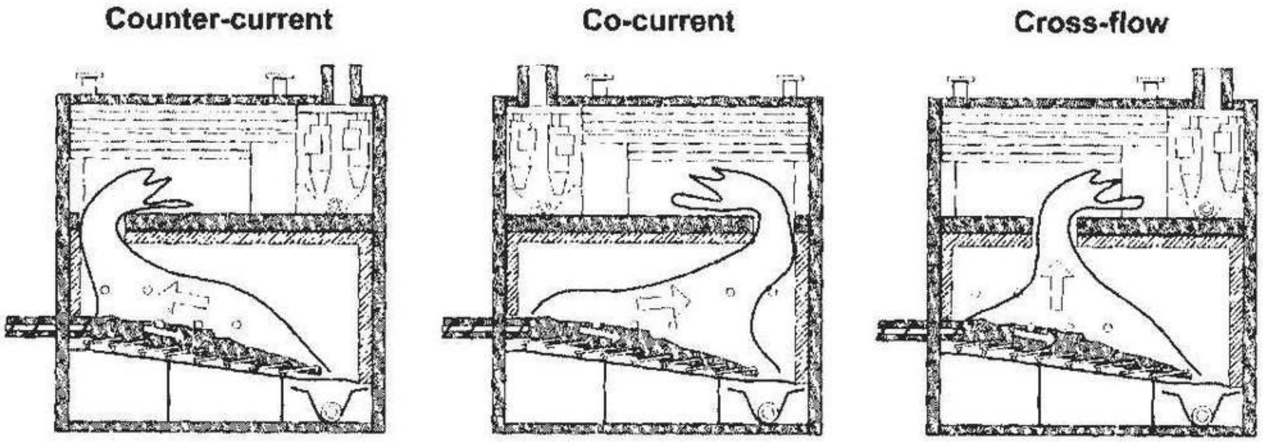
tubular

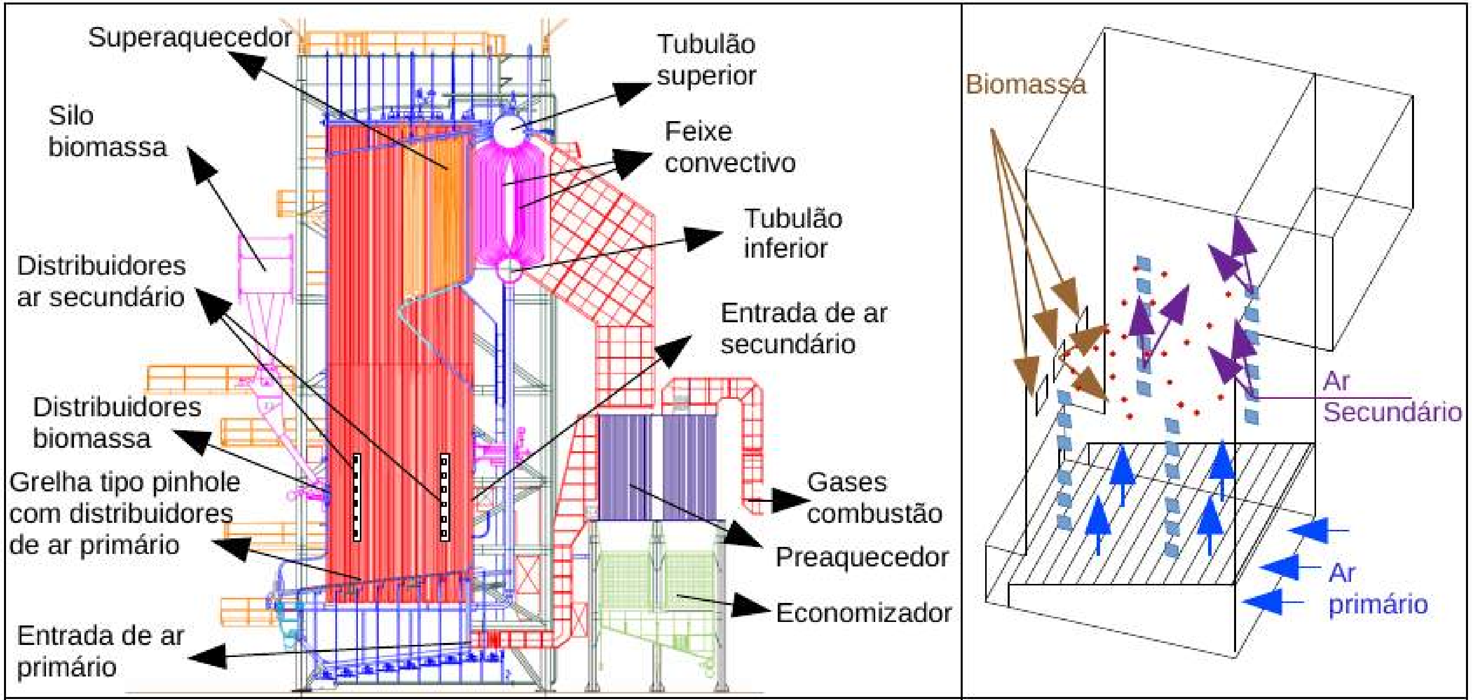
regenerativo

SISTEMAS DE COMBUSTÃO PARA SÓLIDOS



Classificação de sistemas de combustão em leito fixo

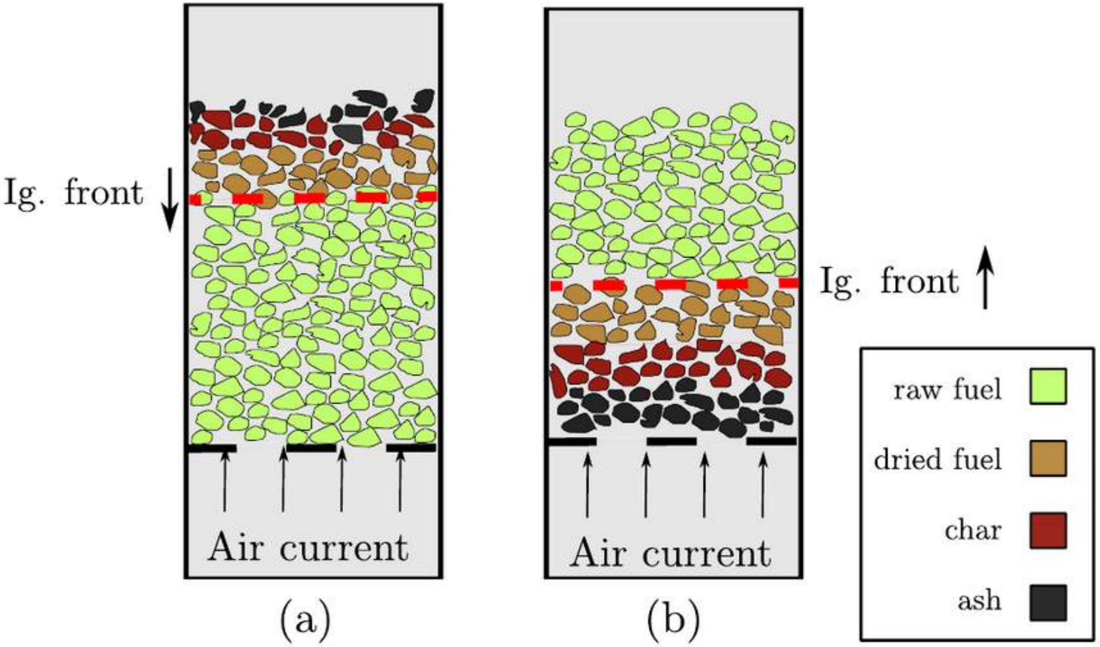




a- Diagrama geral da caldeira

b- Distribuição de ar e biomassa no queimador.

Modelo e processo de combustão em leito fixo



(a) contra-corrente: ar e frente de ignição em sentidos opostos: **ignição** no topo do leito
(b) co-corrente: ar e frente de ignição no mesmo sentido: **ignição** na parte inferior do leito

Modelo e processo de combustão em leito fixo

- Contra-corrente (calor X fluxo de ar)
- Radiação da câmara aquece o topo do leito

- Co-corrente (calor X fluxo de ar)
- Camada inferior do leito é aquecido devido à condução de calor nas barras da grelha

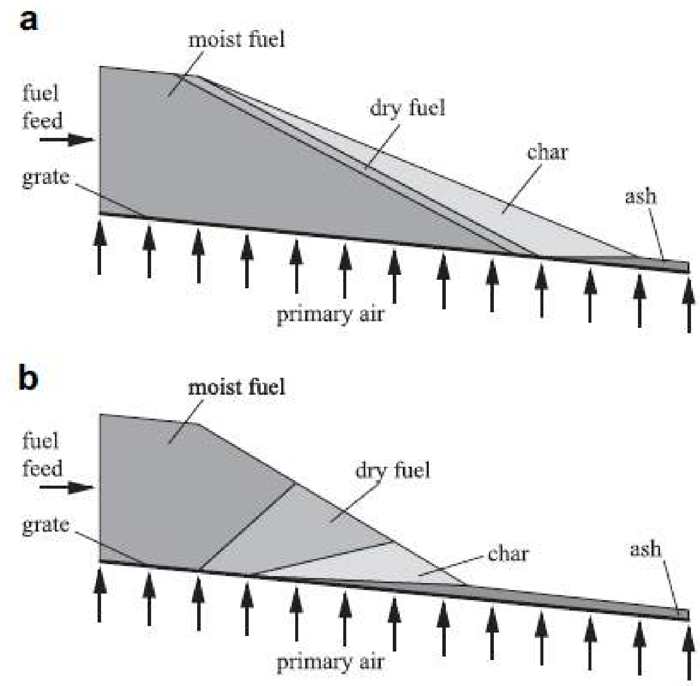


Fig. 1 – Different combustion behaviours: (a) counter-current with ignition at the top of the bed; (b) co-current with ignition at the bottom of the bed.

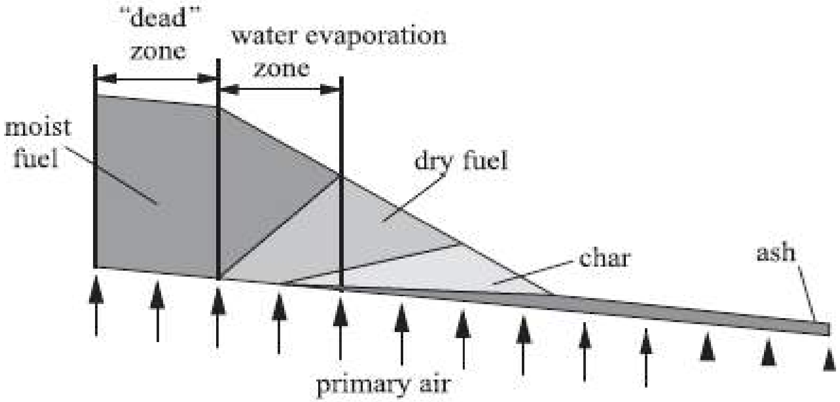


Fig. 3 – Water evaporation zone in co-current combustion.

Modelo co-corrente

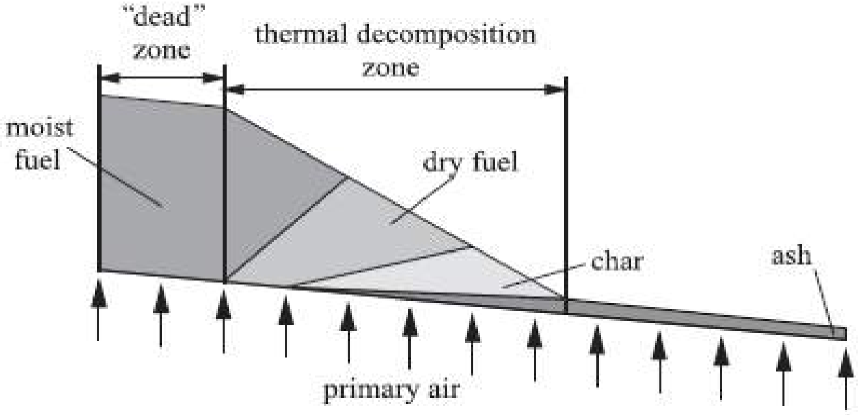


Fig. 4 – Thermal decomposition zone in co-current combustion.

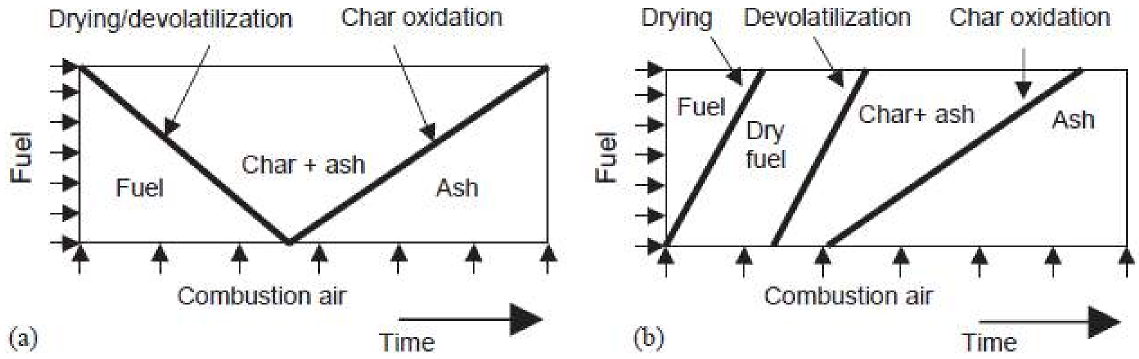


Fig. 4. Schematic illustration of the two suggested combustion modes.

- Baixo fluxo de ar primário
- Baixa temperatura do ar primário
- Frente de reação determinada pela radiação dos gases da câmara de combustão

- Alto fluxo de ar primário
- Alta temperatura do ar primário
- Frente de reação determinada pela devolatilização das camadas inferiores
- Combustão do voláteis no leito aquece as camadas superiores

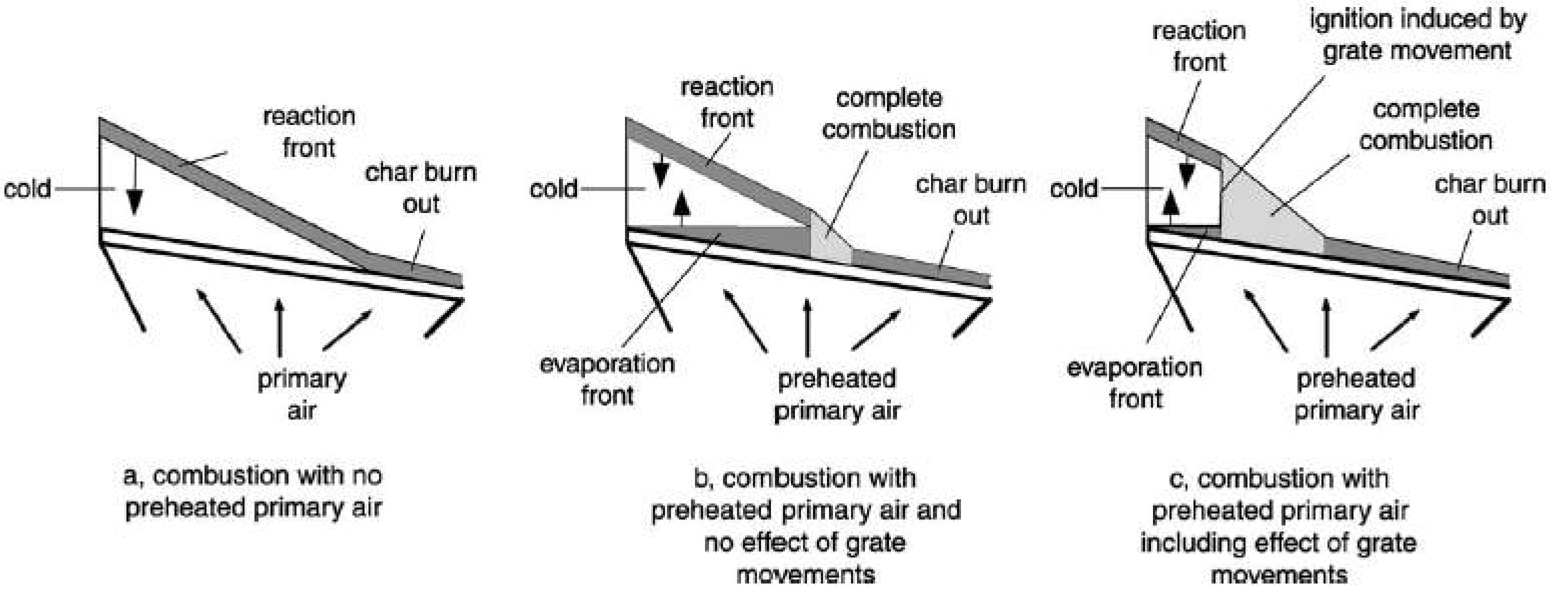


Fig. 3. Different combustion regimes in dependence of primary air temperature and grate movements.

Efeito do pré-aquecimento do ar primário

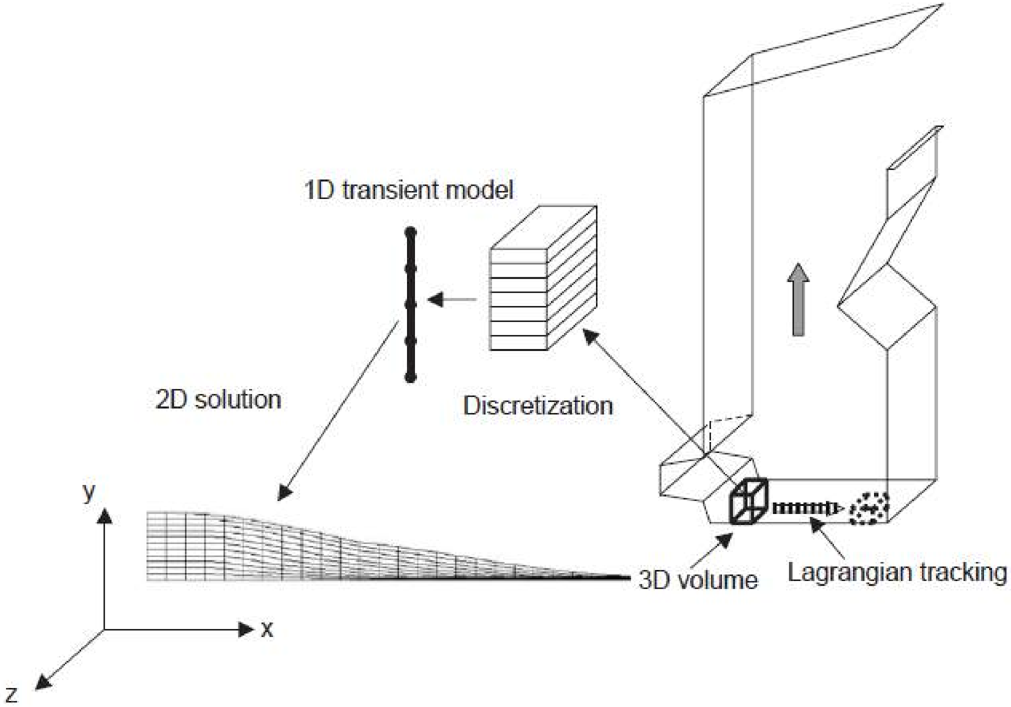


Fig. 1. Schematic of the fuel bed discretization used in the numerical model. Large arrows indicate overall flow direction.

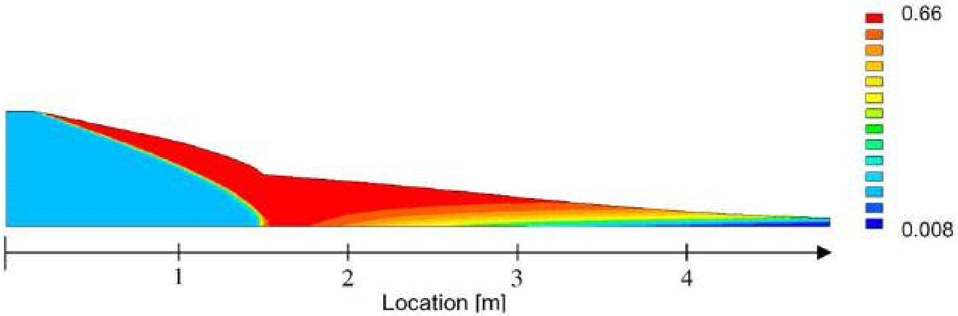


Fig. 13. Two-dimensional illustration of fuel bed char content. Only the first 5 m of the grate is included, as char burnout has almost completed at that point.

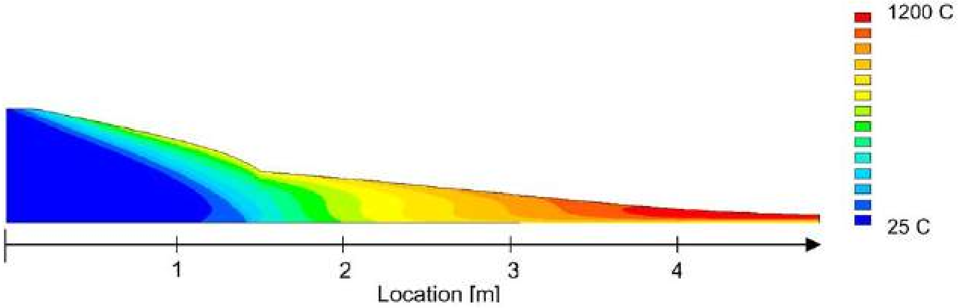
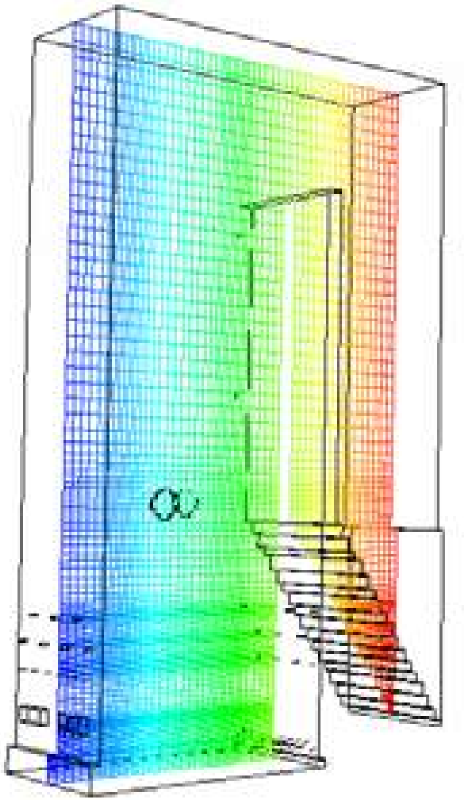
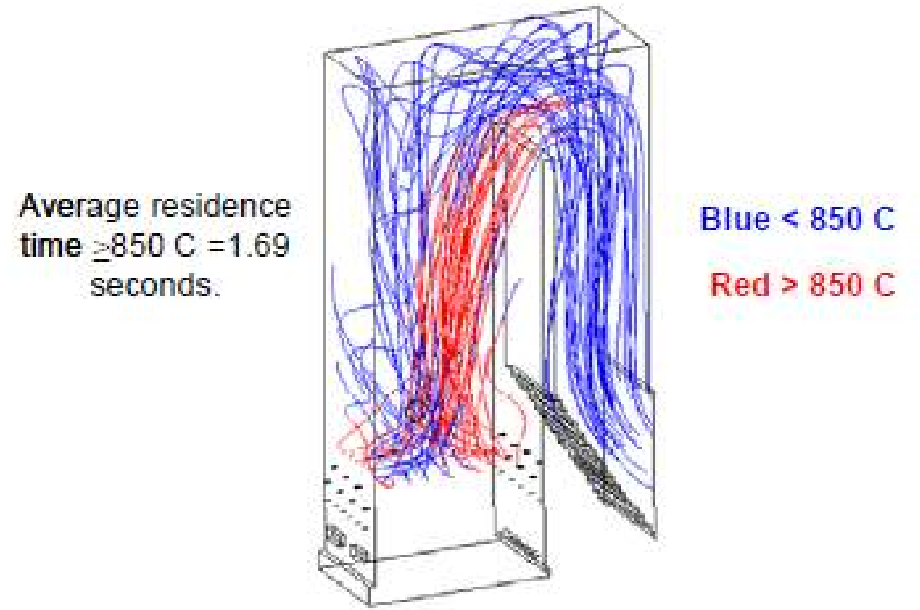
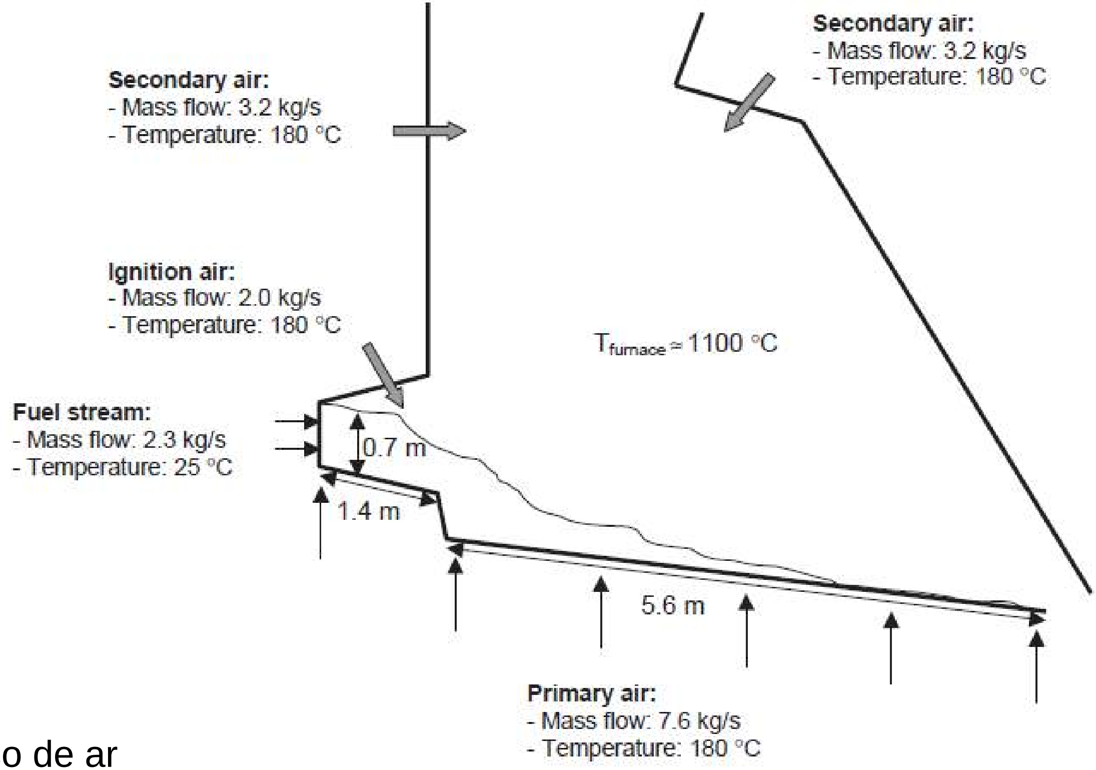


Fig. 14. Two-dimensional illustration of fuel layer temperature. Again only the first 5 m of the grate is included.

Simulação em CFD – computacional fluid dynamics

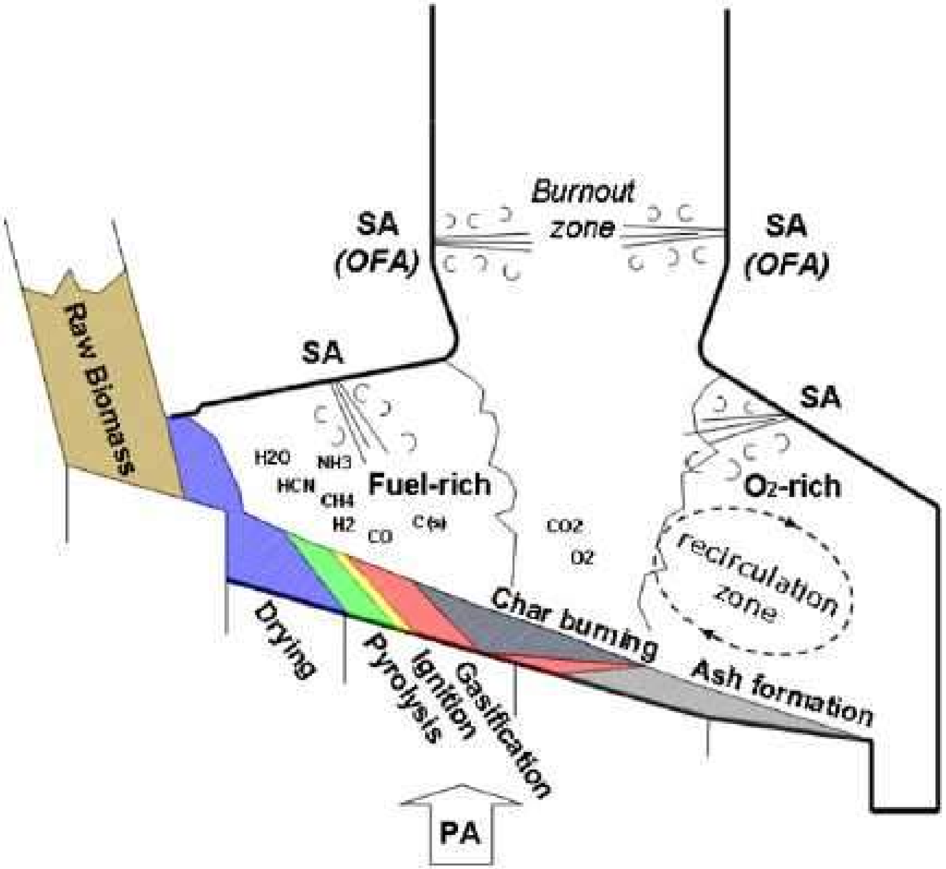




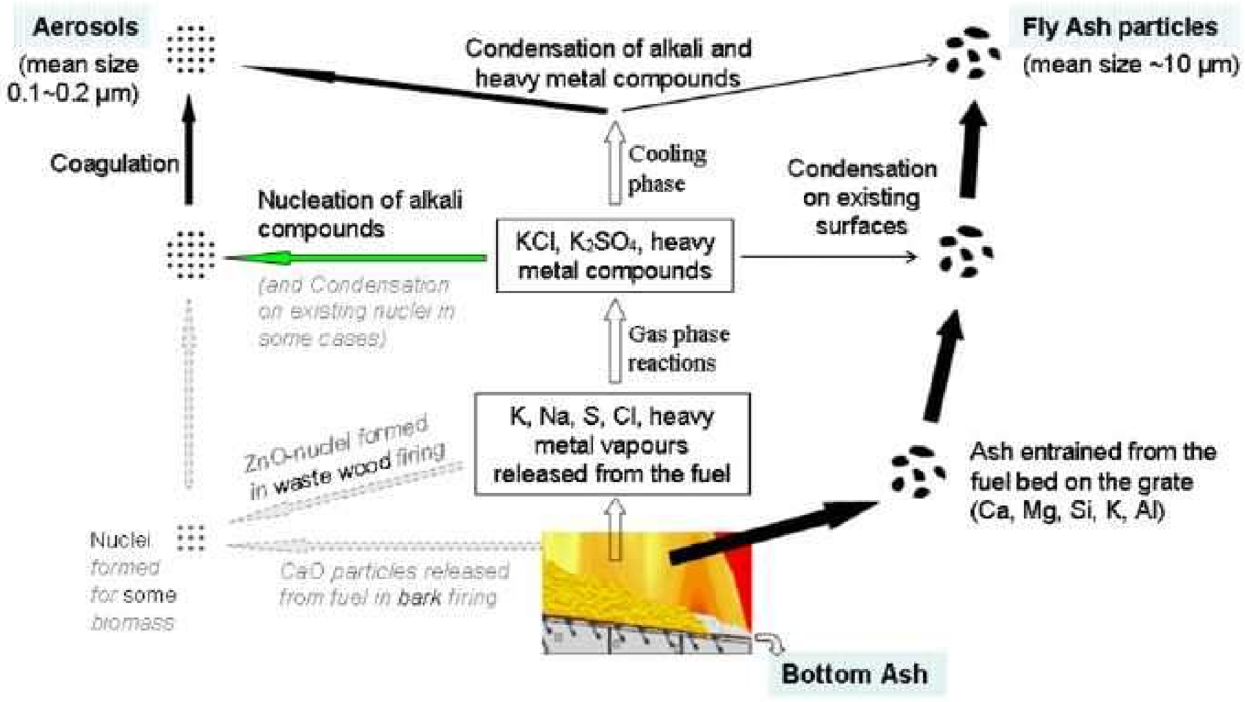


Ar total: 16 kg/s
~40 a 50% excesso de ar

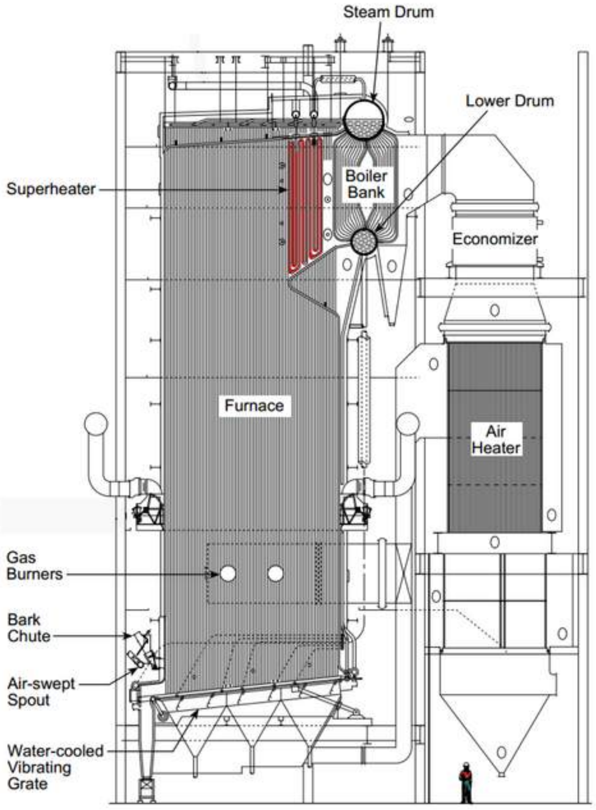
fenômenos de combustão em grelha



Formação de cinzas volantes e aerossóis na combustão em grelha



Desafios tecnológicos da utilização de biomassa residual como fonte de energia: impurezas minerais



Screen tubes BEFORE operation

Screen tubes AFTER approx. 14 days of operation

(Tobiasen, L., et al, 2007)

A composição dos inorgânicos na biomassa afeta o comportamento do combustível no interior da fornalha.

Depositos no superaquecedor reduz a eficiencia da caldeira e pode provocar corrosão, dependendo da composição dos minerais da biomassa.

Depósitos de cinzas devido à potássio, sódio e enxôfre

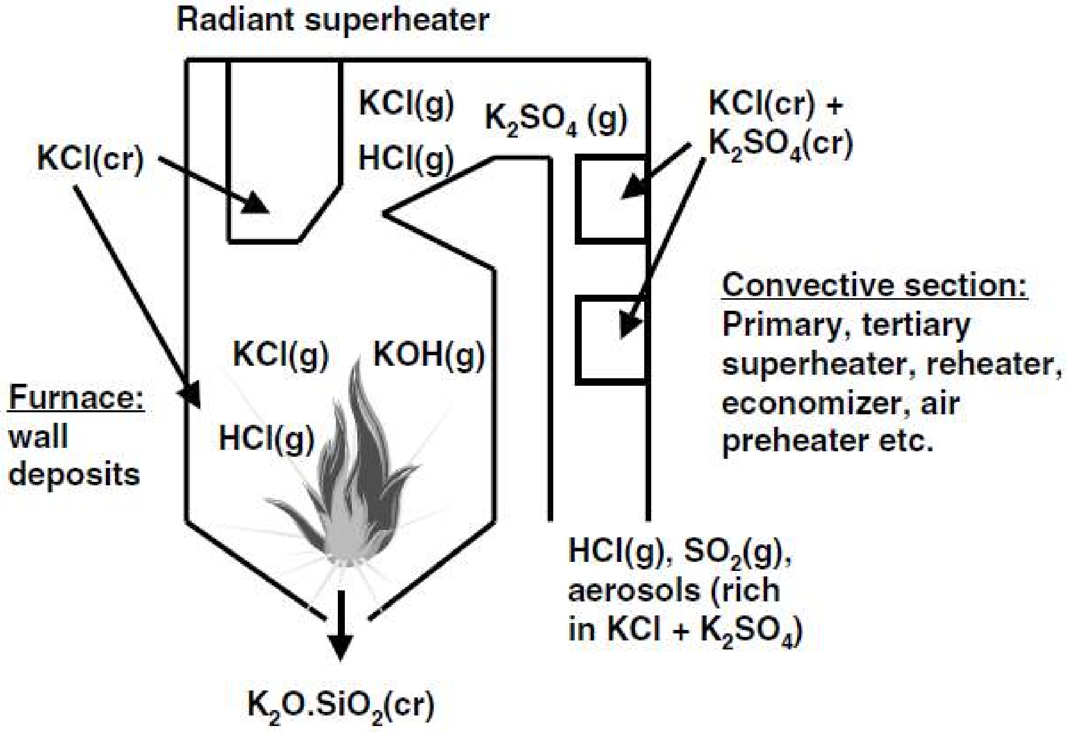


Fig. 1. Principal pathways of potassium, sulfur and chlorine in a biomass-fired boiler.

Possível mecanismo de corrosão devido ao cloro

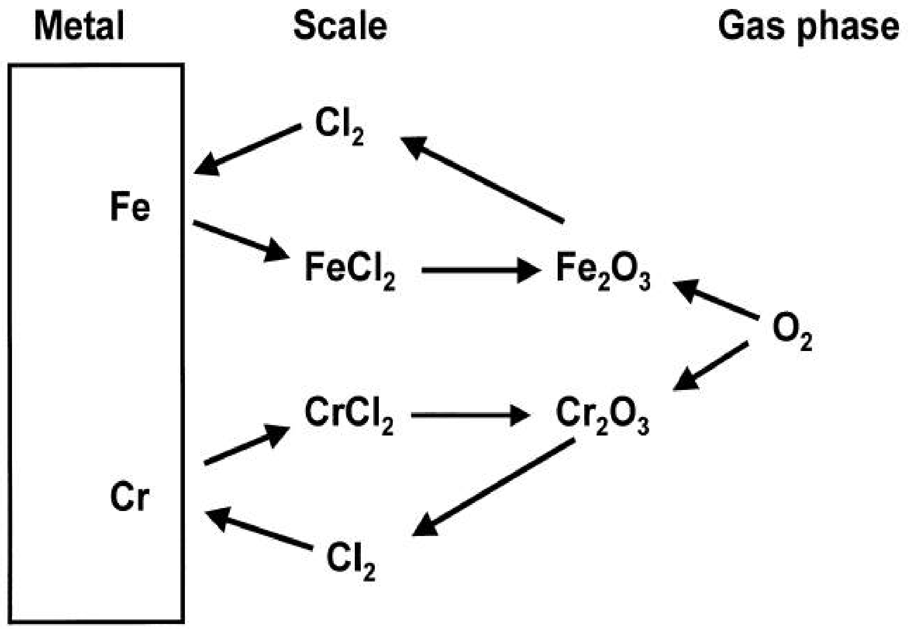
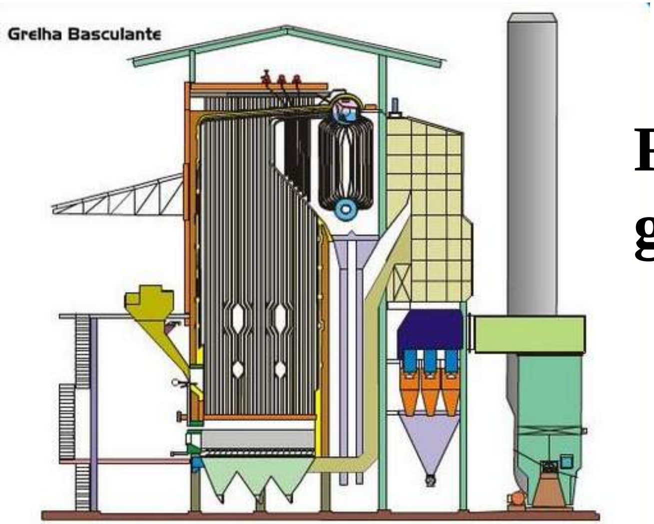
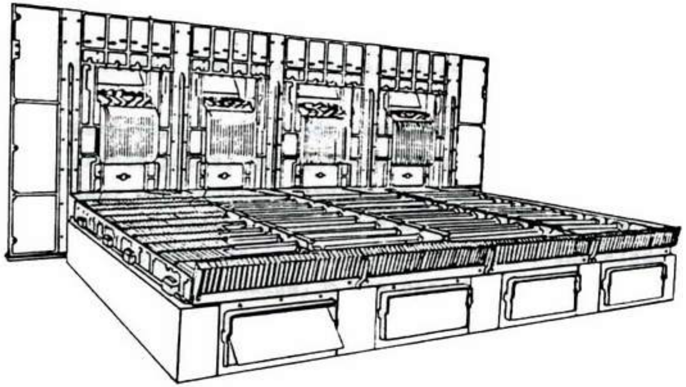


Fig. 4. Schematic drawing of corrosion caused by $Cl_2(g)$.

Tipos de grelhas



Fornalha com grelha basculante

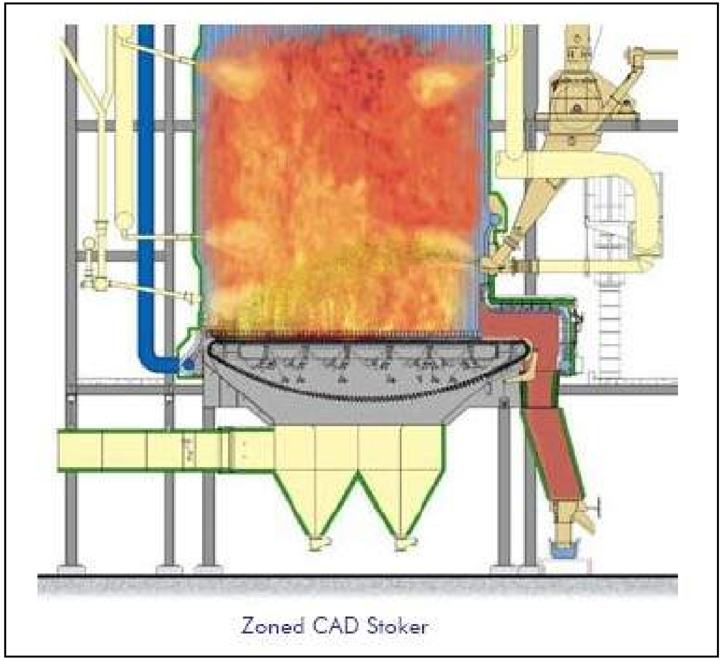


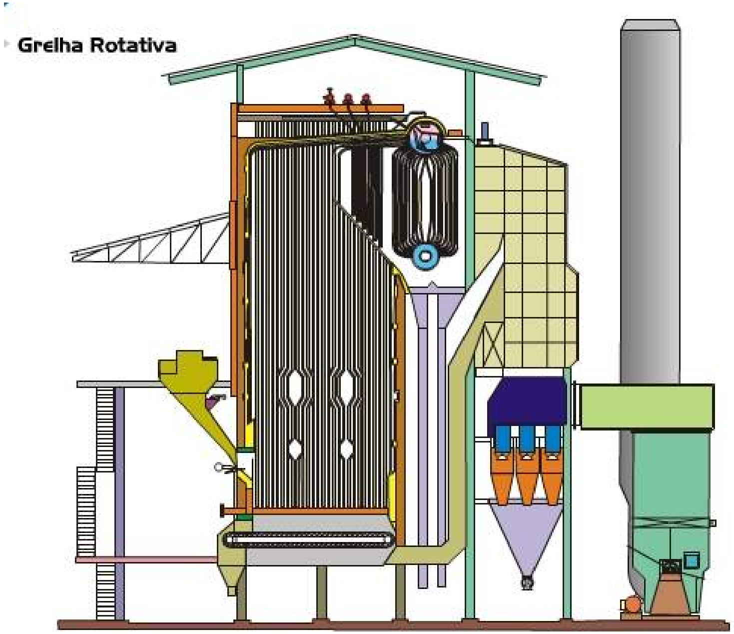
Barras da grelha tombam para limpeza

Operação manual

~82% of das caldeiras de bagaço no Brasil

Fornalha com grelha rotativa

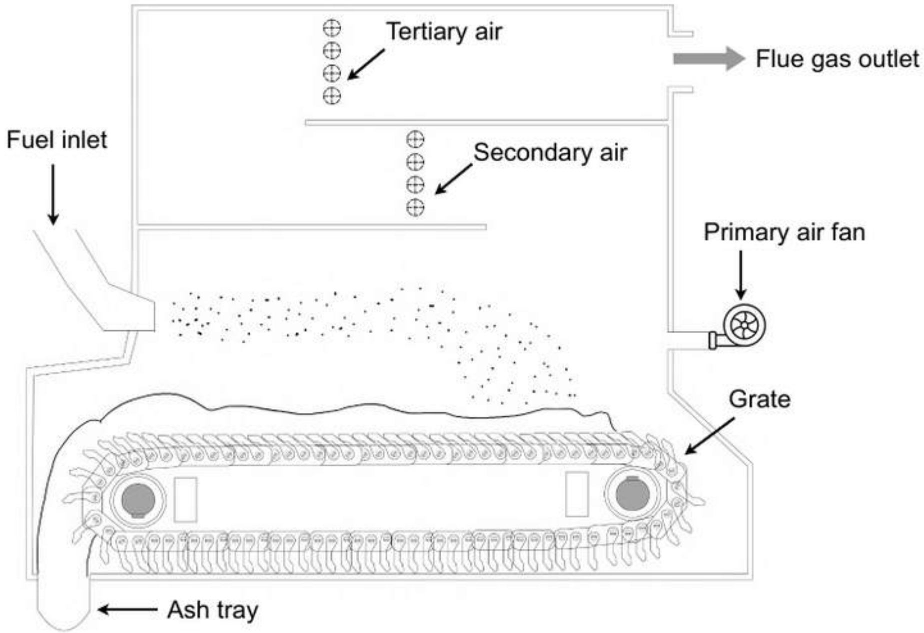


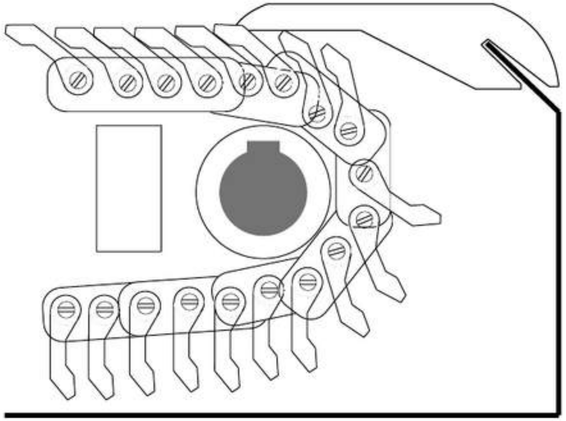


Grelha rotativa, derivada das caldeiras de carvão mineral

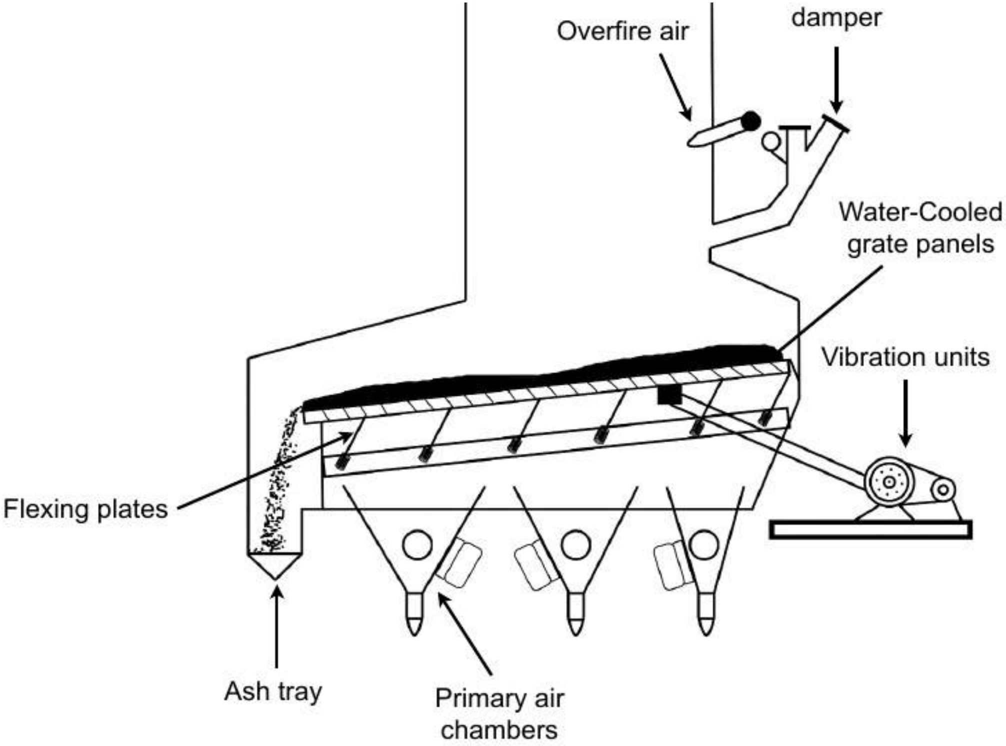
~7% das caldeiras de bagaço no Brasil
Muito usada para cavaco de madeira e cascas

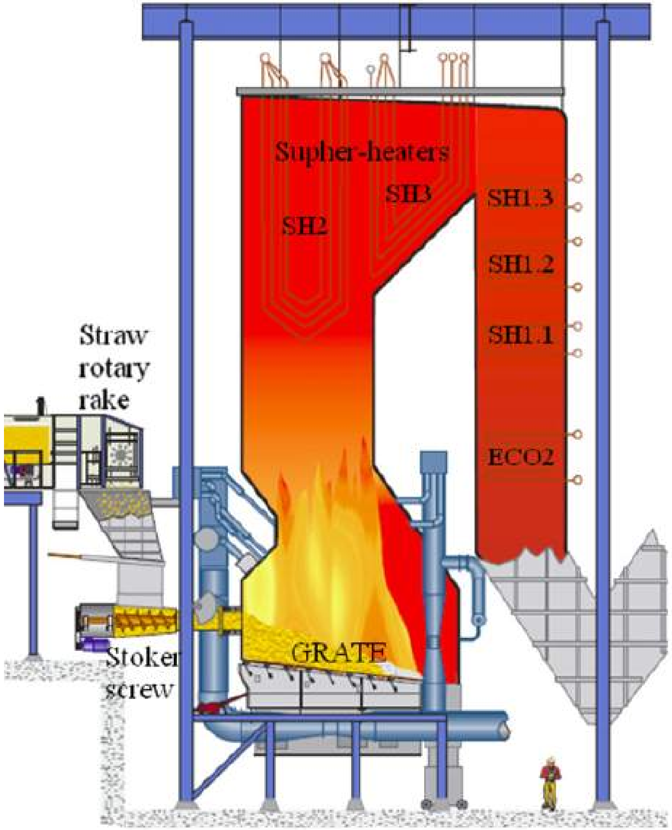
grelha rotativa

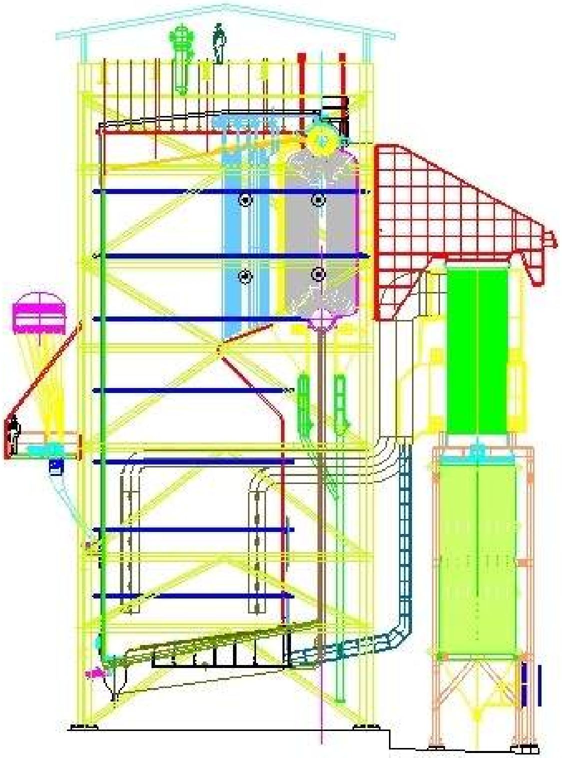




grelha vibratória







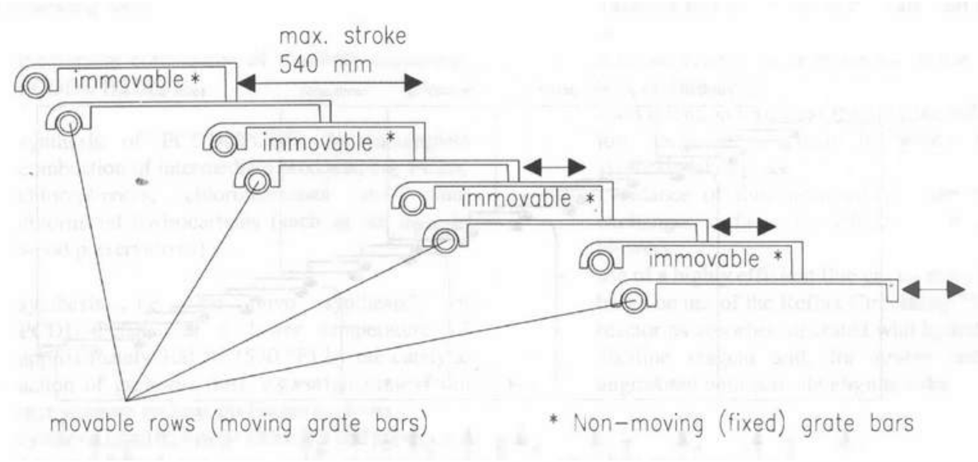
Grelha “pin-hole” apoiada sobre tubos de água da caldeira

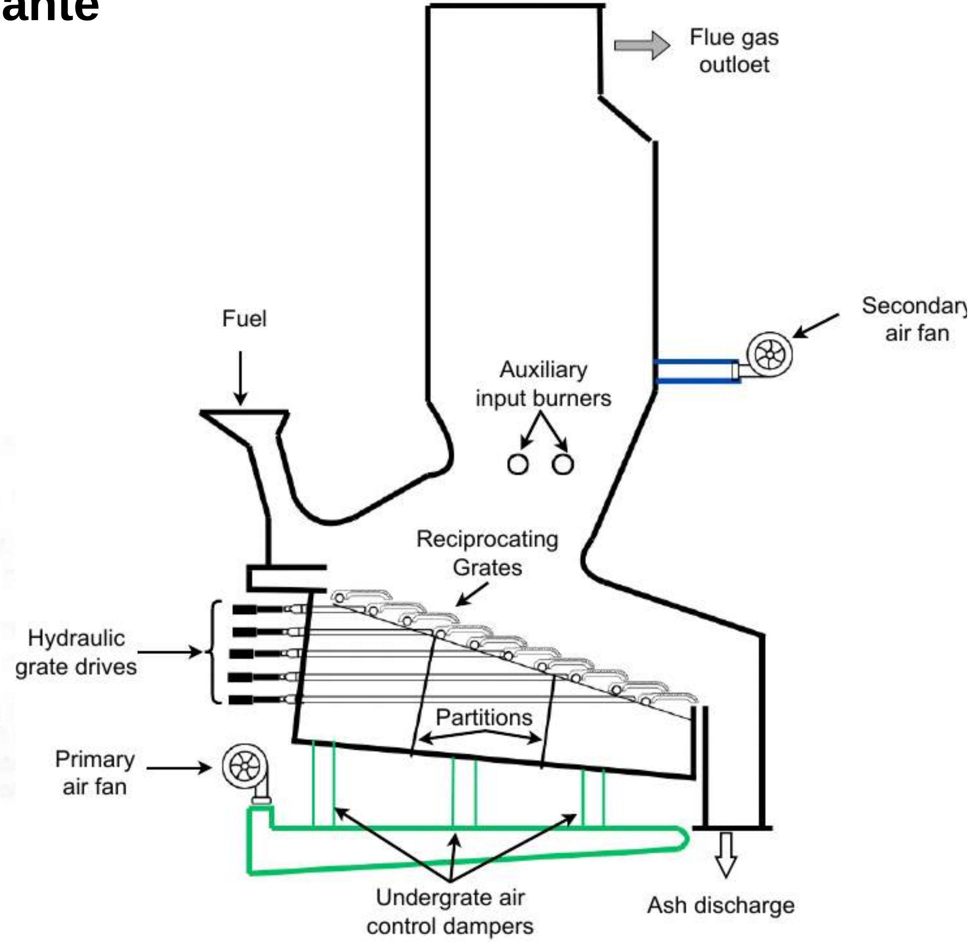
Pin-hole: jato de vapor para limpeza da grelha

~5% das caldeiras de vapor no Brasil, sua utilizaçção tem aumentado nos últimos anos

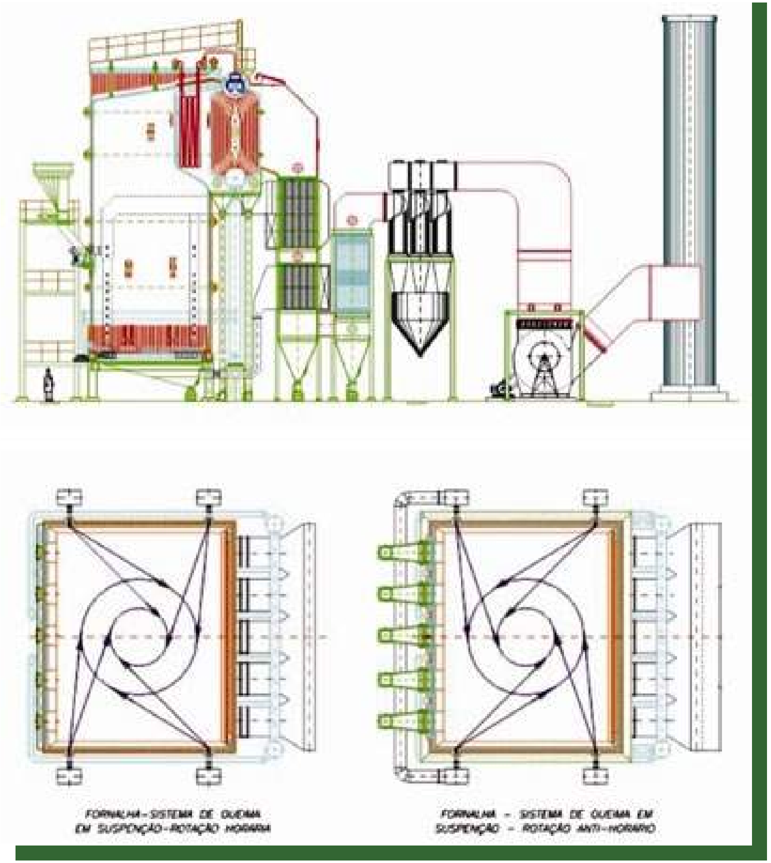
grelha reciprocante

- barras da grelha se movimentam empurrando a biomassa em direção ao cinzeiro





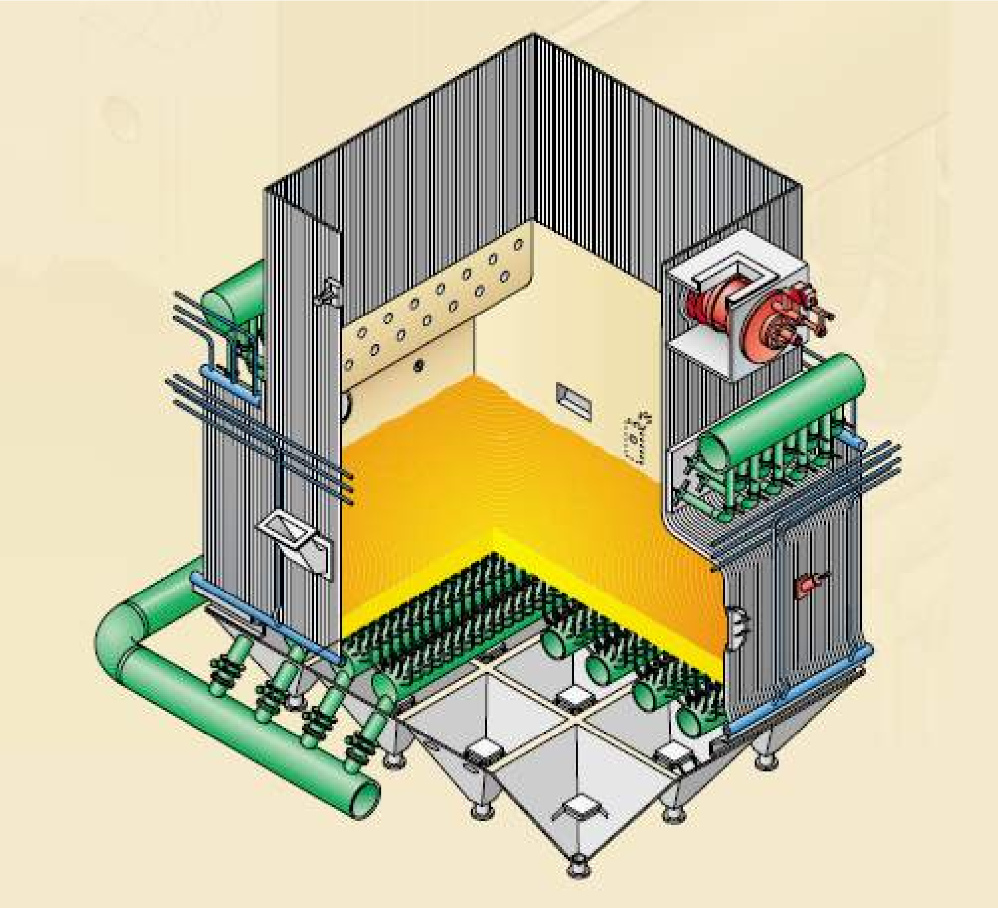
Fornalha com queima em suspensão



Queima em suspensão, derivada das caldeiras de carvão mineral pulverizado

Apenas ~1% das caldeiras de bagaço no Brasil
Utilizada em caldeiras a carvão mineral

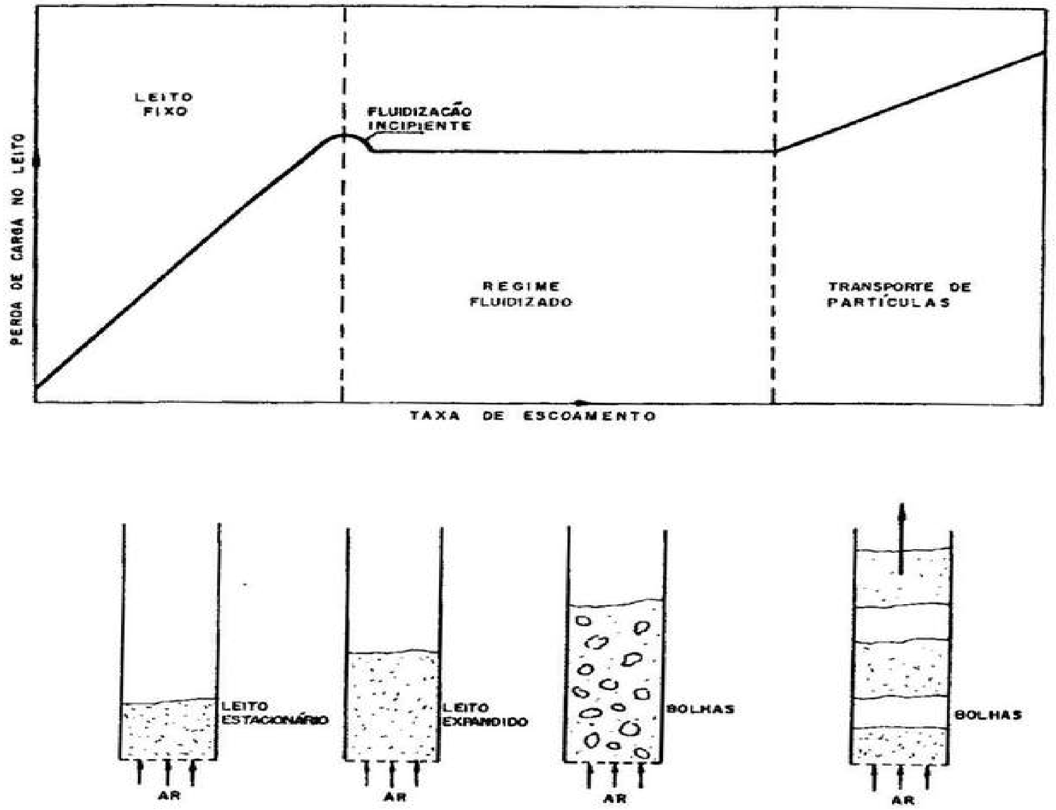
Fornalha de leito fluidizado

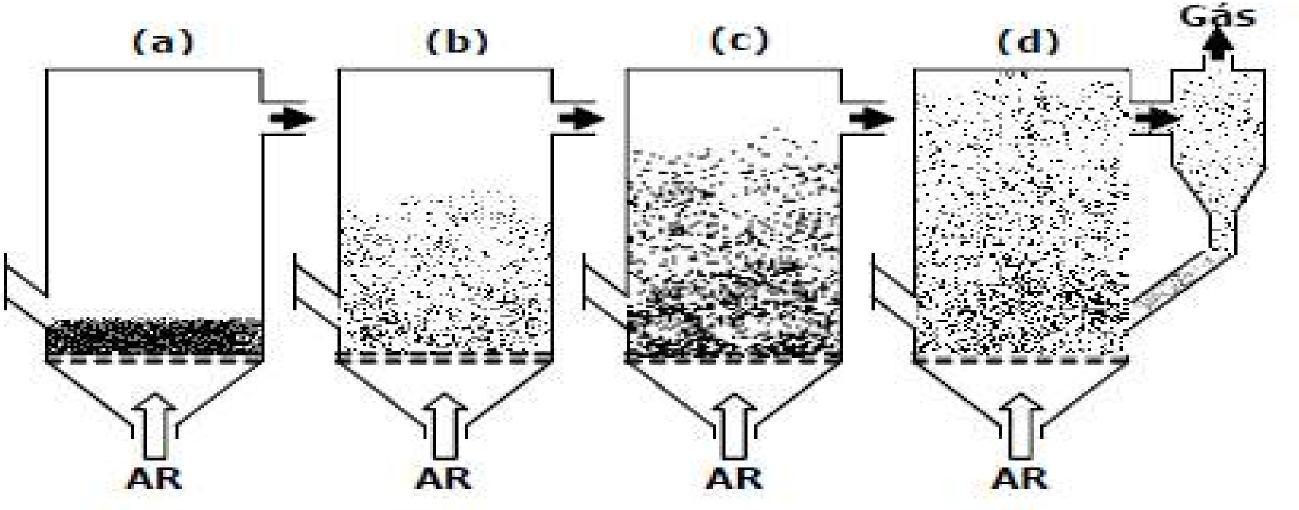


Leito fluidizado borbulhante

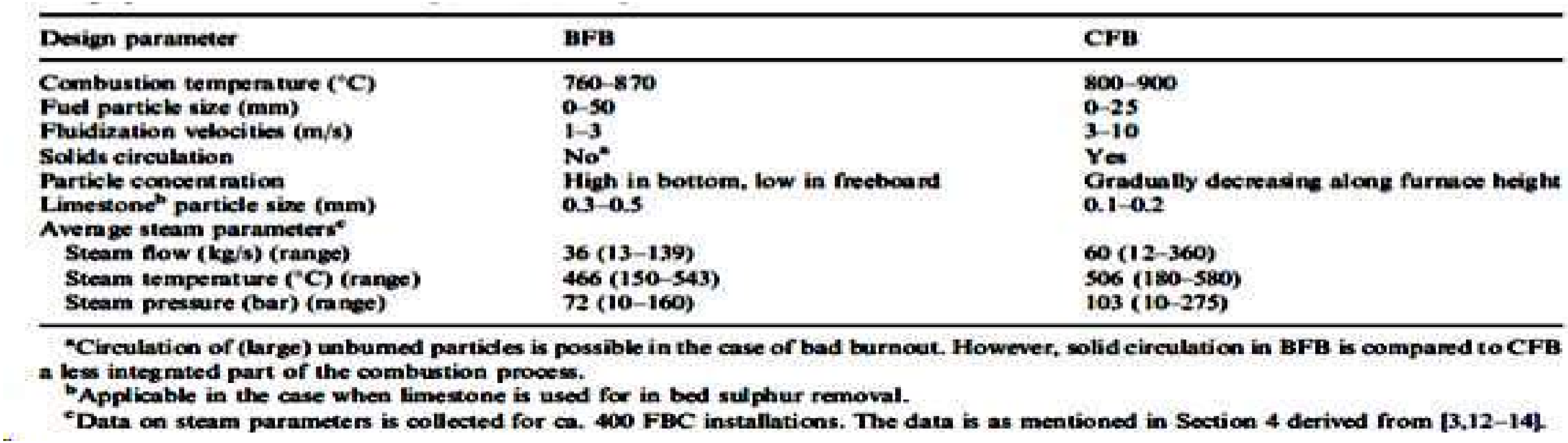
Utilizada em caldeiras de bagaço,
de cavacos de madeira, carvão mineral

Combustão em leito fluidizado





Regimes de fluidização



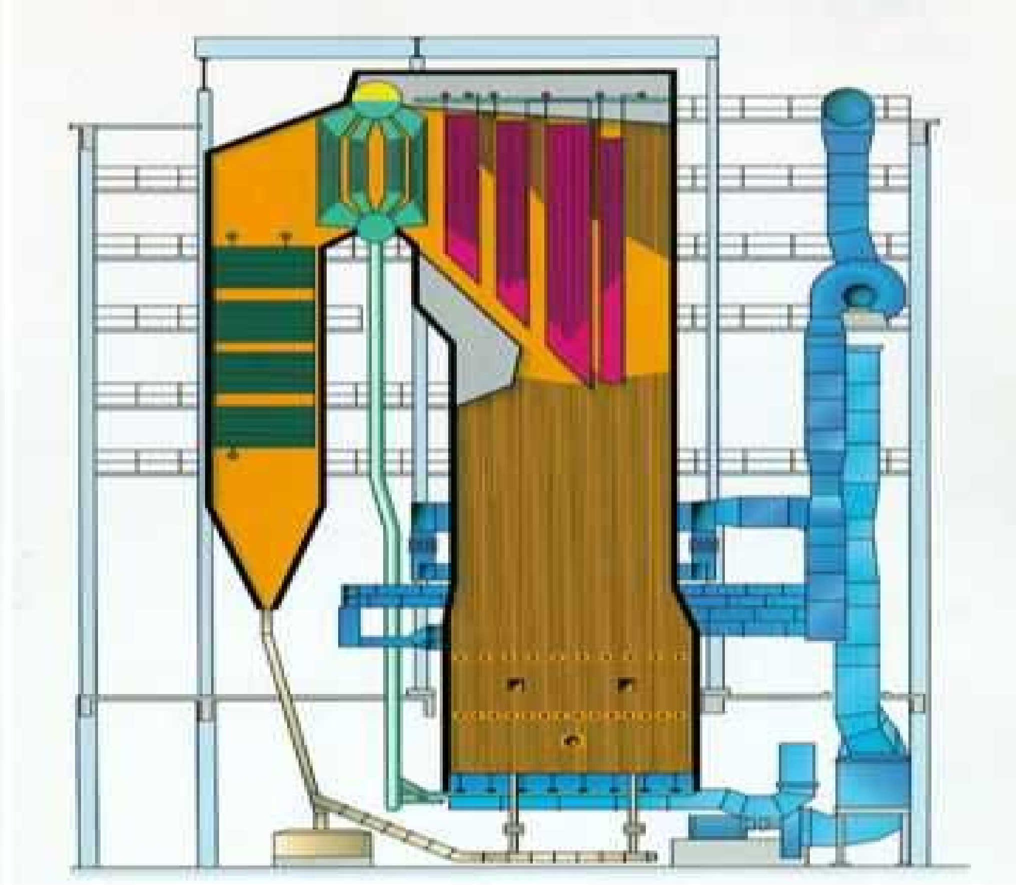
Design parameter	BFB	CFB
Combustion temperature (°C)	760–870	800–900
Fuel particle size (mm)	0–50	0–25
Fluidization velocities (m/s)	1–3	3–10
Solids circulation	No[a]	Yes
Particle concentration	High in bottom, low in freeboard	Gradually decreasing along furnace height
Limestone[b] particle size (mm)	0.3–0.5	0.1–0.2
Average steam parameters[c]		
Steam flow (kg/s) (range)	36 (13–139)	60 (12–360)
Steam temperature (°C) (range)	466 (150–543)	506 (180–580)
Steam pressure (bar) (range)	72 (10–160)	103 (10–275)

[a] Circulation of (large) unburned particles is possible in the case of bad burnout. However, solid circulation in BFB is compared to CFB a less integrated part of the combustion process.

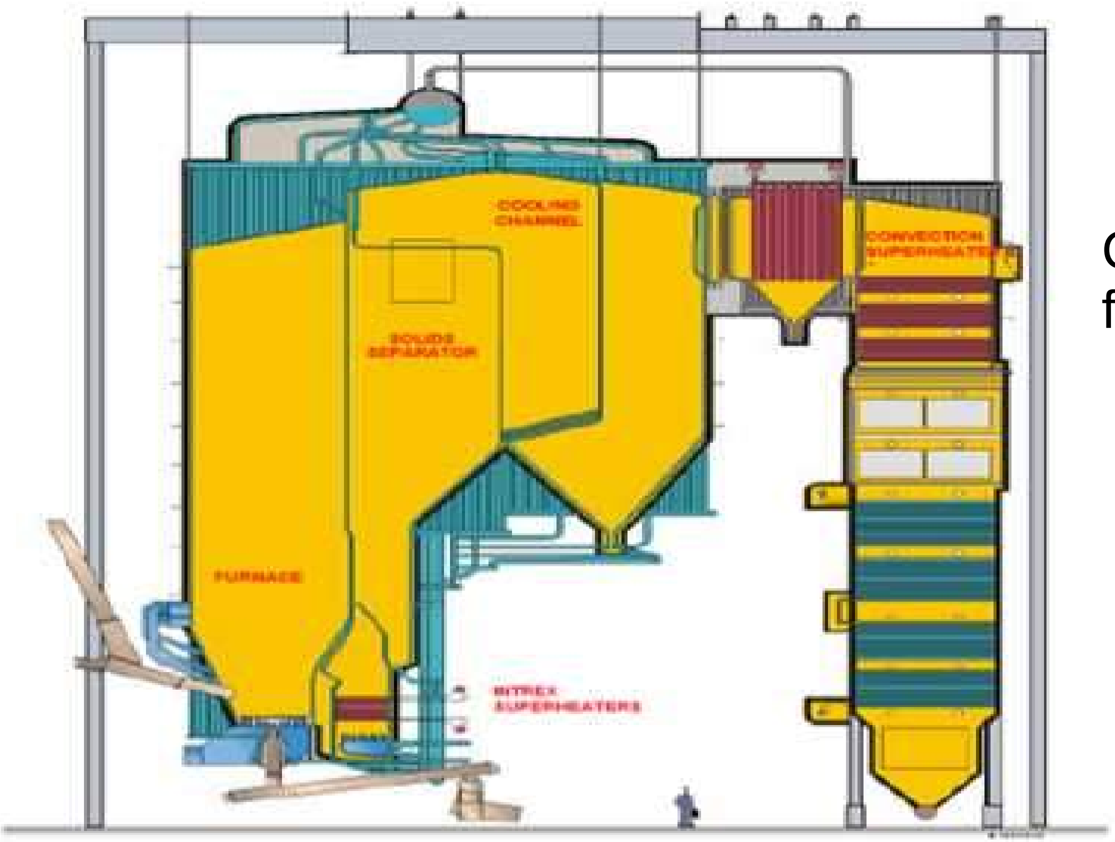
[b] Applicable in the case when limestone is used for in bed sulphur removal.

[c] Data on steam parameters is collected for ca. 400 FBC installations. The data is as mentioned in Section 4 derived from [3,12–14].

Principais parâmetros para caldeiras de leito fluidizado borbulhante (BFB) e de leito fluidizado circulante (CFB)



Caldeira de leito
fluidizado
borbulhante



Caldeira de leito fluidizado circulante