

Tabela 8.1 – Utilizações para materiais que foram recuperados dos RSU

Utilização/aplicação	Observações
Reutilização directa	Muitos dos materiais separados dos RSU podem ser reutilizados directamente. Exemplos de tais materiais incluem móveis velhos, paletes de madeira, baterias, mobília, etc. Sempre que possível, deve encorajar-se a reutilização directa.
Materiais em bruto para retransformação e reprocessamento	Na tabela 8.2 apresentam-se especificações para 8 materiais diferentes provenientes de resíduos municipais. Detalhes específicos, tais como a pureza, densidade, e condições de embalagem do produto devem ser discutidas com cada comprador potencial. Sempre que possível, é benéfico desenvolver uma gama de especificações dos produtos e preço dos produtos. Desta forma, os custos de processamento para atingir um produto de elevada qualidade podem ser avaliados no que diz respeito ao preço mais elevado do mercado alcançável para o produto de qualidade mais elevada.
Material para produção de produtos de conversão biológica e química	Muitas comunidades decidiram atingir os seus objectivos de desvio produzindo composto que pode ser comercializado directamente, dado aos residentes da comunidade, utilizado na cidade (e.g. áreas verdes protegidas, divisores de auto-estradas, etc.), ou usado como cobertura intermédia de aterros. Cada uma destas utilizações requer uma qualidade de composto diferente, especialmente no que diz respeito ao tipo e quantidade de materiais contaminantes que podem estar presentes (e.g. plástico, peças de metal, etc.). A produção de metano em reactores controlados, etanol, e outros compostos orgânicos exigirá que os materiais que constituem a fracção orgânica dos RSU sejam separados dos RSU misturados.
Fonte de combustível	A energia pode ser obtida dos resíduos municipais de duas formas: (1) por combustão (queima) da fracção orgânica dos RSU e/ou resíduos de pátios e recuperação do calor que é libertado e (2) por conversão dos resíduos nalgum tipo de combustível (óleo, gás, peletes, etc.) que pode ser armazenado e utilizado localmente ou transportado para mercados de energia distantes. As especificações para a utilização directa de resíduos para a produção de vapor não são normalmente tão restritivas como para a produção de combustível. Contudo, à medida que as técnicas de combustão (material para fogo) e armazenamento melhoram, as especificações para a utilização directa tornam-se mais restritas. Há quem considere que a utilização de materiais residuais como fonte de combustível não é um meio apropriado de desvio ou reciclagem de resíduos.
Recuperação de terras	A aplicação de resíduos à terra é uma das técnicas mais antigas e utilizadas na gestão de resíduos sólidos. A tecnologia de deposição em terra desenvolveu-se até ao ponto em que as comunidades podem agora planear projectos de recuperação de terras sem receio do desenvolvimento de problemas de saúde. Tipicamente, a recuperação de terras será acompanhada de resíduos de demolição limpos ou processados. A recuperação de terras não deve iniciar-se até que uma utilização final para a terra tenha sido designada.

Tabela 8.2 – Especificações típicas dos materiais que afectam a selecção e concepção das operações de processamento para os RSU

Categoria de reutilização e componentes dos materiais	Itens de especificações típicas
Utilização directa	Deve se utilizável para a função original ou com ela relacionada. Grau de limpeza (e.g. bicicletas, resíduos de processos de construção e demolição)
Material em bruto para retransformação e reproprocessamento	
Alumínio	Granulometria; grau de limpeza; teor de humidade; densidade; quantidade; meios de expedição; e local de entrega
Papel e cartão	Fonte; classe; sem revistas; sem adesivos; teor de humidade; armazenamento; e local de entrega
Plásticos	Tipo (e.g. PETE/1, HDPE/2, PVC/3, LDPE/4, PP/5, PS/6, e multicamadas/7); grau de limpeza, teor de humidade
Vidro	Quantidade de material residual (aparas, pó de vidro); cor, sem etiquetas ou metal; grau de limpeza; libertação de contaminação metálica; sem contentor para o vidro; sem faiança partida; quantidade, armazenamento e ponto de entrega
Metais ferrosos	Fonte (doméstica, industrial, etc.); peso específico; grau de limpeza; grau de contaminação com estanho, alumínio, e chumbo; quantidade; meios de expedição; e ponto de entrega
Metais não ferrosos	Varia com as necessidades e mercados locais
Borracha (e.g. resíduos de pneus)	Padrões de recauchutamento; especificações para outros usos não bem definidos
Têxteis	Tipo de material; grau de limpeza
Material em bruto que funciona como matéria prima para produtos de conversão	
Resíduos de pátios	Composição do material, tamanhos das partículas, distribuição granulométrica, grau de contaminação
Fracção orgânica dos RSU	Composição do material, grau de contaminação
Fonte de combustível	
Resíduos de pátios	Composição, granulometria, teor de humidade
Fracção orgânica do RSU	Composição, teor energético; teor de humidade; limites de armazenamento; quantidades; venda e distribuição de energia e/ou subprodutos
Plásticos	Depende da aplicação e concepção do equipamento de combustão
Papel residual	A utilização como combustível variará com as necessidades e mercados locais
Madeira	Composição, grau de contaminação
Pneus	Plantas de conversão de pneus em energia; ou moinhos de polpa e papel e instalações de transformação de cimento que utilizam combustível obtido a partir de pneus
Óleo residual	Depende da aplicação e concepção do equipamento de combustão
Recuperação de terras	
Resíduos de construção e demolição	Composição; grau de contaminação. Regulamentação local e nacional; designação da utilização final da terra

Exemplo: Uma comunidade de 1200 lares não pode pagar pelos custos iniciais e de operação dos veículos de recolha de reciclagem que estavam destinados a serem utilizados. Em vez disso, os residentes têm que rebocar os contentores de reciclagem para um centro de despejo controlado pela comunidade. Calcule o número de veículos a partir dos quais os materiais recicláveis devem ser descarregados por hora no centro de despejo de reciclagem. Assuma que o centro está aberto oito horas por dia, dois dias por semana, e que 40% dos residentes entregarão os contentores de reciclagem. Assuma também que 75% dos participantes levarão os seus materiais separados para o centro de despejo uma vez por semana e que os restantes 25% dos participantes levarão os seus materiais separados para o centro de despejo uma vez de duas em duas semanas.

1. Determine o número médio de viagens por semana.

$$\begin{aligned} \text{Viagens/semana} &= [1200 \text{ lares} \times 0,40 \text{ (taxa de participação)} \times 0,75 \times 1 \text{ viag/lar/semana}] + \\ & 1200 \text{ lares} \times 0,40 \text{ (taxa de participação)} \times 0,25 \times 0,5 \text{ viagens/lar/semana} = \\ & 420 \text{ viagens/semana} \end{aligned}$$

2. Determine o número médio de carros por hora.

$$\begin{aligned} \text{Carros/hora} &= [420 \text{ viagens (carros)/semana}] / [2 \text{ dias/semana}] \times (8 \text{ horas/dia}) = \\ & 27 \text{ carros/hora} \end{aligned}$$

Claramente, um pequeno centro de despejo não pode acomodar 27 carros/h (equivalente a um carro a ser descarregado a cada 22 minutos). Para além disso, não é provável que os carros cheguem a uma velocidade uniforme. A solução mais viável consiste em aumentar o número de horas por semana que o centro de despejo está aberto.

Tabela 8.3 – Operações unitárias e instalações utilizadas frequentemente para a separação e processamento de RSU separados e misturados

Item	Função/material processado	Reprocessamento
Operações unitárias		
Trituradoras		
Moinhos de martelo	Redução de tamanho/todos os tipos de resíduos	Remoção de itens muito volumosos, remoção de contaminantes
Moinhos de malho	Redução de tamanho, também utilizada para quebrar os sacos/todos os tipos de resíduos	Remoção de itens muito volumosos, remoção de contaminantes
Trituradora de corte	Redução de tamanho, também utilizada para quebrar os sacos/todos os tipos de resíduos	Remoção de itens muito volumosos, remoção de contaminantes
Esmagadores de vidro	Redução de tamanho/todos os tipos de vidro	Remoção de todos os materiais sem vidro
Trituradoras de madeira	Redução de tamanho/resíduos de gramados/todos os tipos de resíduos alimentares	Remoção de itens muito volumosos, remoção de contaminantes
Crivagem (escolha do grão)	Separação de material acima e abaixo do tamanho; tambor também utilizado para desmembrar os sacos/todos os tipos de resíduos	Remoção de itens muito volumosos, grandes peças de cartão
Separação por ciclones	Separação de materiais combustíveis leves do fluxo de ar/resíduo preparado	O material é removido do fluxo aéreo contendo materiais combustíveis leves
Separação por densidade (classificação aérea)	Separação de materiais combustíveis leves do fluxo de ar	Remoção de itens muito volumosos, grandes peças de cartão, trituração de resíduos
Separação magnética	Separação de metais ferrosos de resíduos misturados	Remoção de itens muito volumosos, grandes peças de cartão, trituração de resíduos
Densificação		
Enfardadeiras	Compactação em fardos/papel, cartão, plásticos, têxteis, alumínio	As enfardadeiras são usadas para enfardar componentes separados
Esmagadores de latas	Compactação e achatamento (latas de alumínio e estanho)	Remoção de itens muito volumosos
Separação a húmido	Separação de vidro e alumínio	Remoção de itens muito volumosos
Instalações de pesagem		
Escalas de plataforma	Registos operacionais	
Pequenas escalas	Registos operacionais	
Instalações de manuseamento, movimentação, e armazenamento		
Correias transportadoras	Transporte de materiais/todos os tipos de materiais	Remoção de itens muito volumosos
Correias de levantamento	Separação manual de materiais residuais/ RSU separados na fonte e misturados	Remoção de itens muito volumosos
Correias de parafusos (brocas)	Transporte de materiais; também utilizado para desmembrar os sacos/todos os tipos de resíduos	Remoção de itens muito volumosos
Equipamento móvel	Manuseamento e movimentação de materiais	Densificação, esmagamento de vidros, etc.
Instalações de armazenamento	Armazenamento de materiais/todos os tipos de materiais recuperados	

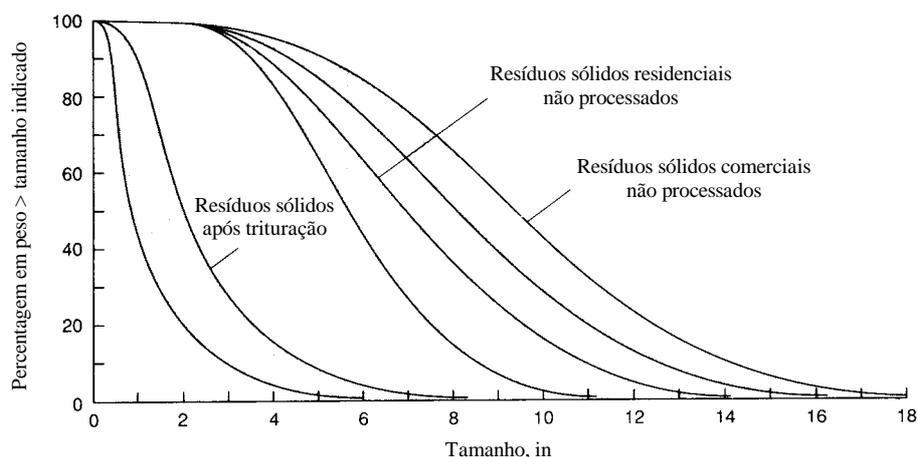


Figura 8.1 – Distribuição típica da granulometria para a fração orgânica dos RSU excluindo resíduos de pátios antes e após trituração.

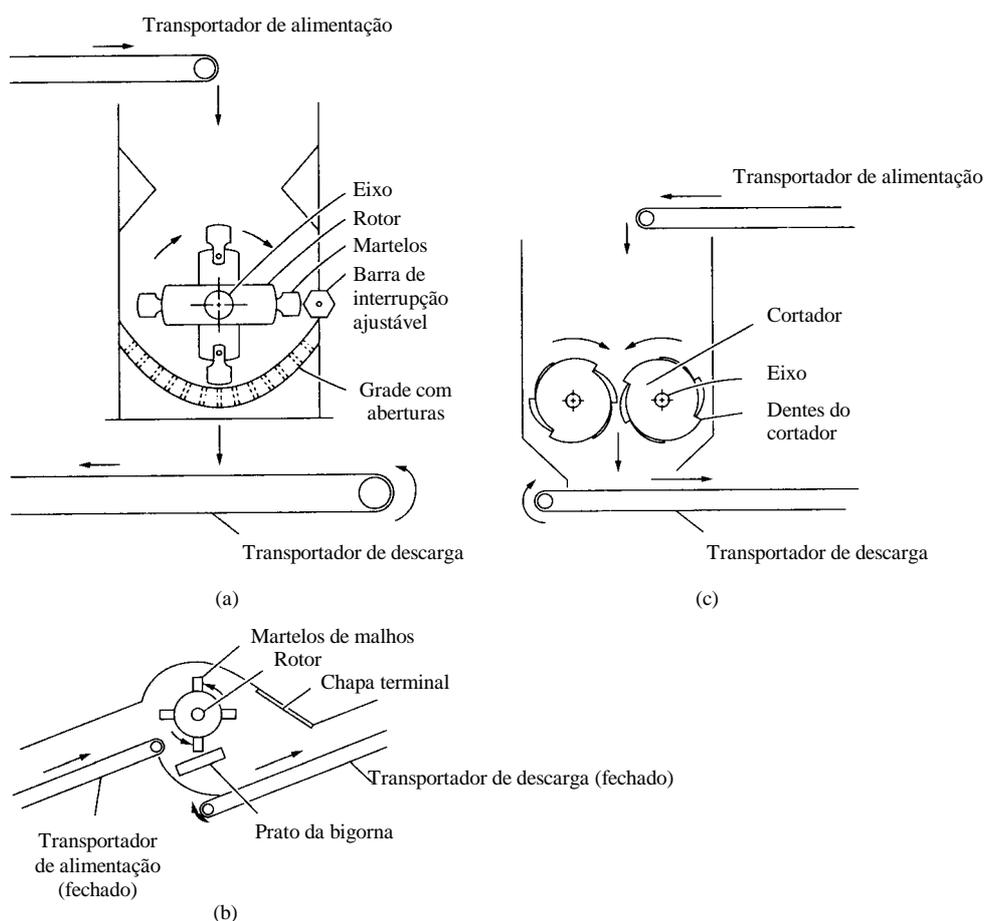


Figura 8.2 – Exemplos de equipamento de trituração utilizado para reduzir o tamanho de resíduos sólidos: (a) moinho de martelos, (b) moinho de malho, e (c) trituradora de corte.

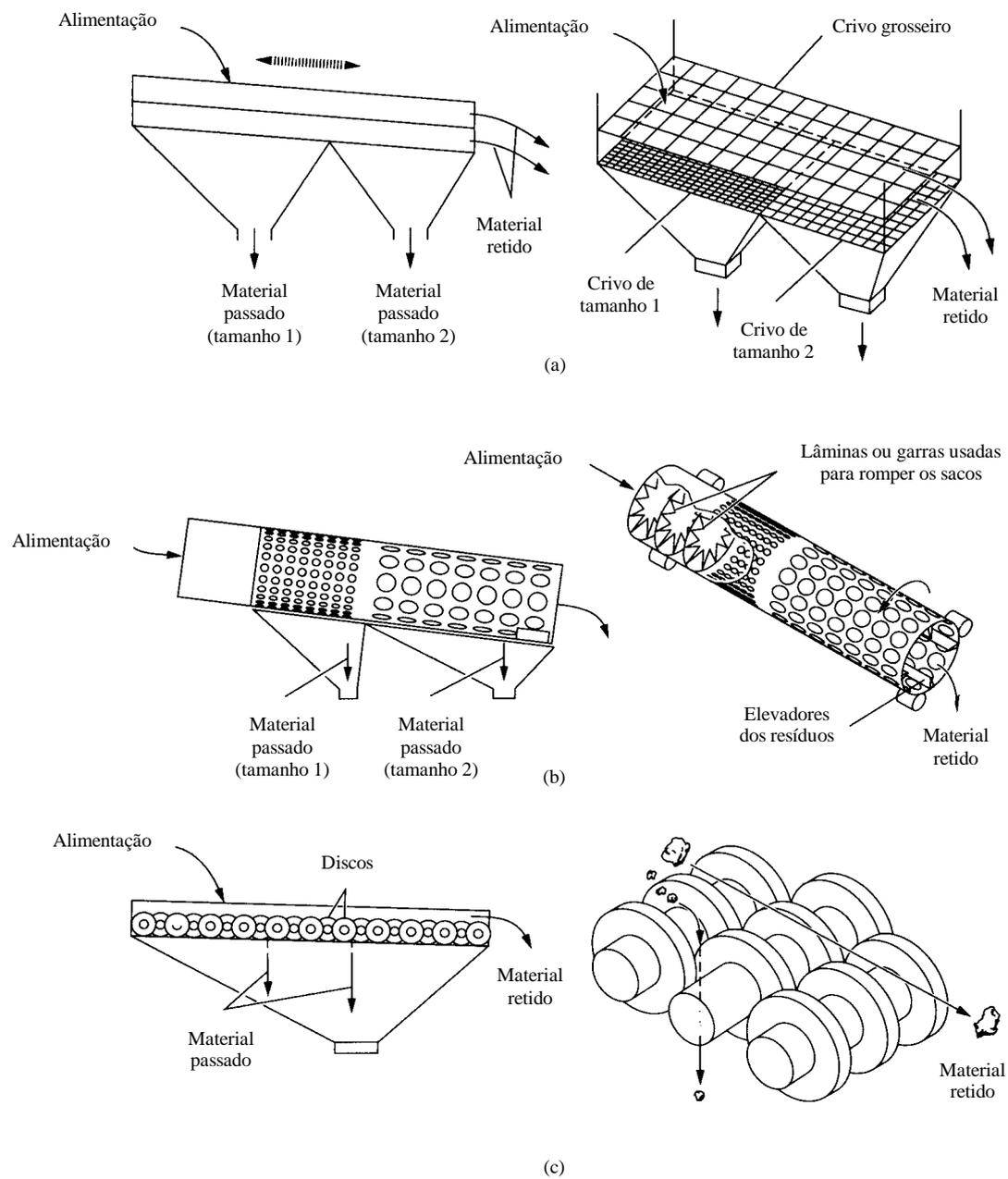


Figura 8.3 – Crivos típicos utilizados para a separação de resíduos sólidos: (a) crivo vibratório, (b) crivo de tambor rotativo, e (c) crivo de disco.

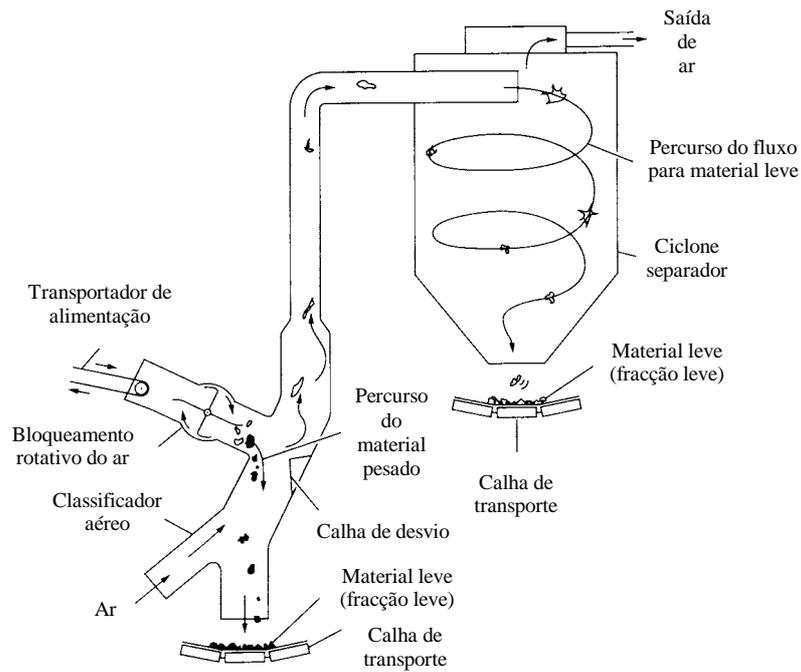


Figura 8.4 – Classificação aérea típica utilizada para separar os resíduos sólidos em fracções leves e pesadas.

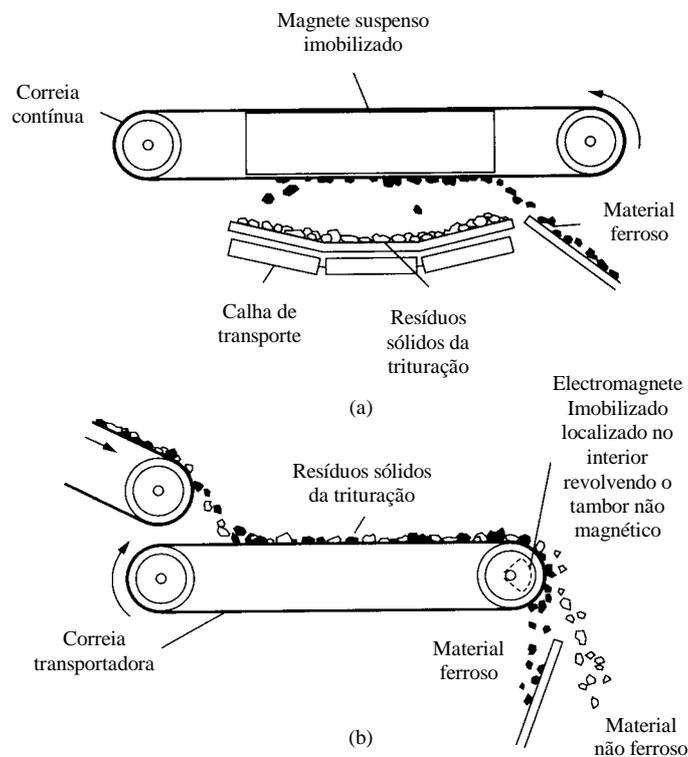


Figura 8.5 – Separadores com ímãs típicos: (a) ímã suspenso esquemático e (b) ímã de roldana.

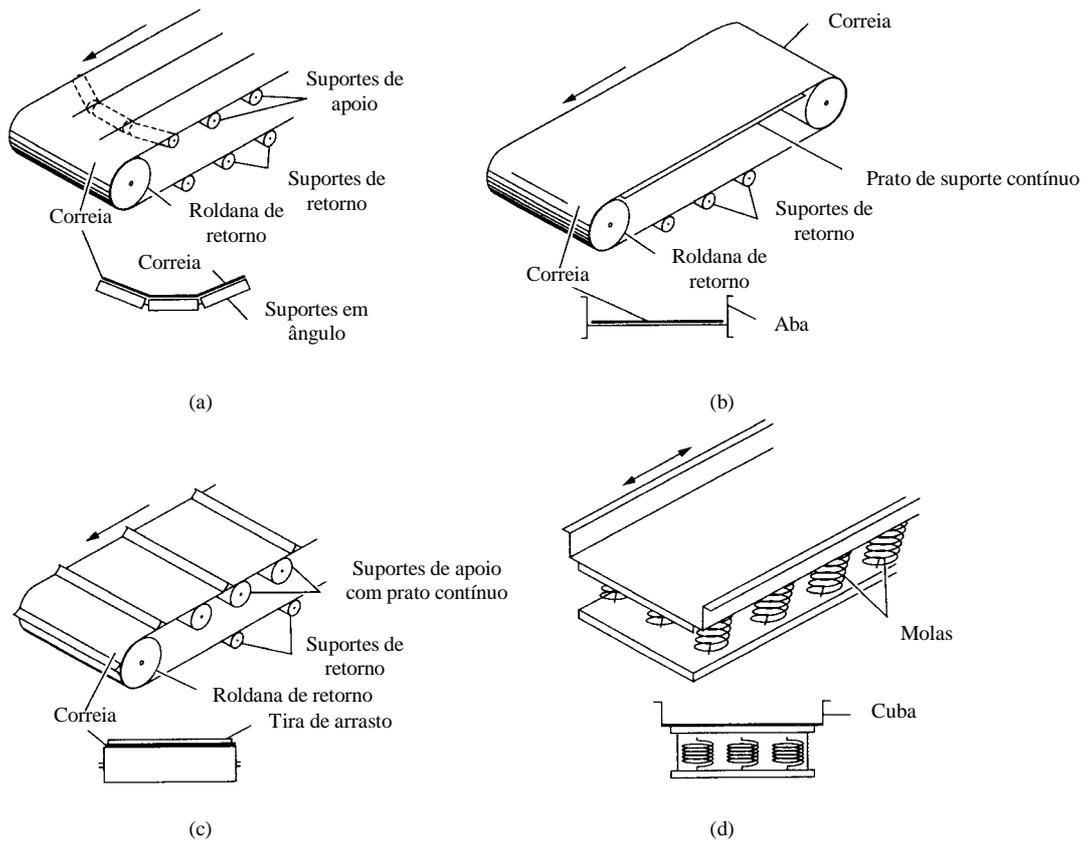


Figura 8.6 – Correias transportadoras usadas para transportar resíduos sólidos: (a) correia de cuba com suportes em ângulo, (b) correia plana com prato de suporte contínuo, (c) correia de arrasto com roda intermediária, e (d) transporte vibratório mecânico.

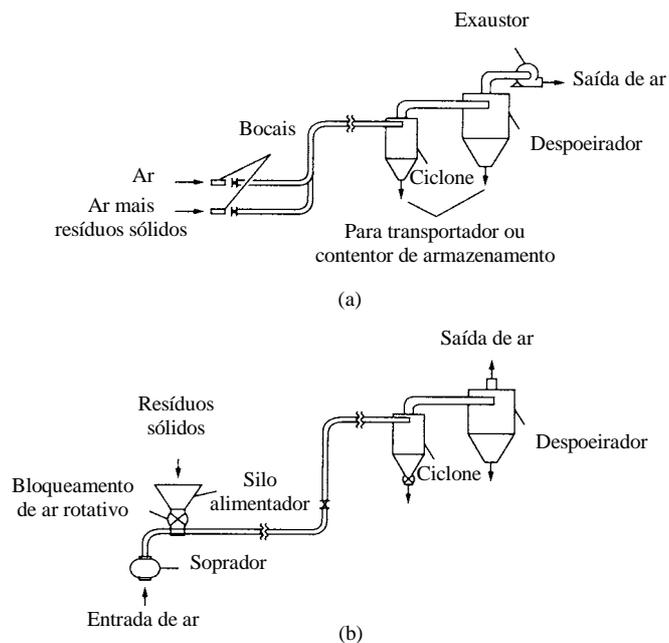


Figura 8.7 – Sistemas de transporte pneumático: (a) vácuo e (b) pressão positiva.

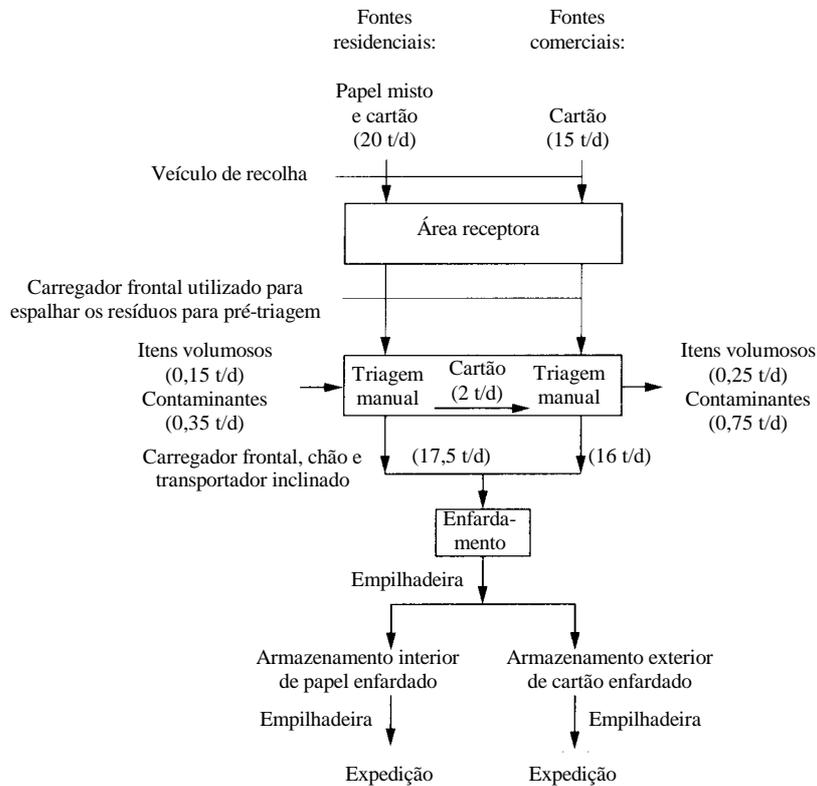
Tabela 8.4 – Exemplos típicos de materiais, funções, e das necessidades em termos equipamento e instalações de IRMs utilizadas para o processamento de materiais separados na fonte

Materiais	Função/operação	Necessidades de equipamento instalações
Papel misto e cartão/1	Separação manual de papel e cartão de elevado valor ou de contaminantes de tipos de papel misturados. Enfardamento de plásticos para expedição. Armazenamento de materiais separados	Carregador frontal, transportadores, enfardadeira, empilhadeira (figuras 8.8-a e 8.9)
Papel misto e cartão/2	Separação manual de cartão e papel misto. Enfardamento de materiais plásticos para expedição. Armazenamento de materiais enfardados	Carregador frontal, transportadores, estação aberta de recolha, enfardadeira, empilhadeira
Papel misto e cartão/3	Separação manual de jornais velhos, cartão ondulado velho, e papel misto de misturas mistas. Enfardamento de materiais separados para expedição. Armazenamento de materiais enfardados	Carregador frontal, transportadores, estação fechada de recolha, enfardadeira, empilhadeira
Plásticos PETE e HDPE	Separação manual de PETE e HDPE de plásticos misturados. Enfardamento de materiais separados para expedição. Armazenamento de materiais enfardados	Tremonha receptora, transportador de recolha, cestos de armazenamento, enfardadeira, empilhadeira
Plásticos mistos	Separação manual de PETE e HDPE e outros plásticos de plásticos mistos misturados. Enfardamento de plásticos para expedição. Armazenamento de materiais separados	Tremonha receptora, transportador de recolha, cestos de armazenamento, enfardadeira, empilhadeira
Plásticos mistos e vidro	Separação manual de PETE e HDPE, e vidro de cor de misturas mistas. Enfardamento de plásticos para expedição. Armazenamento de materiais separados	Tremonha receptora, transportador de recolha, esmagador de vidro, cestos de armazenamento, enfardadeira, empilhadeira
Vidro misto	Separação manual de vidro claro, verde, e laranja. Armazenamento de materiais separados	Tremonha receptora, transportador de recolha, esmagador de vidro, cestos de armazenamento, enfardadeira, empilhadeira
Latas de alumínio e estanho	Separação magnética de latas de estanho de misturas mistas de latas de alumínio e estanho. Enfardamento de materiais separados para expedição. Armazenamento de materiais separados	Tremonha receptora, transportador, magnete suspenso, magnete de roldana, contentores de armazenamento, enfardadeira ou esmagador de latas e sistema de transporte pneumático, empilhadeira
Plástico, vidro, latas de alumínio, e latas de estanho	Separação manual ou pneumática de PETE, HDPE, e outros plásticos. Separação manual de vidro por cor. Separação magnética de latas de estanho de misturas mistas de latas de alumínio e estanho. Enfardamento de plástico, latas de alumínio, e latas de estanho, e esmagamento de vidro e expedição. Armazenamento de materiais enfardados e esmagados	Tremonha receptora, transportador, contentor de recolha, magnete suspenso, magnete de roldana, esmagador de vidros, contentores de armazenamento, enfardadeira ou esmagador de latas e sistema de transporte pneumático, empilhadeira
Resíduos de pátios/1	Separação manual de sacos plásticos e outros contaminantes de resíduos de pátios misturados, moagem de resíduos de pátios limpos, separação granulométrica de resíduos que foram moídos, armazenamento de resíduos retidos para expedição para instalações de biomassa, e compostagem do material passado	Carregador frontal, moinho de cuba, transportadores, crivos de disco ou tambor, contentores de armazenamento, máquina de viragem do composto
Resíduos de pátios/2	Separação manual de sacos plásticos e outros contaminantes de resíduos de pátios misturados seguida de moagem e separação granulométrica para produção de matéria vegetal. Armazenamento de matéria vegetal e compostagem do material passado	Carregador frontal, moinho de cuba, transportadores, crivos de disco ou tambor, contentores de armazenamento, máquina de viragem do composto
Resíduos de pátios/3	Moagem de resíduos de pátios para produzir um combustível biomassa. Armazenamento de material moído	Carregador frontal, moinho de cuba, transportadores, contentores de armazenamento ou reboques de transporte

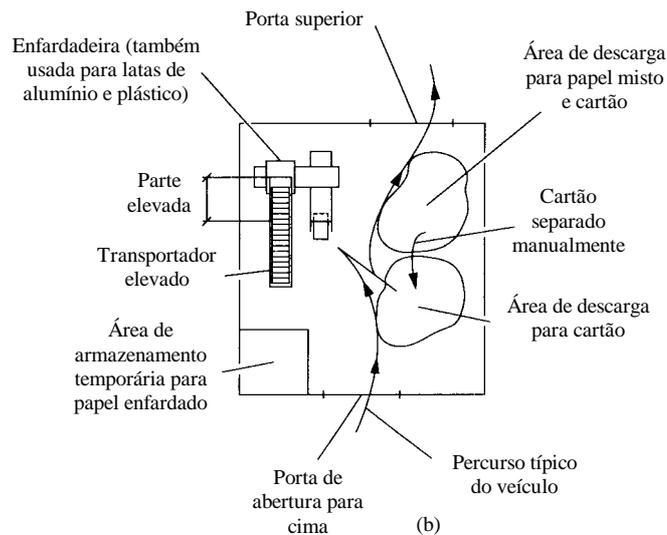
Tabela 8.5 – Exemplos de funções, materiais recuperados ou contaminantes removidos, e actividades associadas com as IRMs usadas para o processamento de RSU misturados

Função da IRM	Materiais recuperados ou contaminantes removidos	Actividades
Recuperação de materiais recicláveis para satisfazer objectivos de desvio de primeiro estágio mandatados (25%)	Itens volumosos, cartão, papel, plásticos (PETE, HDPE, e outros plásticos mistos), vidro (claro e misturado), latas de alumínio, latas de estanho, outros materiais ferrosos	Separação manual de itens volumosos, cartão, plásticos, vidro por cor, latas de alumínio, e grandes itens ferrosos. Separação magnética de latas de estanho e outros materiais ferrosos não removidos manualmente. Enfardamento de materiais separados para expedição. Armazenamento de materiais enfardados
Recuperação de materiais recicláveis para satisfazer objectivos de desvio de segundo estágio mandatados (50%)	Itens volumosos, cartão, papel, plásticos (PETE, HDPE, e outros plásticos mistos), vidro (claro e misturado), latas de alumínio, latas de estanho, outros materiais ferrosos. Separação adicional de materiais separados na fonte incluindo papel, cartão, plástico (PETE, HDPE, outro), vidro (claro e misto), latas de alumínio, latas de estanho	Separação manual de itens volumosos, cartão, plásticos, vidro por cor, latas de alumínio, e grandes itens ferrosos. Separação magnética de latas de estanho e outros materiais ferrosos não removidos manualmente. Enfardamento de materiais separados para expedição. Armazenamento de materiais enfardados
Preparação de RSU para utilização como combustível	Itens volumosos, cartão (dependendo do valor de mercado), vidro (claro e misto), latas de alumínio, latas de estanho, outros materiais ferrosos	Separação manual de itens volumosos, cartão, e grandes itens ferrosos. Separação mecânica de vidro, latas de alumínio. Separação magnética de latas de estanho e outros materiais ferrosos não removidos manualmente. Preparação de combustível. Armazenamento de matéria prima de combustível. Enfardamento de cartão para expedição. Armazenamento de materiais enfardados
Preparação de RSU para utilização como matéria prima para compostagem	Itens volumosos, cartão (dependendo do valor de mercado), plásticos (PETE, HDPE, e outros plásticos mistos), vidro (claro e misto), latas de alumínio, latas de estanho, outros materiais ferrosos	Separação manual de itens volumosos, cartão, plásticos, vidro por cor, latas de alumínio, e grandes itens ferrosos. Separação mecânica de latas de estanho e outros materiais ferrosos não removidos manualmente. Enfardamento de materiais separados para expedição. Armazenamento de matéria prima de composto
Recuperação selectiva de materiais recuperáveis	Itens volumosos, papel de escritório, listas telefónicas antigas, latas de alumínio, PETE e HDPE, e materiais ferrosos. Outros materiais dependem dos mercados locais	Separação manual de itens volumosos, cartão. Separação manual de materiais seleccionados dependendo das necessidades do mercado. Instalações de enfardamento, esmagadores de latas, e outro equipamento dependendo dos materiais a serem separados

$$\text{Taxa de carregamento, ton/h} = \frac{\text{Numero de ton/ano (ou ton/d)}}{1820 \text{ h/ano (ou h/d) processamento}} \quad (8.1)$$



(a)



(b)

Figura 8.8 – IRM para o processamento de papel e cartão separado na fonte: (a) organograma do processo e (b) esquema da IRM.

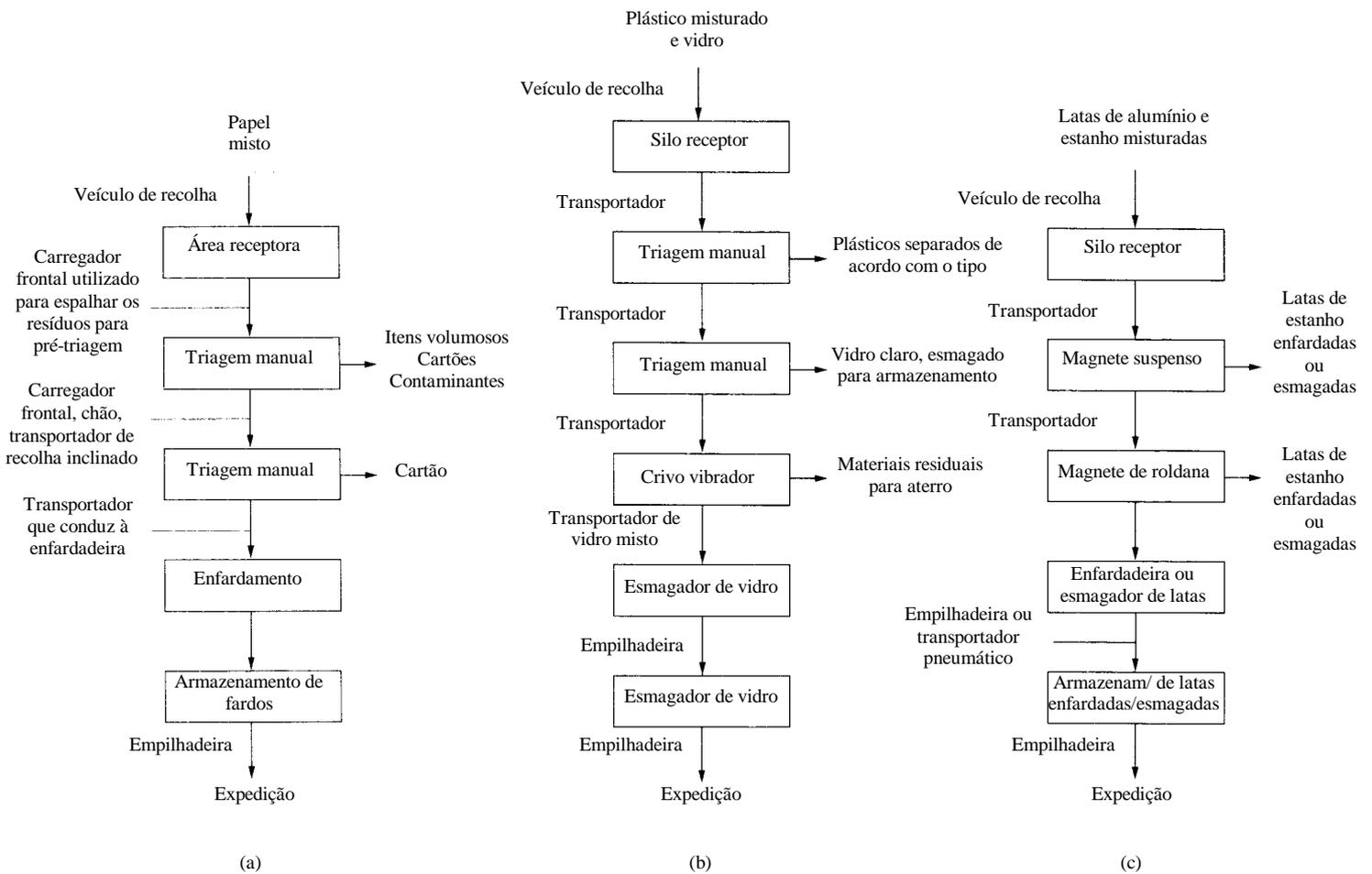


Figura 8.9 – Organograma para separação de resíduos separados na fonte: (a) papel misto, (b) plásticos misturados e vidro, e (c) latas de alumínio e de estanho.

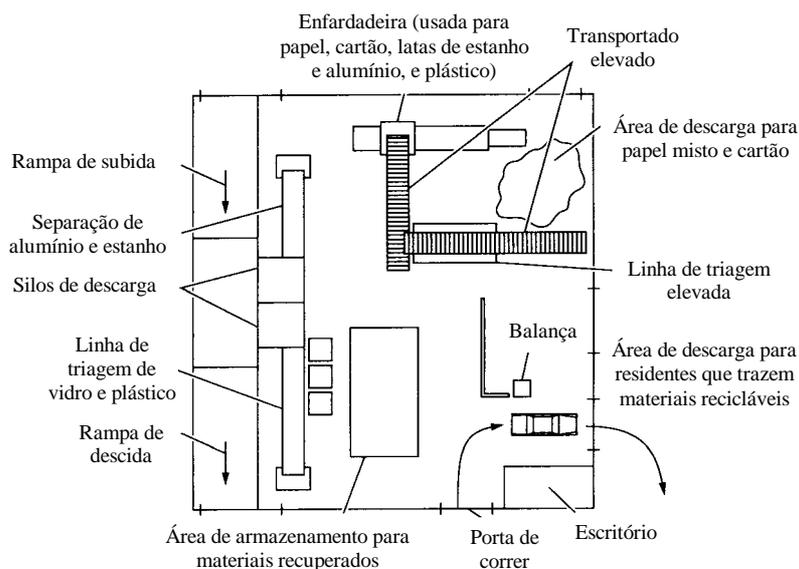


Figura 8.10 – Esquema para uma IRM usada para processar materiais separados na fonte.

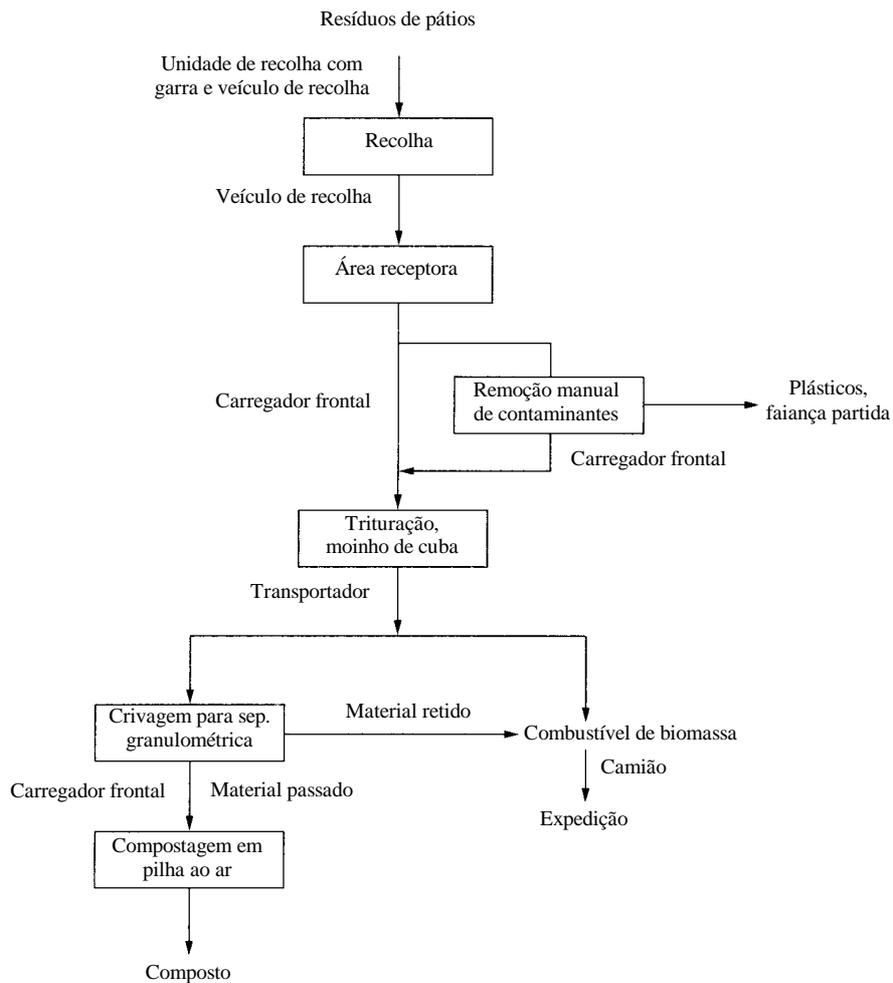


Figura 8.11 – Organograma de uma IRM para o processamento de resíduos de pátios e outros resíduos verdes.



Figura 8.12 – Moinho de cuba usado para processamento de resíduos de pátios recolhidos separadamente.

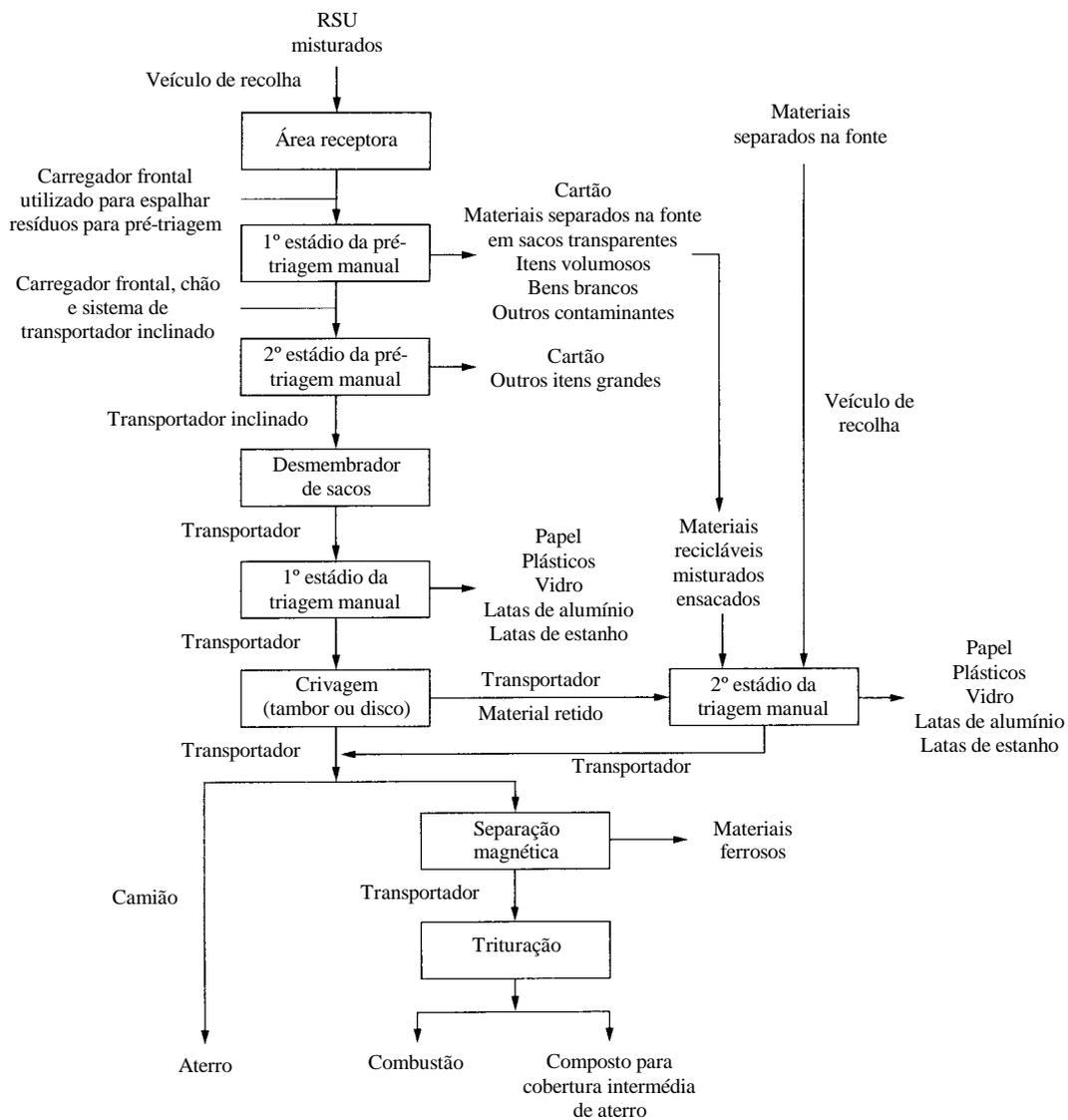


Figura 8.13 – Organograma para a recuperação de materiais residuais de RSU misturados.

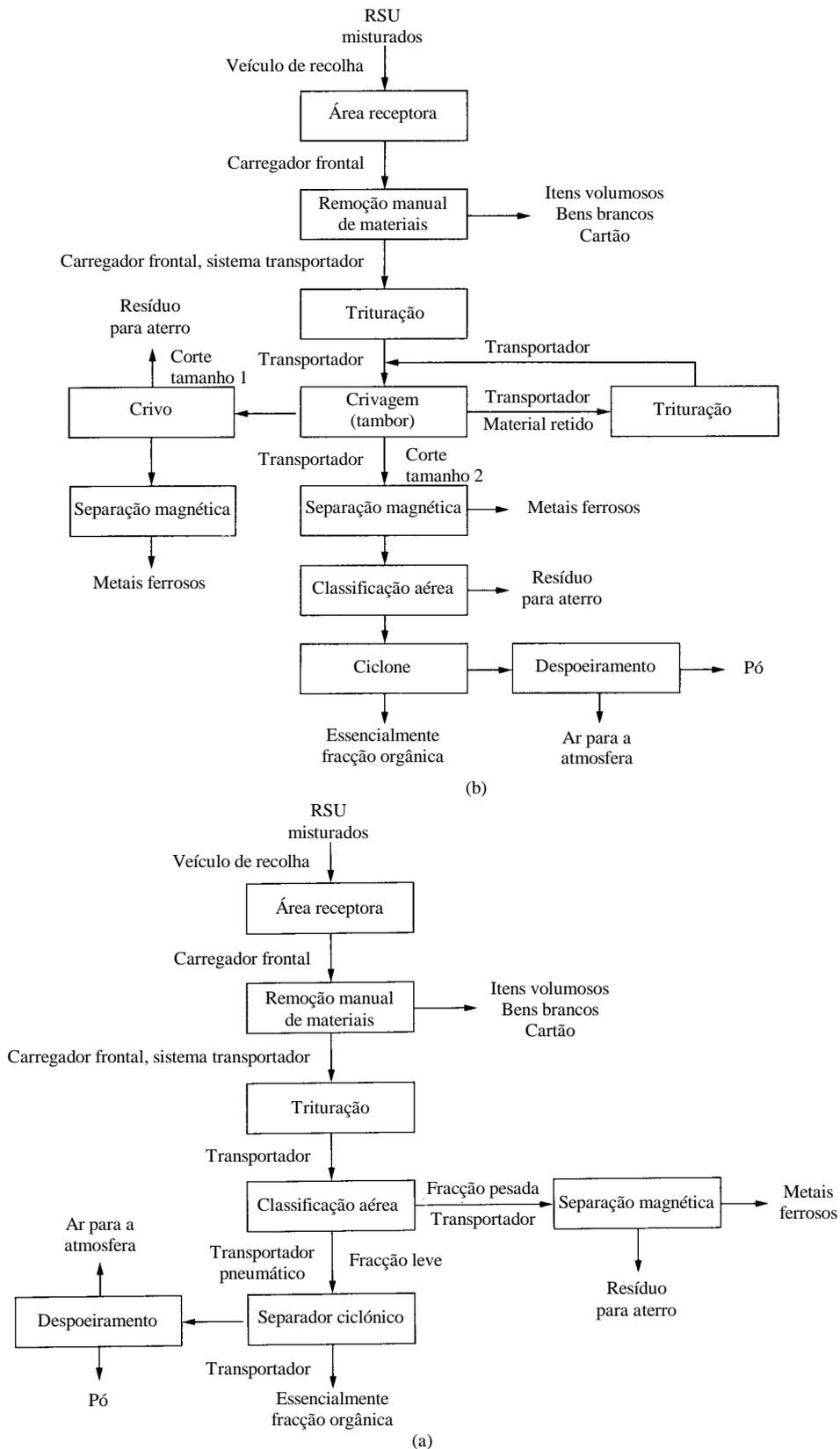


Figura 8.14 – Organograma para a recuperação de componentes dos resíduos sólidos: (a) convencional (com trituradora) e (b) trituradora de corte e tambor para substituir a trituradora nos organogramas.

Tabela 8.6 – Assuntos de saúde e segurança na concepção e laboração de IRMs

Componente	Assunto em questão
Mecânico	Rotação a alta velocidade e partes adjacentes
	Eixos e correias expostas
	Barulho de alta intensidade
	Vidro partido, objectos metálicos aguçados
Eléctrico	Explosivos perigosos
	Cablagem, disjuntores, e controles expostos
Arquitectural	Erros no chão
	Escadas, escadarias, e carris
	Rotina e visibilidade dos veículos
	Ergonomia das correias de apanha manual
	Iluminação
	Ventilação e ar condicionado
Operacional	Drenagem
	Práticas de manutenção
	Treino de segurança
Materiais perigosos	Equipamento de segurança e de primeiros socorros
	Resíduos perigosos de lares e geradores de pequena quantidade
Equipamento de segurança pessoal	Bioperigosos tal como produtos sanguíneos e organismos patogénicos
	Luvas impermeáveis, à prova de furos; calçado de segurança, uniformes, protecção ocular, protecção sonora

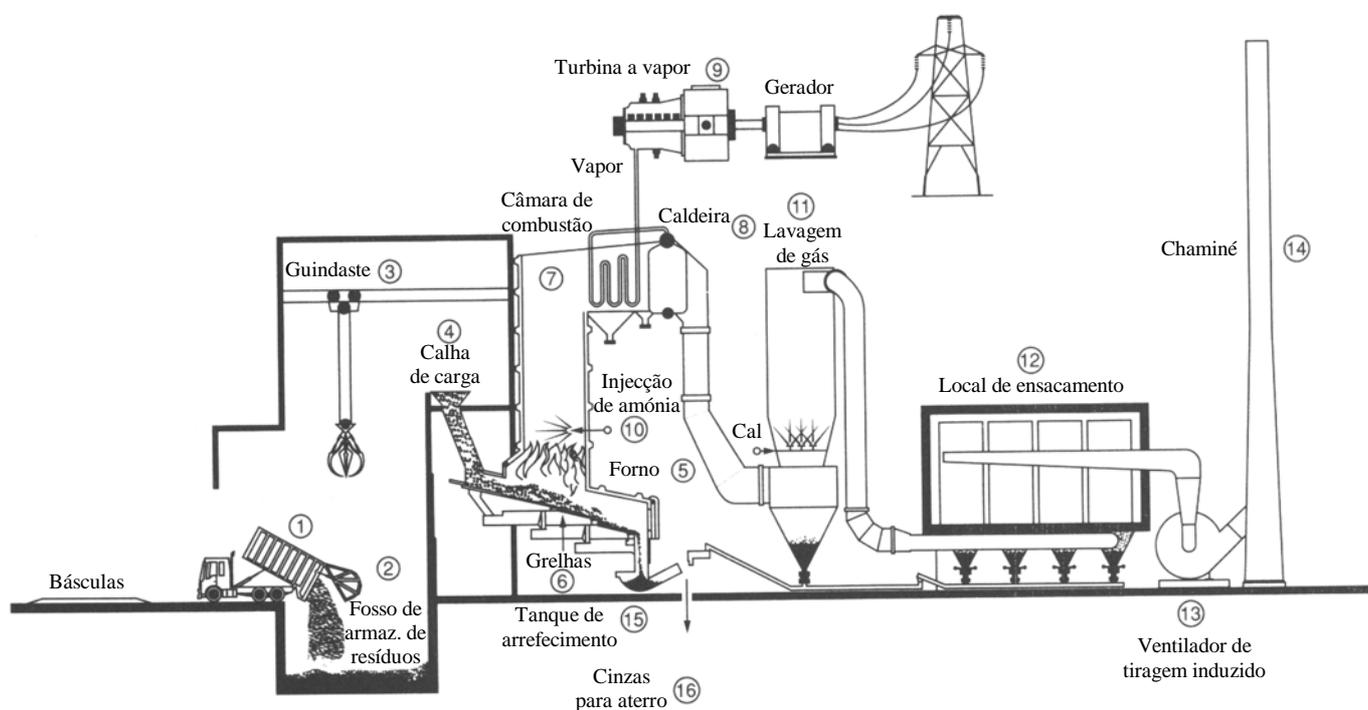


Figura 8.15 – Secção através de um combustor municipal típico carregado com massa de alimentação contínua, usado para a produção de energia de RSU.

Para o carbono



Para o hidrogénio



Para o enxofre



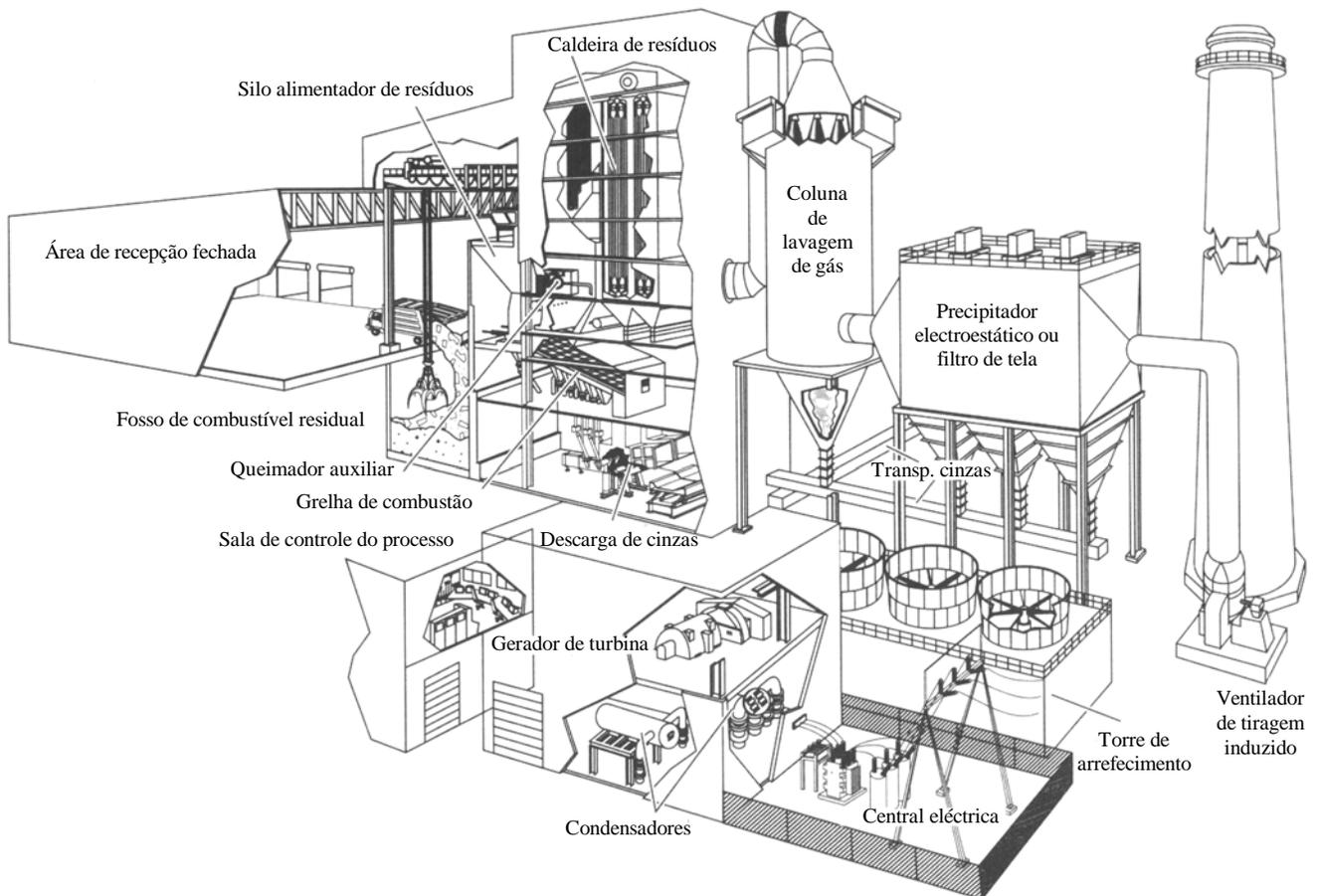
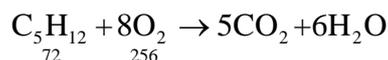


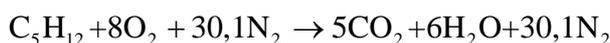
Figura 8.16 – Secção através de um combustor carregado com massa, com paredes de água, usado para a produção de energia de RSU.

Exemplo: Determine a quantidade (lbs e ft³) do ar necessário para a combustão completa de uma ton de um resíduo sólido orgânico. Assuma que a composição do resíduo orgânico a ser combustado é dada por C₅H₁₂. Assuma que o peso específico do ar é 0,075^{1,2} lb/ft³.

1. Escreva uma equação estequiometricamente equilibrada para a oxidação do composto orgânico baseada no oxigénio:



2. Escreva uma equação equilibrada para a oxidação do composto orgânico com ar. Nos cálculos de combustão, o ar seco assume-se ser composto por 21% oxigénio e 79% azoto. Assim, a correspondente reacção para isto, dada no Passo 1 para o ar é



3. Determine a quantidade de ar necessária para combustão, assumindo que o ar contém 23,15% oxigénio em peso.

$$\text{O}_2 \text{ necessário} = \frac{256}{72} \times (2000 \text{ lb/ton}) = 7111 \text{ lb/ton}$$

$$\text{Ar necessário} = \frac{7111 \text{ lb/ton}}{0,2315} = 30717 \text{ lb/ton}$$

4. A quantidade de ar necessário para a combustão pode também ser calculada usando os factores dados previamente.

$$\text{Ar necessário para carbono, C} = \frac{60}{72} \times (2000 \text{ lb/ton}) \times 11,52 = 19200 \text{ lb/ton}$$

$$\text{Ar necessário para hidrogénio, H} = \frac{12}{72} \times (2000 \text{ lb/ton}) \times 34,56 = 11520 \text{ lb/ton}$$

$$\text{Total de ar necessário} = 19200 + 11520 = 30720 \text{ lb/ton}$$

5. Determine o volume de ar necessário para combustão.

$$\text{Volume de ar} = (30717 \text{ lb/ton}) / (0,075 \text{ lb/ft}^3) = 409560 \text{ ft}^3/\text{ton}$$

No Passo 2, o azoto é retido em ambos os membros da equação porque não entra na reacção.

¹ 1 ft³ = 0,0283 m³

² 1 lb/ft³ = 16,019 kg/m³

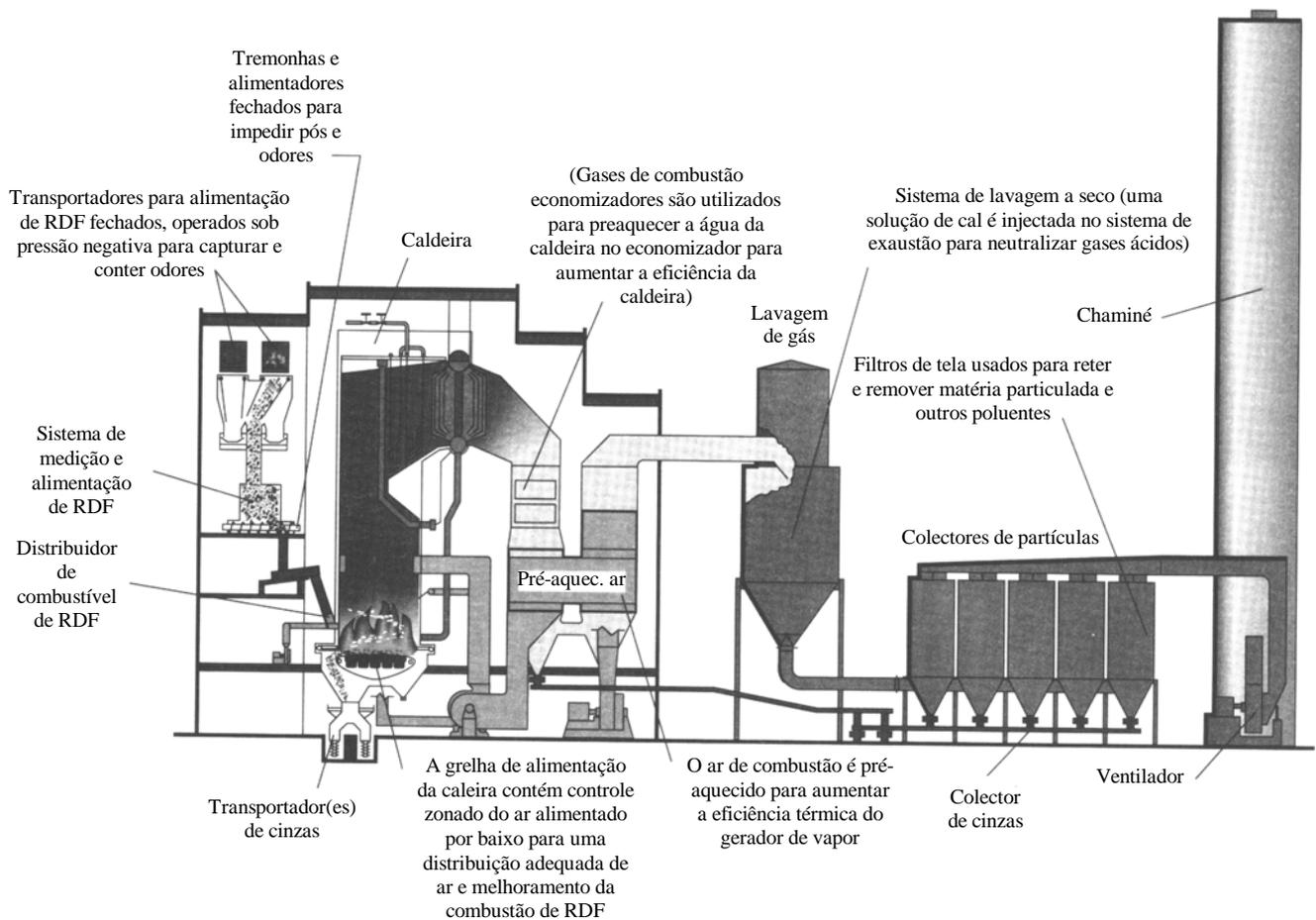


Figura 8.17 – Perspectiva de um sistema de combustão industrial com caldeira com paredes de água, usado para a produção de energia a partir de resíduos sólidos transformados, gás natural, óleo, e carvão.

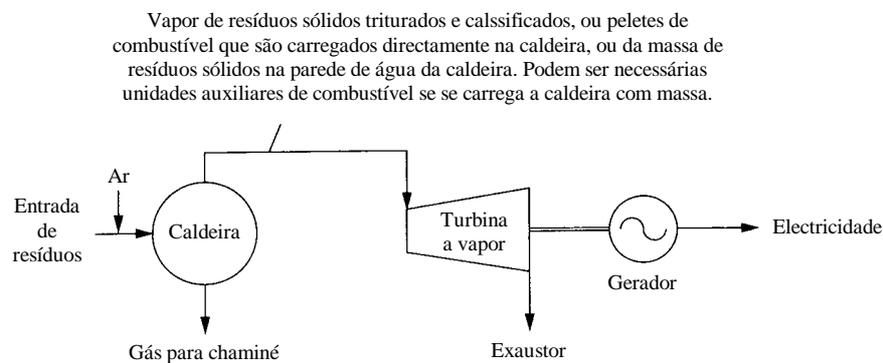


Figura 8.18 – Esquema do sistema de recuperação de energia utilizando uma combinação de um turbogerador a vapor.

Tabela 8.7 – Composição do resíduo proveniente da combustão de RSU misturados

Componente	Percentagem em peso	
	Gama	Típico
Matéria orgânica parcialmente queimada ou não queimada	3-10	5
Latas e estanho	10-25	18
Outro ferro e aço	6-15	10
Outros metais	1-4	2
Vidro	30-50	35
Cerâmicos, pedras, tijolos	2-8	5
Cinza	10-35	25
Total		100

Exemplo: Determine a quantidade e composição do resíduo de um combustor usado para resíduos sólidos urbanos com a composição média dada na tabela 2.5 (E.U.A.). Estime a redução no volume do resíduo se se assumir que o peso específico do resíduo é 1000^1 lb/yd³.

1. Estabeleça uma tabela de cálculo para determinar a quantidade de resíduo e a sua distribuição percentual por peso. A tabela de cálculo completa apresenta-se a seguir.
2. Estime os volumes original e final antes e após combustão. Para estimar o volume inicial aproximado, assumo que o peso específico médio dos resíduos sólidos no fosso de armazenamento do combustor é cerca de 375 lb/yd³.

$$\text{Volume original} = \frac{1000 \text{ lb}}{375 \text{ lb/yd}^3} = 2,67 \text{ yd}^3$$

$$\text{Volume do resíduo} = \frac{237,6 \text{ lb}}{1000 \text{ lb/yd}^3} = 0,24 \text{ yd}^3$$

Componente	Resíduo sólido ² , lb ³	Resíduo inerte ⁴ , %	Resíduo	
			lb	%
Orgânico				
Resíduos alimentares	90	5	4,5	1,9
Papel	340	6	20,4	8,6
Cartão	60	5	3,0	1,3
Plásticos	70	10	7,0	2,9
Têxteis	20	6,5	1,3	0,5
Borracha	5	9,9	0,5	0,2
Couro	5	9,0	0,5	0,2
Resíduos de pátios	185	4,5	8,3	3,5
Madeira	20	1,5	0,3	0,1
Orgânicos diversos	-	-	-	-
Inorgânicos				
Vidro	80	98	78,4	33,0
Latas de estanho	60	98	58,8	24,7
Alumínio	5	96	4,8	2,0
Outros metais	30	98	29,4	12,4
Sujidade, cinzas, etc.	30	68	20,4	8,6
Total	1000		237,6	100,0

3. Estime a redução de volume utilizando a equação (3.1).

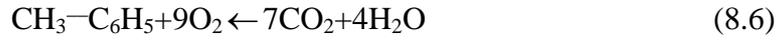
$$\text{Redução de volume} = \left(\frac{2,67 - 0,24}{2,67} \right) 100 = 91\%$$

¹ 1 lb/yd³ = 0,5933 kg/m³

² Baseado em 1000 lb de resíduos sólidos (tabela 2.5)

³ 1 lb = 0,4536 kg

⁴ Dados das tabelas 3.3 e 3.4.



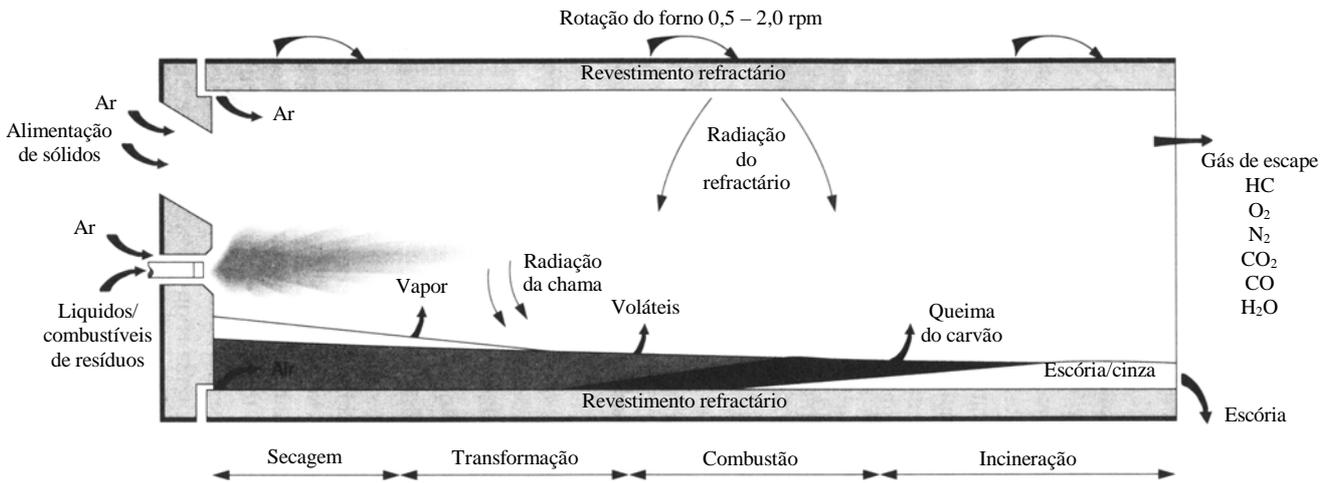


Figura 8.19 – Incinerador de forno rotativo.

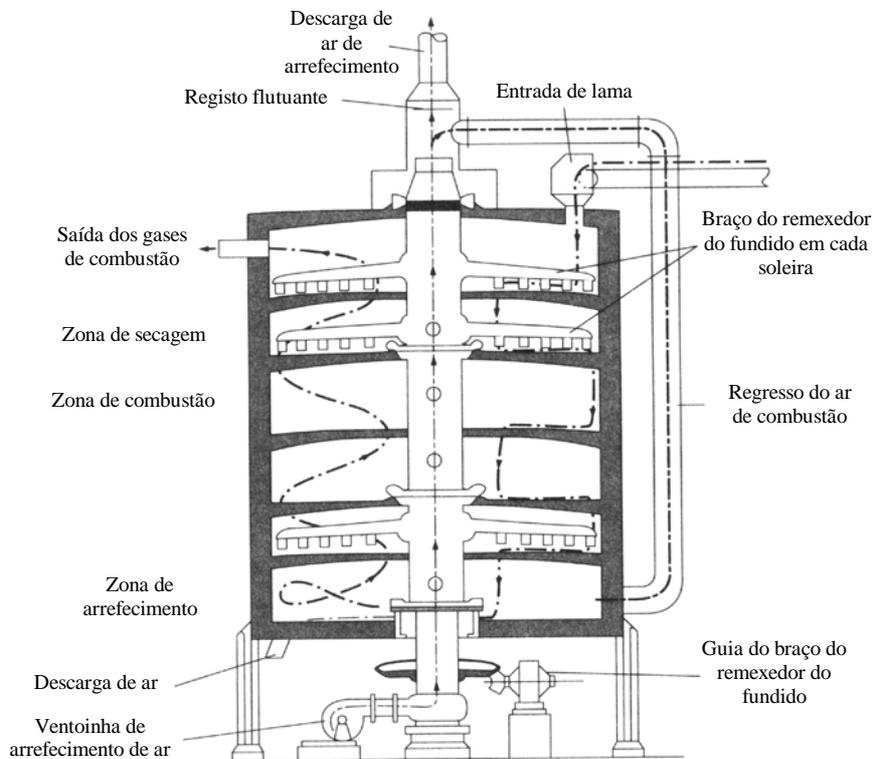
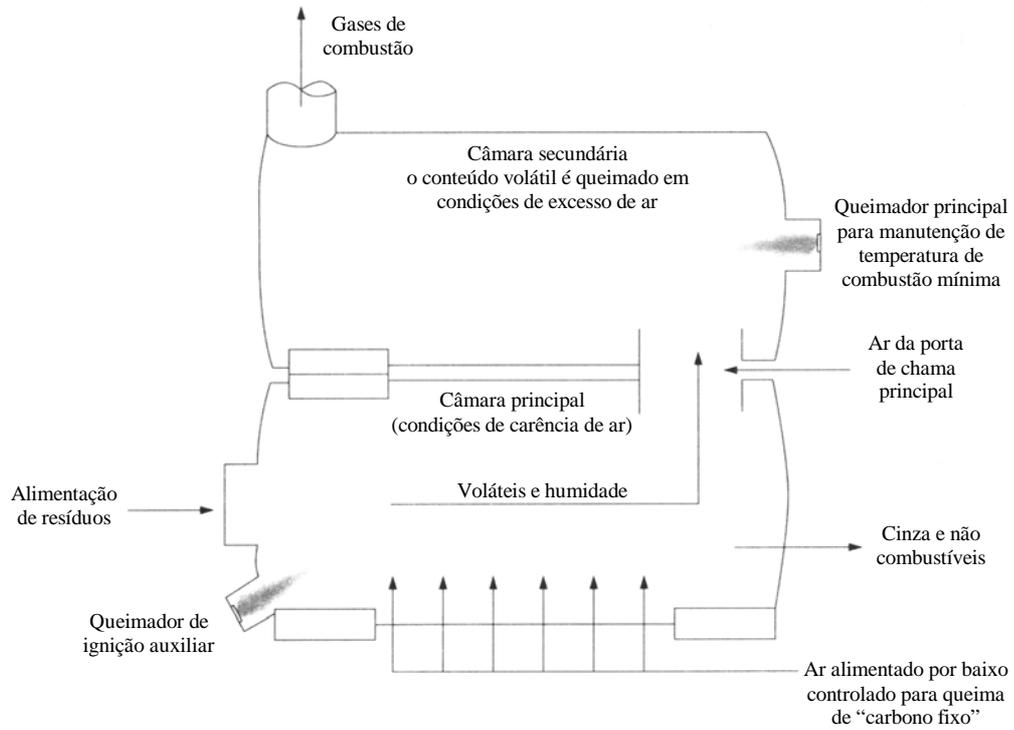
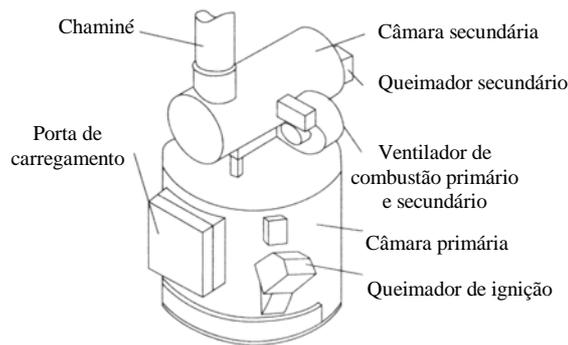


Figura 8.21 – Incinerador de soleira múltipla.

a) Incinerador horizontal de duas câmaras com ar controlado



b) Incinerador vertical de duas câmaras com ar controlado



c) Relação da temperatura com o excesso de ar

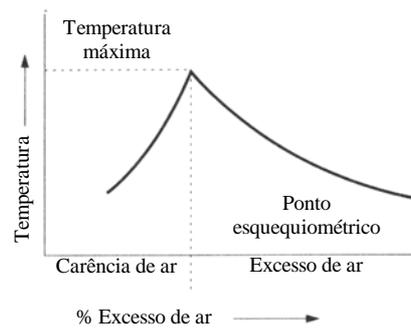


Figura 8.20 – Incinerador de soleira fixa.

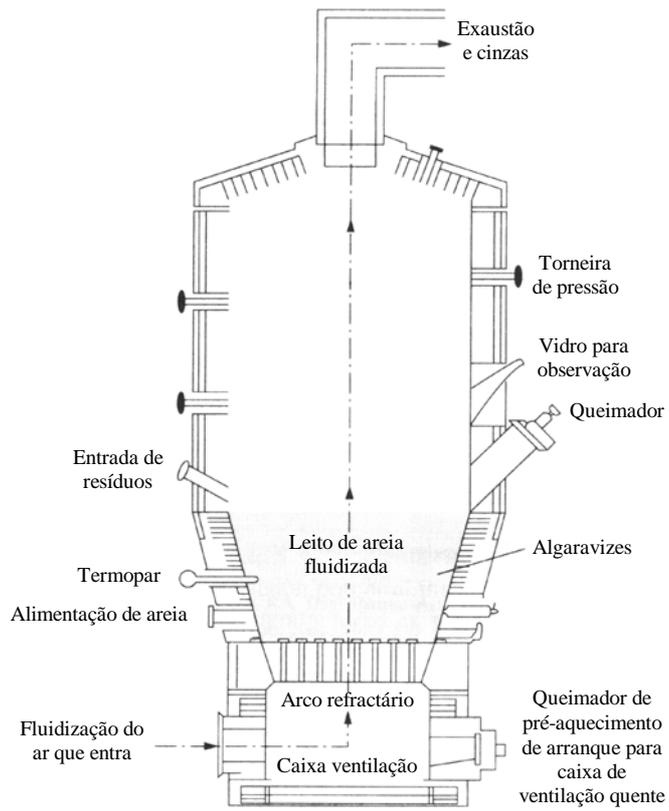


Figura 8.22 – Incinerador fluidizado.

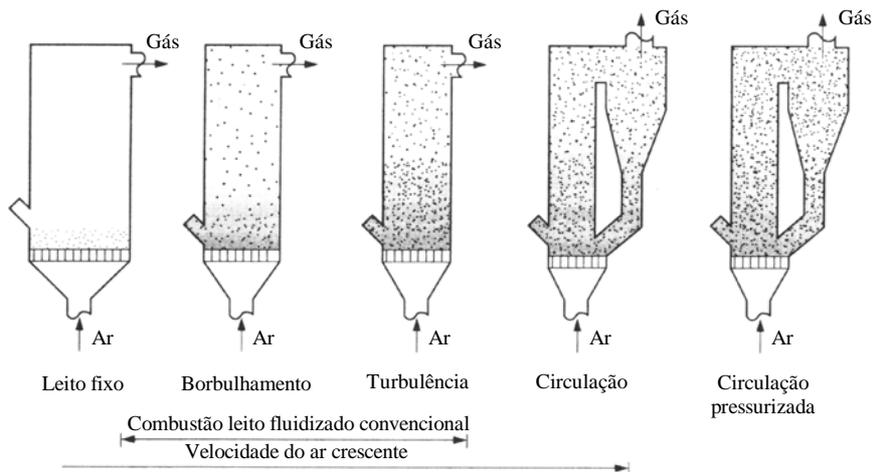


Figura 8.23 – Tipos de incineradores de leitos fluidos.

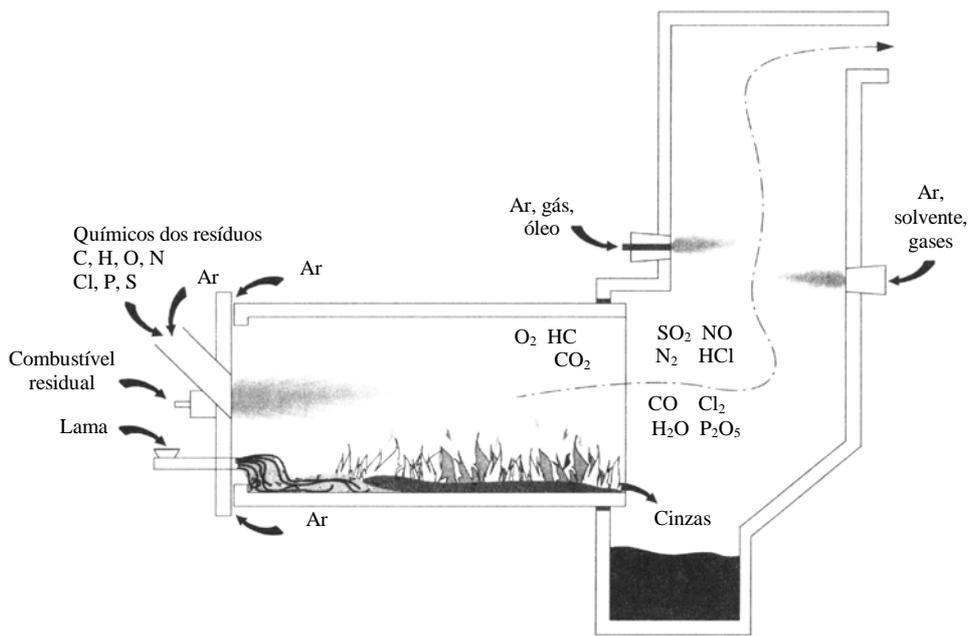


Figura 8.24 – Forno rotativo com câmara de combustão secundária vertical.

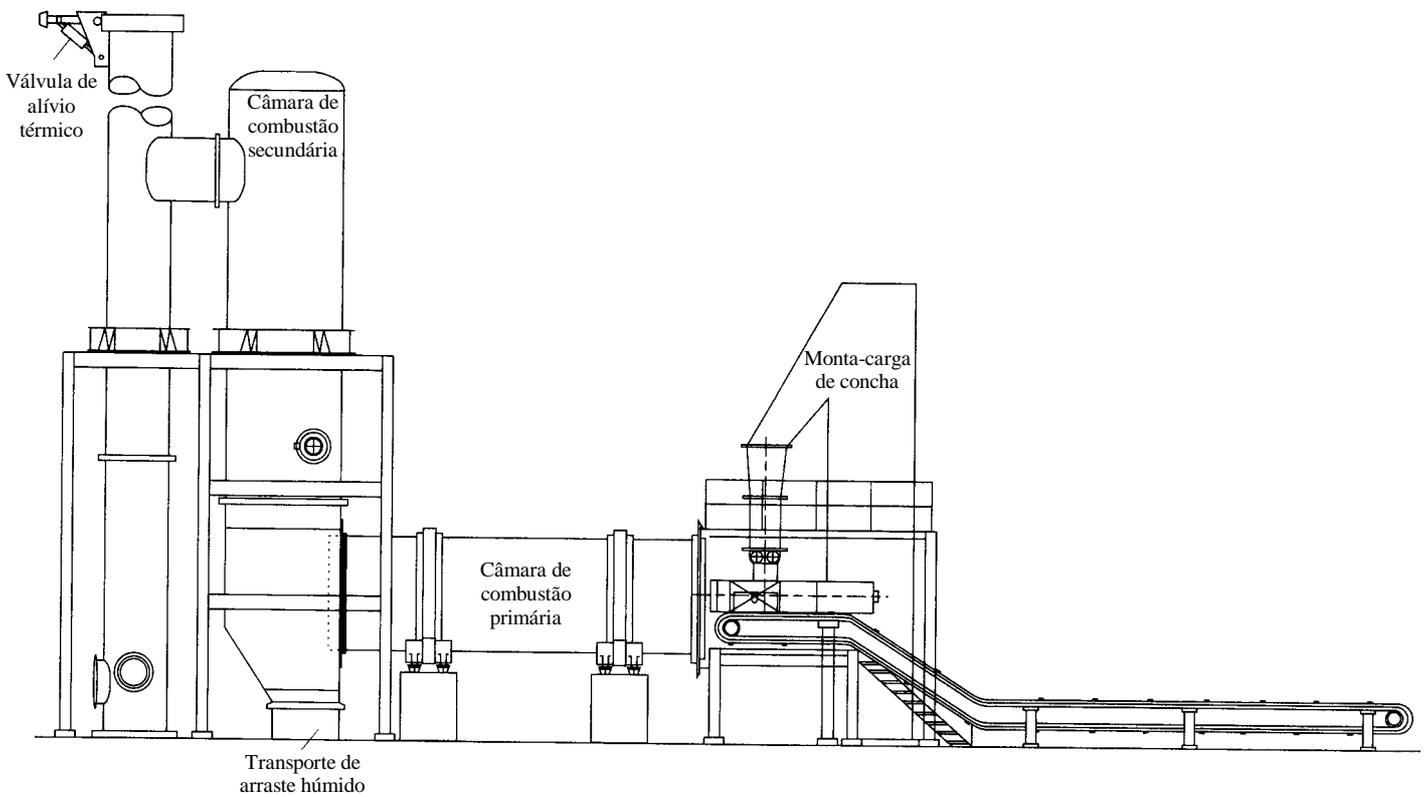


Figura 8.25 – Corte parcial de um incinerador.

Exemplo: Um forno rotativo concebido para uma libertação nominal de calor de $15000^{1,2,3}$ Btu/h ft³ tem um diâmetro interior de 8⁴ ft e comprimento de 30 ft.

1. Determine a libertação de calor projectada em Btu/h.
2. Normalmente um resíduo tendo um valor de aquecimento de 750 Btu/lb⁵ é queimado no forno. É alimentado continuamente através de uma broca. Ocasionalmente um resíduo consistindo em peletes de polietileno é alimentado em lotes para o forno em contentores de fibra de 30⁶ gal. As peletes têm uma densidade de 50⁷ lb/ft³ e um valor de aquecimento de 18350 Btu/lb. Um contentor é consumido em 6,5 minutos.
 - (a) Operará o forno dentro do que foi projectado?
 - (b) Que tipo de combustão esperará?
 - (c) Como corrigiria o problema se fosse o operador?

1. Volume do forno = $30 = 1508 \text{ ft}^3$

A libertação de calor é:

$$1508 \text{ ft}^3 \times 15000 \text{ Btu/h ft}^3 = 22620000 \text{ Btu/h}$$

2. (a) $30 \text{ gal} \times \frac{50}{7,48} \text{ lb/gal} = 201 \text{ lb}$ em cada contentor.

$$201 \text{ lb} \times 18350 \text{ Btu/lb} = 3688350 \text{ Btu de calor libertado.}$$

Mas isto ocorrerá em 6,5 min, assim a libertação de calor equivalente por h é:

$$\frac{60 \text{ min/h}}{6,5 \text{ min}} \times 3688350 \text{ Btu} = 34 \text{ milhões Btu/h}$$

Isto é cerca de 1,5 vezes a libertação de calor projectada de 22,6 milhões Btu/h, assim o forno não operará dentro dos parâmetros projectados.

- (b) Não existirá ar suficiente no sistema para queimar o resíduo de polietileno a esta taxa, de modo que o forno produzirá um denso fumo negro.

¹ 1 Btu = 1,0551 kJ

² 1 Btu/ft³ = 37.259 kJ/m³

³ 1 ft³ = 0,0283 m³

⁴ 1 ft = 0,3048 m

⁵ 1 Btu/lb = 2,326 kJ/kg

⁶ 1 gal = 0,003785 m³

⁷ 1 lb/ft³ = 16,019 kg/m³

(c) Para corrigir esta situação, o polietileno terá que ser empacotado em lotes mais pequenos. O seu tamanho terá que ser menor pelo menos por um factor de 1,5. Assim:

$$201/1,5 = 134 \text{ lb/lote}$$

$$134 \times 18350 = 2458900 \text{ Btu de libertação de calor}$$

$60/6,5 \times 2458900 = 22,7$ milhões Btu/h, que é quase o mesmo do valor projectado. A boa prática sugeriria que uma margem de segurança de pelo menos 10% fosse usada, de modo que cerca de 120 lb/lote é um bom tamanho. Para além disto, os contentores devem ser alimentados a uma taxa não superior a um por cada 6,5 min, digamos 9 por hora.

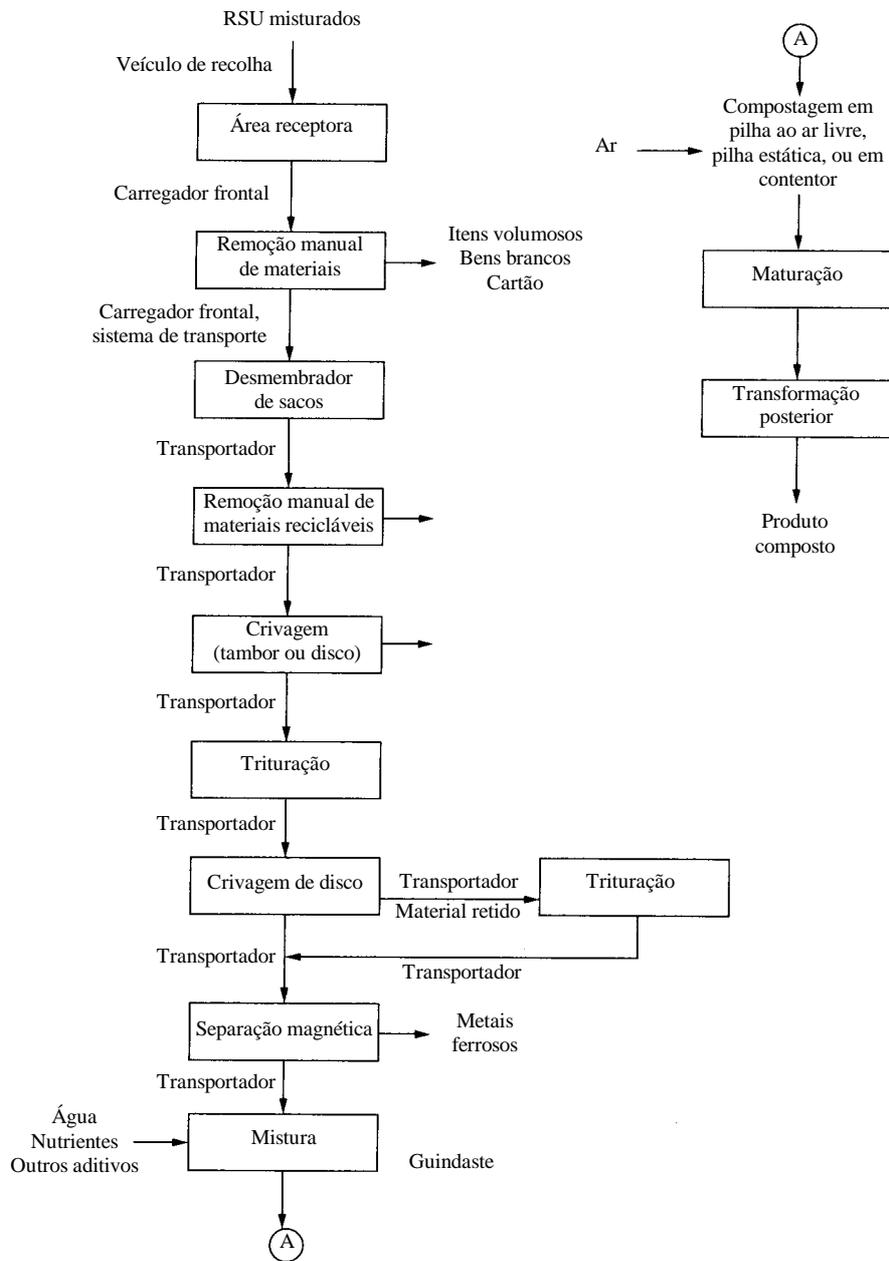
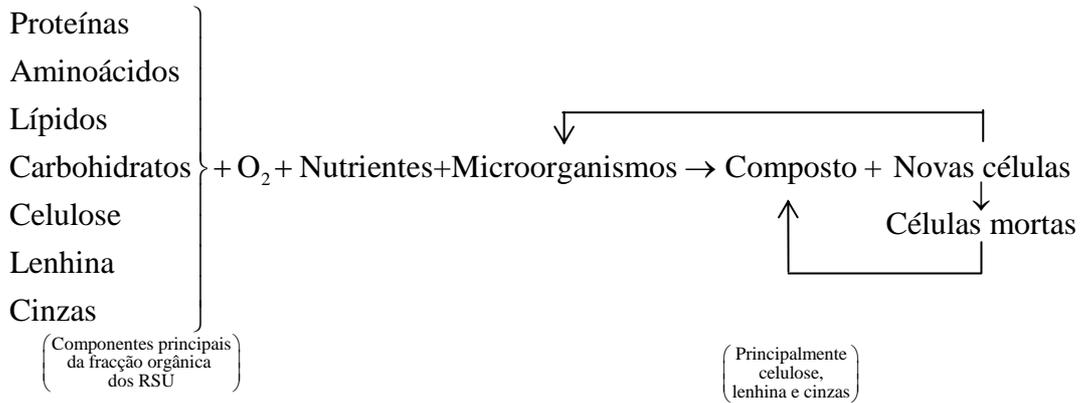


Figura 8.26 – Organograma geral para o processo de compostagem.

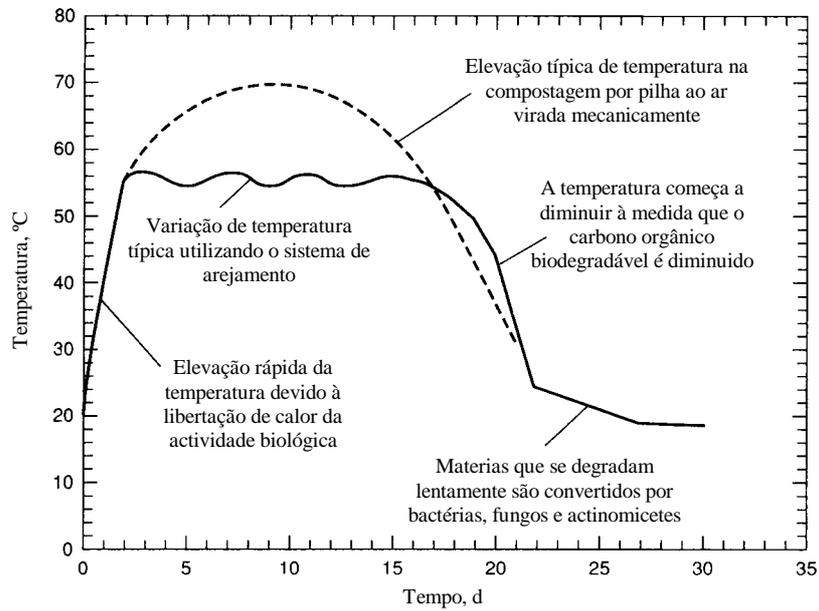


Figura 8.27 – Variação da temperatura durante o processo de compostagem.

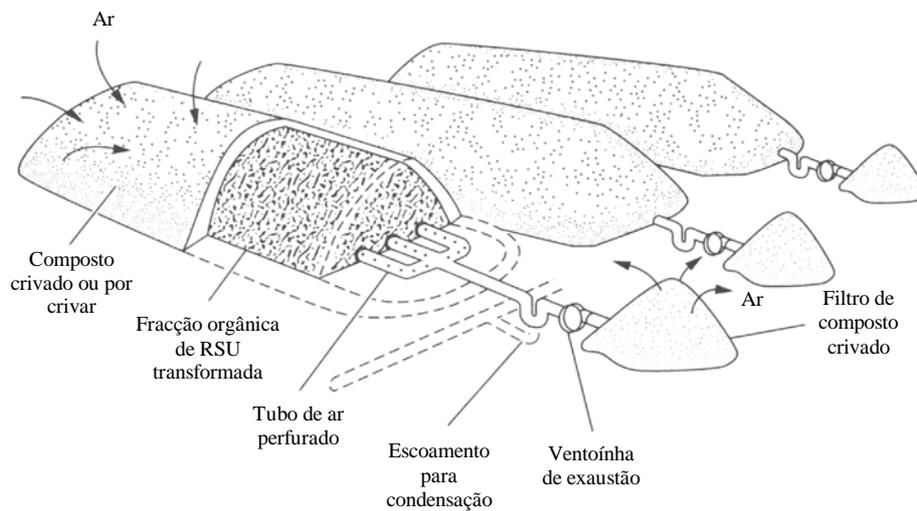


Figura 8.28 – Esquema do sistema de compostagem de pilha estática arejada.

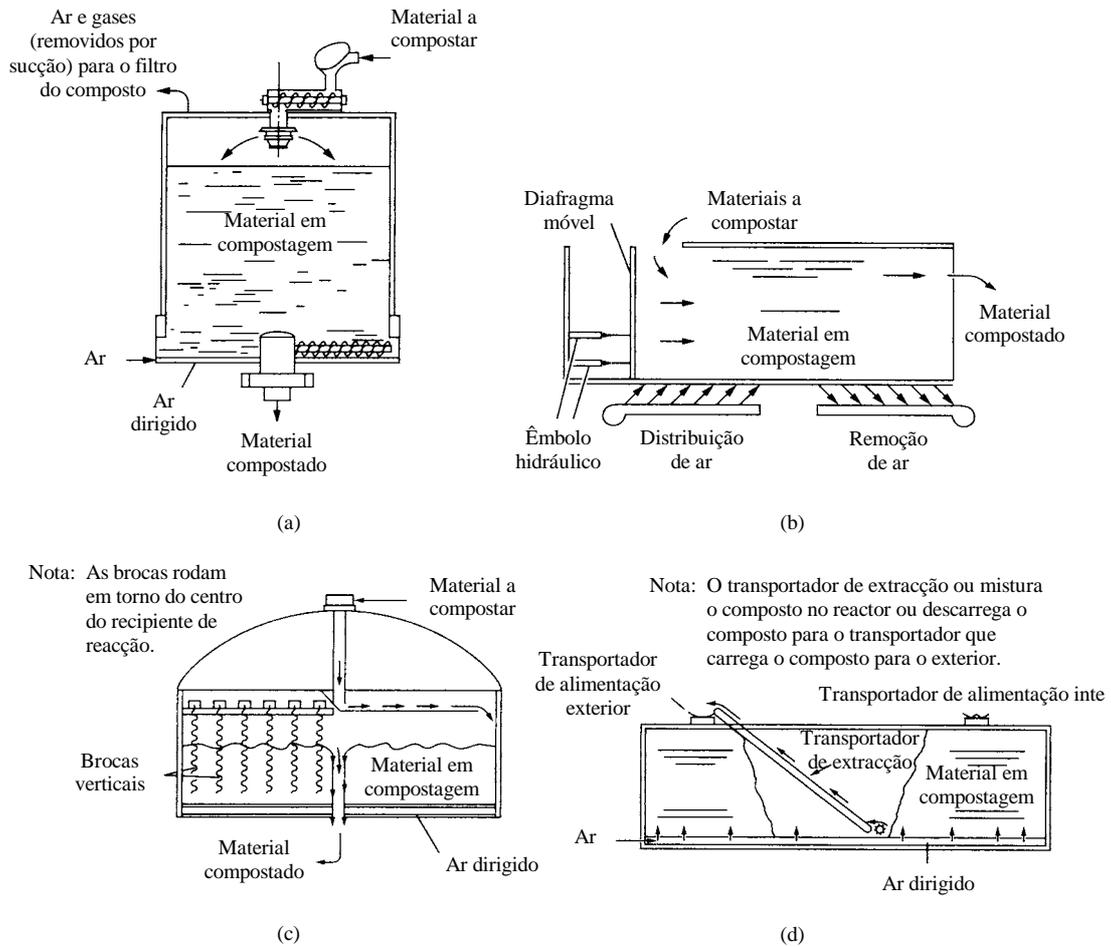


Figura 8.29 – Unidades de compostagem em recipiente: (a) reactor de escoamento vertical sem mistura, (b) reactor de escoamento horizontal sem mistura, (c) reactor vertical misto (dinâmico), (d) reactor horizontal misto (dinâmico).

Tabela 8.8 – Tecnologias de compostagem para resíduos de pátios

Nível de tecnologia	Descrição do processo
Mínimo	Envolve a formação de grandes montes que são virados uma vez por ano com um carregador frontal. O processo de compostagem de nível mínimo demora normalmente 18 a 36 meses.
Nível baixo	Para limitar os problemas de odor, são necessários montes mais pequenos e com maior frequência de viragem. As pilhas de tamanho moderado permitem uma actividade de compostagem suficiente, enquanto que limitam o sobreaquecimento e odores. Para além disso, podem combinar-se duas pilhas após a primeira “erupção” da actividade microbiológica (aproximadamente um mês). Após 10 a 11 meses e viragem adicional do monte, as pilhas podem formar-se em pilhas de cura em volta do perímetro do local, onde o estágio final do processo de composição (estabilização) tem lugar. Isto liberta área para a formação de novas pilhas.
Nível intermédio	Similar à aproximação tecnológica de nível baixo, excepto pelo facto dos montes serem virados semanalmente com uma máquina de viragem dos montes. A utilização destas máquinas limitará normalmente o tamanho das pilhas, aumentando assim o total de área de terra necessária.
Nível alto	Na aproximação de nível alto, o arejamento forçado é utilizado para otimizar o processo de compostagem. A aproximação de ar forçado mais comum é o método de pilha estática. O ventilador no método de arejamento forçado é normalmente controlado por um sistema de feedback de temperatura. Quando a temperatura dentro da pilha atinge um valor predeterminado, o ventilador liga-se, arrefecendo a pilha e removendo o vapor de água.
Nível muito elevado no recipiente	Os sistemas mecânicos são concebidos para minimizar odores e tempo de processamento pelo controle das condições ambientais tais como fluxo de ar, temperatura, e concentração de oxigénio.

Tabela 8.9 – Parâmetros de operação para vários níveis de tecnologia para a compostagem de resíduos de pátios

Nível de tecnologia	Dimensões do monte, m		Frequência de viragem	Tempo para obter o produto final, meses
	Altura	Largura		
Mínimo	3-3,5	6-7	1 vez/ano	24-36
Nível baixo	1,5-2	3,5-4	3-5 vezes/ano	14-18
Nível intermédio	1,5-2,5	3,5-5,5	Semanalmente	4-6
Nível alto	2,5-3	5-6	Pilha estática arejada ¹	3-4
Nível muito elevado no recipiente				2,0-2,5 ²

¹ O arejamento forçado é usado por um período de 2 a 10 semanas, em cuja altura os ventiladores são desligados e as pilhas são viradas periodicamente.

² Os tempos de compostagem no recipiente variam entre 8 horas a 20 dias, dependendo do processo. O material compostado é depois curado em montes abertos por 6 a 8 semanas adicionais.

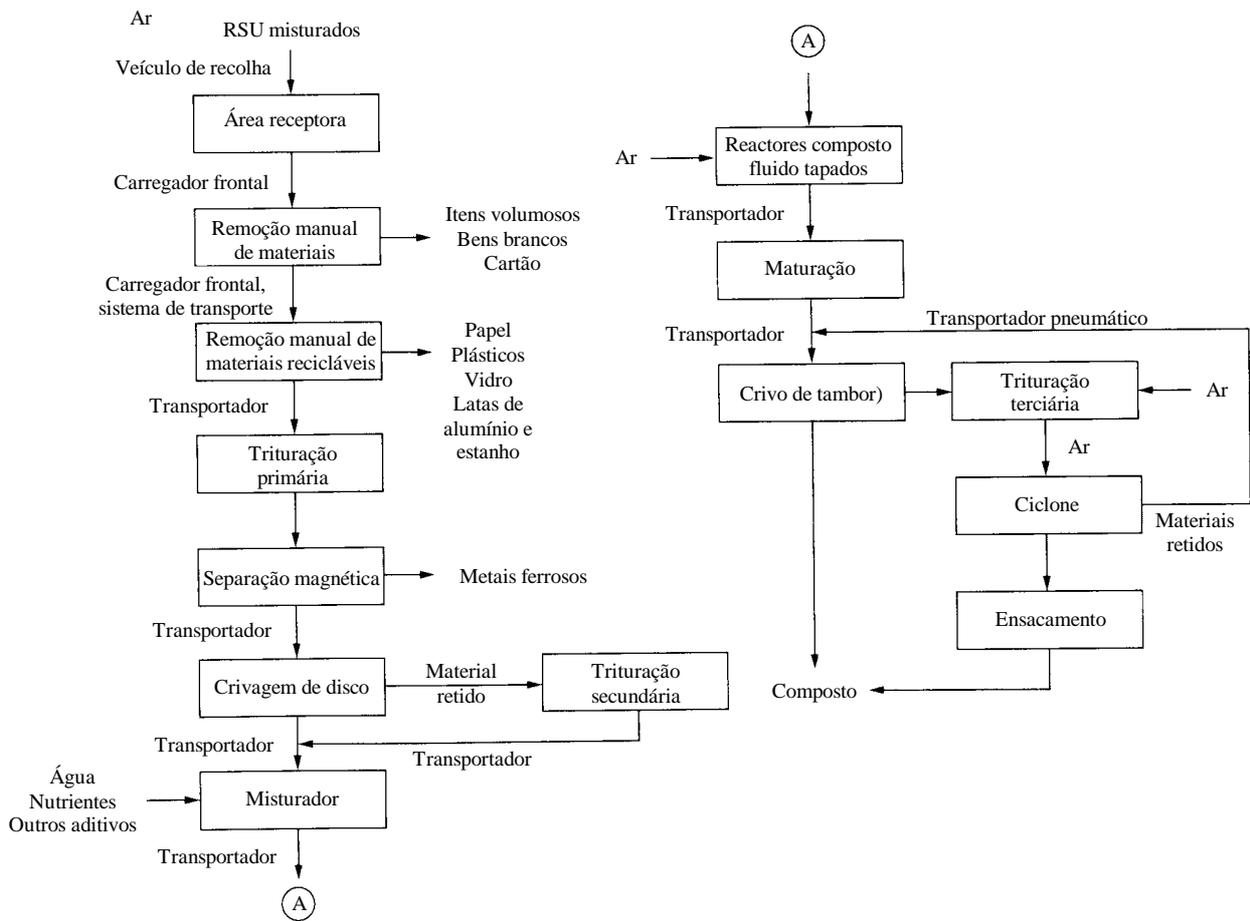


Figura 8.30 – Organogramas para o processo de compostagem Ashbrook Simon-Hartley.

Exemplo: Determine o teor energético do resíduo sólido municipal dado na tabela 2.5 para os seguintes níveis de reciclagem. Determine também a percentagem de reciclagem total, em peso, representada por cada nível de reciclagem.

Componente	Nível de reciclagem ¹ , %		
	Um	Dois	Três
Orgânico			
Resíduos alimentares	0	0	0
Papel	20	35	50
Cartão	20	30	40
Plásticos	20	30	40
Têxteis	10	20	30
Borracha	10	20	30
Couro	10	20	30
Resíduos de pátios	0	15	30
Madeira	10	20	30
Inorgânicos			
Vidro	20	30	40
Latas de estanho	10	20	30
Alumínio	50	70	90
Outros metais	10	20	30
Sujidade, cinzas, etc.	0	0	0

1. Estabeleça uma tabela de cálculo para determinar o peso e distribuição percentual do resíduo que permanece após vários níveis de reciclagem terem sido atingidos.
2. Estabeleça uma tabela de cálculo para determinar o teor energético de 100 lb do resíduo que permanece após vários níveis de reciclagem terem sido atingidos. Os valores Btu são da tabela do terceiro Exemplo do Capítulo III.

Como se mostra nos cálculos abaixo, o nível de reciclagem pode ter um impacto significativo no teor energético do resíduo. Por exemplo, se tivesse sido assinado um contrato para entrega de uma determinada quantidade de energia de uma instalação de conversão de resíduo em energia, seriam necessárias quantidades adicionais de resíduo para compensar pela perda do teor em Btu. Sem fontes adicionais do resíduo, a instalação poderia facilmente faltar ao seu contrato de energia. Embora as percentagens de reciclagem possam alterar-se, a aproximação geral desenvolvida neste exemplo pode ser usada para avaliar os impactos das estratégias de reciclagem alternativas.

Componente	Peso, lb ² (percentagem em peso)			
	Nível de reciclagem			
	Nenhum	Um	Dois	Três
Orgânico				
Resíduos alimentares	9,0 (9,0)	9,0 (10,3)	9,0 (11,9)	9,0 (13,9)
Papel	34,0 (34,0)	27,2 (31,1)	22,1 (29,1)	17,0 (26,3)
Cartão	6,0 (6,0)	4,8 (5,5)	4,2 (5,5)	3,6 (5,6)
Plásticos	7,0 (7,0)	5,6 (6,4)	4,9 (6,4)	4,2 (6,5)
Têxteis	2,0 (2,0)	1,8 (2,1)	1,6 (2,1)	1,4 (2,2)
Borracha	0,5 (0,5)	0,5 (0,6)	0,4 (0,5)	0,4 (0,6)
Couro	0,5 (0,5)	0,5 (0,6)	0,4 (0,5)	0,4 (0,6)
Resíduos de pátios	18,5 (18,5)	18,5 (21,1)	15,7 (20,7)	13,0 (20,1)
Madeira	2,0 (2,0)	1,8 (2,0)	1,6 (2,1)	1,4 (2,2)
Inorgânicos				
Vidro	8,0 (8,0)	6,4 (7,3)	5,6 (7,4)	4,8 (7,4)
Latas de estanho	6,0 (6,0)	5,4 (6,2)	4,8 (6,3)	4,2 (6,5)
Alumínio	0,5 (0,5)	0,3 (0,3)	0,2 (0,3)	0,1 (0,2)
Outros metais	3,0 (3,0)	2,7 (3,1)	2,4 (3,2)	2,1 (3,3)
Sujidade, cinzas, etc.	3,0 (3,0)	3,0 (3,4)	3,0 (4,0)	3,0 (4,6)
Total	100,0 (100,0)	87,5 (100,0)	75,9 (100,0)	64,6 (100,0)
Quantidade de resíduo reciclado, % em peso		12,5	24,1	35,4

Componente	Teor energético total, Btu ³			
	Nível de reciclagem			
	Nenhum	Um	Dois	Três
Orgânico				
Resíduos alimentares	18000	18000	18000	18000
Papel	244800	195840	150120	122400
Cartão	42000	33600	29400	25200
Plásticos	98000	78400	68600	58800
Têxteis	15000	13500	12000	10500
Borracha	5000	5000	4000	4000
Couro	3750	3750	3000	3000
Resíduos de pátios	51800	51800	43960	36400
Madeira	16000	14400	12800	11200
Inorgânicos				
Vidro	480	380	340	290
Latas de estanho	1800	1620	1440	1260
Alumínio	-	-	-	-
Outros metais	900	810	720	630
Sujidade, cinzas, etc.	9000	9000	9000	9000
Total	506530	426100	362380	300680
Quantidade de resíduo reciclado, % em peso	5065	4261	3624	3007

¹ Os níveis de reciclagem são baseados na quantidade total de material em cada categoria

² 1 lb = 453,6 g

³ 1 Btu = 1,0551 kJ