

## VI-013 - PROPOSIÇÕES DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA NO GERENCIAMENTO DE EFLUENTES DO TINGIMENTO DE ÁGATAS

**Ênio Leandro Machado<sup>(1)</sup>**

Químico Industrial. Doutor em Engenharia Metalúrgica, Minas e Materiais pela UFRGS. Professor do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental-PPGTA-UNISC.

**Vagner de Sales Dambros**

Biólogo. Mestre do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental-PPGTA-UNISC.

**Lourdes Teresinha Kist**

Química. Doutora em Química pela UFSC. Professora do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental-PPGTA-UNISC.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental-PPGTA- Universidade de Santa Cruz do Sul, Av. Independência, 2293. CEP: 96.815-900. Santa Cruz do Sul/RS, Brasil – Tel.: (51) 3717-7545. e-mail: [enio@unisc.br](mailto:enio@unisc.br)

### RESUMO

O processo industrial de beneficiamento de pedras preciosas gera riquezas para diversos municípios brasileiros, especialmente no Rio Grande do Sul. Considerando o crescente número de microempresas que processam pedras preciosas, a geração de efluentes se torna inevitável e também uma preocupação com relação à preservação da natureza. O presente estudo visou a proposição de medidas de produção mais limpa e sugere sugestões para tornar a cadeia de processos realizados na empresa estudada mais sustentável e comprometida ecologicamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tingimento, Ágatas, Produção mais limpa.

### INTRODUÇÃO

O Brasil pela sua formação geológica recente, possui muitos afloramentos de rochas e minerais em todo o seu território, e isso fez com que a exploração de minerais perdurasse desde a colonização brasileira até hoje. No estado do Rio Grande do Sul o comércio de pedras preciosas no período de 1998 a 2002 representou 0,40% da economia. Isto se explica devido ao grande número de municípios com afloramentos e minas de pouca profundidade, favorecendo a extração desses minerais.

No entanto, o produto final, elaborado a partir da pedra bruta passa por uma série de processos de beneficiamento até chegar ao seu estado final para a comercialização. Dentre esses processos, podem-se citar: corte ou serragem; lixamento; lavagem; queima; tingimento e polimento. A partir dos processos citados anteriormente, há a poluição do ar por partículas de sujidade das pedras e pó de sílica, emissão de calor e fumaça pela queima, gasto indiscriminado de água, assim como a sua poluição por ácidos, bases, metais pesados e corantes[1].

Dentre as etapas que a pedra bruta passa, a que mais polui é a do tingimento, pois essa pode alterar a cor da água (turbidez), mudar seu pH natural, alterar a sua condutividade, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nutrientes solubilizados (nitrogênio e fósforo por exemplo) além de contaminar ou poluir a água com metais pesados [2]. Embora as empresas trabalhem com variados tipos de pedras, são os geodos de ágata o principal tipo de pedra utilizada para tingimento. As cores usadas no processo de tingimento são muito variadas sendo predominantes o verde, o amarelo, o vermelho, o roxo, o rosa, o preto e o azul.

Considerando-se a relação de importância econômica e de impactos ambientais associados com o setor de pedras preciosas anteriormente descritas, neste trabalho foram investigadas as fontes geradoras de emissões de efluentes no processo de tingimento de Ágatas e alternativa para uma remediação mais limpa dos efluentes de tingimento do que a prática usual de oxidação com hipoclorito de sódio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização do Local de Estudo

A fase inicial dos estudos envolveu a caracterização de empresa de tingimento de Ágatas localizada no Rio Grande do Sul. Nesta etapa foram reconhecidos os fluxogramas de operação para tingimento de Ágatas com corantes orgânicos, obtendo-se informações de quantidades e tipos de: insumos, matéria-prima, uso de água e geração de efluentes.

### Determinações de indicadores ambientais - Matriz de Leopold

As análises e avaliações foram feitas com base na identificação dos processos advindos das diversas formas de usos no empreendimento com o conseqüente surgimento de processos e impactos ambientais no meio físico, biótico e antrópico.

A identificação e caracterização qualitativa dos impactos foram feitas a partir da utilização do método Matriz de Interação derivada da Matriz de Leopold [3].

Os prováveis impactos ao meio físico, biótico e antrópico decorrentes das atividades ou ações consideradas e representadas na matriz de interação, foram listados em consonância a cada elemento do meio. A identificação dos impactos se deu a partir da relação entre a ação prevista e o fator ambiental considerado e sua caracterização qualitativa.

A qualificação dos impactos seguiu os seguintes critérios:

Características de valor:

- a) Impacto positivo: quando uma ação causa melhoria da qualidade de um parâmetro;
- b) Impacto negativo: quando uma ação causa dano à qualidade de um parâmetro.

Características de ordem:

- a) Impacto direto: quando resulta de uma simples relação de causa e efeito;
- b) Impacto indireto: quando é uma reação secundária em relação a ação.

Características espaciais:

- a) Impacto local: quando a ação circunscreve-se ao próprio sítio e suas imediações;
- b) Impacto regional: quando um efeito se propaga por uma área além das imediações;
- c) Impacto estratégico: o componente é afetado coletivo, nacional ou internacional.

Características temporais:

- a) Impacto em curto prazo: quando o efeito surge no curto prazo (a ser definido);
- b) Impacto em médio prazo: quando o efeito se manifesta no médio prazo (a ser definido);
- c) Impacto em longo prazo: quando o efeito se manifesta no longo prazo (a ser definido).

Características dinâmicas:

- a) Impacto temporário: quando o efeito permanece por um tempo determinado;
- b) Impacto cíclico: quando o efeito se faz sentir em determinados períodos (ciclos);
- c) Impacto permanente: executada a ação, os efeitos não cessam de se manifestar num horizonte temporal conhecido.

Características plásticas:

- a) Impacto reversível: a ação cessada, o fator ambiental retorna às condições originais;
- b) Impacto irreversível: quando cessada a ação, o fator ambiental não retorna às suas condições originais, pelo menos num horizonte de tempo aceitável pelo homem.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Caracterização analítica dos efluentes

O principal enfoque deste trabalho diz respeito a gestão do uso das águas. Assim sendo, apresenta-se na Tabela 1 a caracterização analítica dos efluentes gerados no tingimento dos geodos com solução alcoólica de Rodamina B.

**Tabela 1.** Caracterização do efluente frente aos limites estabelecidos.

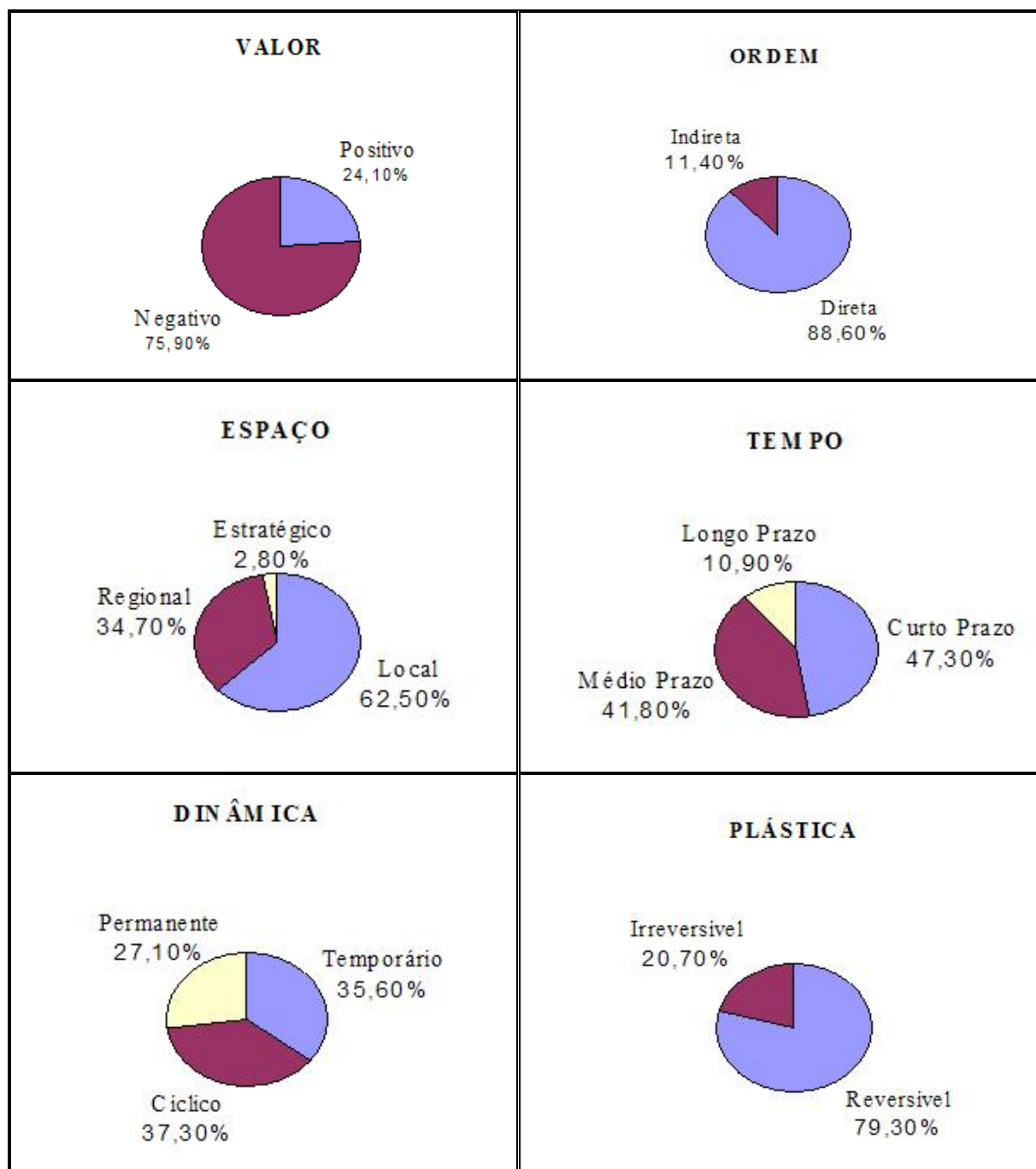
Parâmetro	Valores do Efluente Bruto	Limites Estabelecidos na Resolução CONSEMA-RS 128/06**
DQO ( $\text{mg L}^{-1} \text{O}_2$ )	2600	400
DBO <sub>5</sub> ( $\text{mg L}^{-1} \text{O}_2$ )	$\cong 0^*$	180
pH	5,6	9
Cor Real - Absorvância ( $\lambda = 585$ nm)	0,26	Não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor.
Nitrogênio Total ( $\text{mg L}^{-1}$ )	5,8	20
Fósforo Total ( $\text{mg L}^{-1}$ )	470,00	4
Surfactantes ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0,06	2,0 mg MBAS/L
Sólidos Suspensos ( $\text{mg L}^{-1}$ )	57,5	180
Sólidos Sedimentáveis ( $\text{mg L}^{-1}$ )	< 0,1	$\leq 1,0$ ml/L em teste de 1 (uma) hora em Cone Imhoff entre 6,0 e 9,0
pH	5,6	-
Turbidez (UT)	19,2	-
Condutividade ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	0,363	-
Aberrações Cromossômicas %	27	-
EC <sub>50</sub> ( <i>Daphnia magna</i> )	26,794	-
Vazão ( $\text{m}^3 \text{dia}^{-1}$ )	<20	-

\* Valor abaixo do limite de determinação do método. \*\* Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul.

Vários parâmetros podem ser considerados como críticos quanto ao impacto ambiental limitado pela resolução CONSEMA 128/06. Dentre estes aparecem a DQO, Fósforo Total e cor real. No entanto, aspectos associados a toxicidade e genotoxicidade, caracterizam adicionais analíticos importantes para configurar o efluente em estudo como perigoso, pois as classificações de genotóxico e altamente ecotóxico são demonstrada com o percentual de aberrações cromossômicas e pelo índice de inatividade percentual do microcrustáceo *Daphnia magna*. Neste sentido, mesmo que possa ser atenuada a carga poluente dos efluentes do tingimento com medidas de produção mais limpa, parece ser adequado o estudo de método de tratamento dos efluentes que possam detoxificar a fração orgânica responsável por este comportamento.

### Proposições de Produção Mais Limpa

O diagnóstico das atividades do processamento de Ágatas foi desenvolvido para estabelecer prognósticos visando proposições de P + L. A partir da Matriz de Leopold foram detalhadas as fases impactantes do processamento de Ágatas do estudo. Consequências aos meios físicos, biológicos e antrópicos evidenciam um grande número de ocorrências do tipo de ações ambientalmente comprometedoras nas etapas de tingimento e lavagem pós-tingimento. Na Figura 1 é apresentado o resumo das características das ações impactantes.



**Figura 1** - Resumo das características das ações impactantes da empresa estudada.

As considerações atuais de remediação de efluentes devem ser acompanhadas de estudos prévios de redução da carga poluente. Na indústria estudada o processo de tingimento foi o foco principal de avaliação.

A análise da matriz de interações representada permitiu perceber que o único fator de impacto positivo do processo de tingimento está no ganho econômico, o que permitira relativa inclusão de renda na região de localização da empresa. No entanto, a utilização de corantes orgânicos, especialmente a Rodamina B, é o principal aspecto de impacto ambiental negativo e de ação direta. A associação dos impactos locais, bem como, os de médio e curto prazo estão relacionados com as características do corpo hídrico, que é configurado como de baixa vazão ( $< 10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ), e portanto facilmente impactado pela carga poluente descartada.

No que diz respeito ao processo de britagem das ágatas e do seu tingimento é que estão associadas também os

impactos de características dinâmicas e plásticas. Sendo que neste estudo observou-se a potencialidade de controlar os aspectos plásticos de impacto através de modificações do lay out do tingimento e da potencialidade da remediação mais limpa dos efluentes.

Como medidas de proposição resultantes das fases caracterizadas como problemáticas no processamento das ágatas podem ser recomendadas as seguintes ações:

- Modificação do *layout* geral da empresa através de uma reorganização de processos internos à empresa, não necessitando modificar os procedimentos. De acordo com essa proposição, o processo produtivo estaria disposto de uma forma mais organizada, favorecendo o transporte de matéria-prima para dentro da empresa, bem como para a sua expedição. Ainda, haveria uma maior disponibilidade de espaços de circulação e menor desgaste físico dos funcionários, assim como uma menor exposição dos operários ao material particulado em suspensão, devido à introdução de filtros-manga no processo de britagem e rolagem (Figura 2);
- Modificação do procedimento de tingimento criando duas correntes de tingimento, uma orgânica e uma inorgânica. Assim cada uma das correntes de tingimento teria um tratamento próprio e específico, sem haver a mistura de componentes químicos diferentes, facilitando a detoxificação dos efluentes provenientes da lavagem pós-tingimento (Figure 3);
- Investigação de processo de remediação com potencial detoxificante a fim de modificar todas as variáveis físicas e químicas do efluente para que fiquem adequadas às condições exigidas pelo CONSEMA (128/06) e um processo recuperador de insumos na cadeia produtiva, pela introdução de elementos como calhas, substâncias que possam adsorver os corantes e posteriormente devolvê-los, reusando-os no tingimento, por exemplo.

As sugestões de Produção Mais Limpa pertinentes a esta etapa incluem:

- Modificação do procedimento de tingimento, criando duas correntes de tingimento, uma orgânica e uma inorgânica. Assim cada uma das correntes de tingimento teria um tratamento próprio e específico, sem haver a mistura de componentes químicos diferentes, facilitando a detoxificação dos efluentes provenientes da lavagem pós-tingimento.
- Investigação de processo de remediação com potencial detoxificante a fim de modificar todas as variáveis físicas e químicas do efluente para que fiquem adequadas às condições exigidas pelo CONSEMA (128/06) e um processo recuperador de insumos na cadeia produtiva, pela introdução de elementos como calhas, substâncias que possam adsorver os corantes e posteriormente devolvê-los, reusando-os no tingimento, por exemplo.
- O descolorimento dos efluentes do tingimento orgânico de pedras preciosas consistiu na última das três etapas de proposições de P + L neste estudo. Sugere-se que sejam estabelecidos ensaios com fotodegradação, ozonização em meio alcalino e fotoozonização.

Aumentando, ainda, os ganhos ambientais propõem-se a instalação de filtros-manga e ciclone a fim de evitar-se os materiais particulados liberados na britagem e rolagem. Além disso, após o parafinamento a mercadoria já poderia ser carregada no transporte.

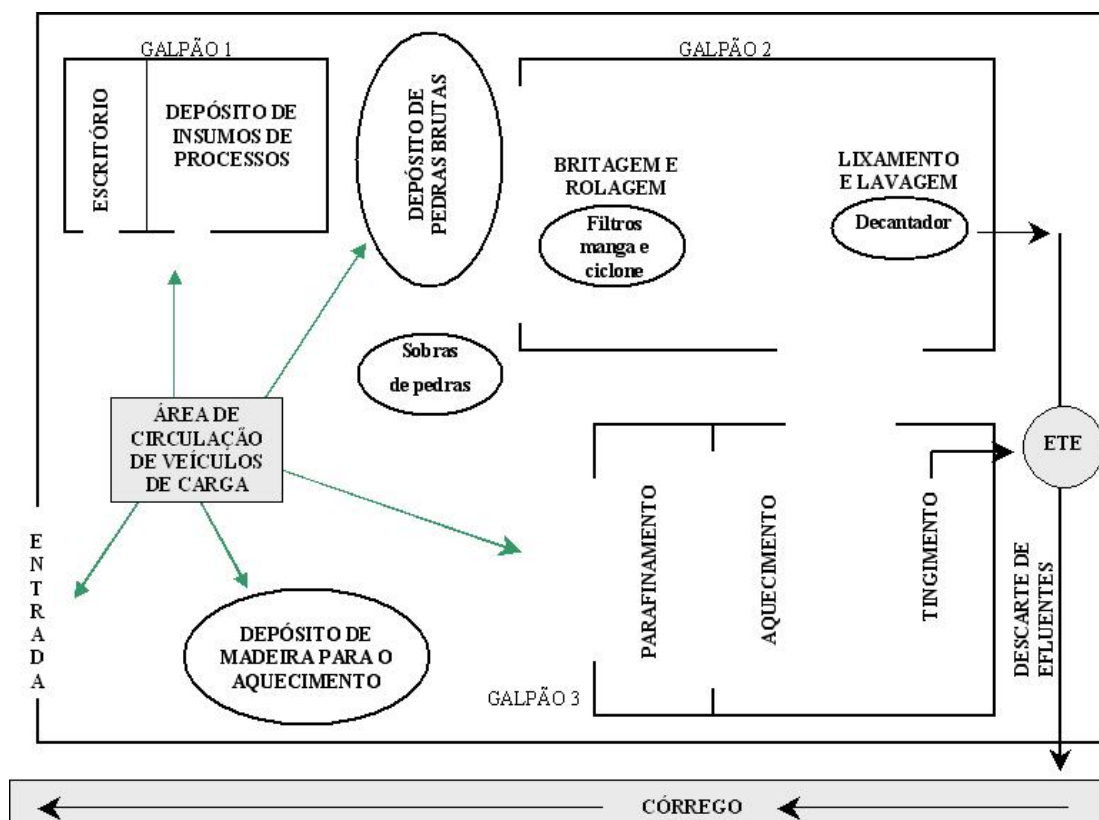


Figura 2. Sugestão de novo layout geral para a empresa.

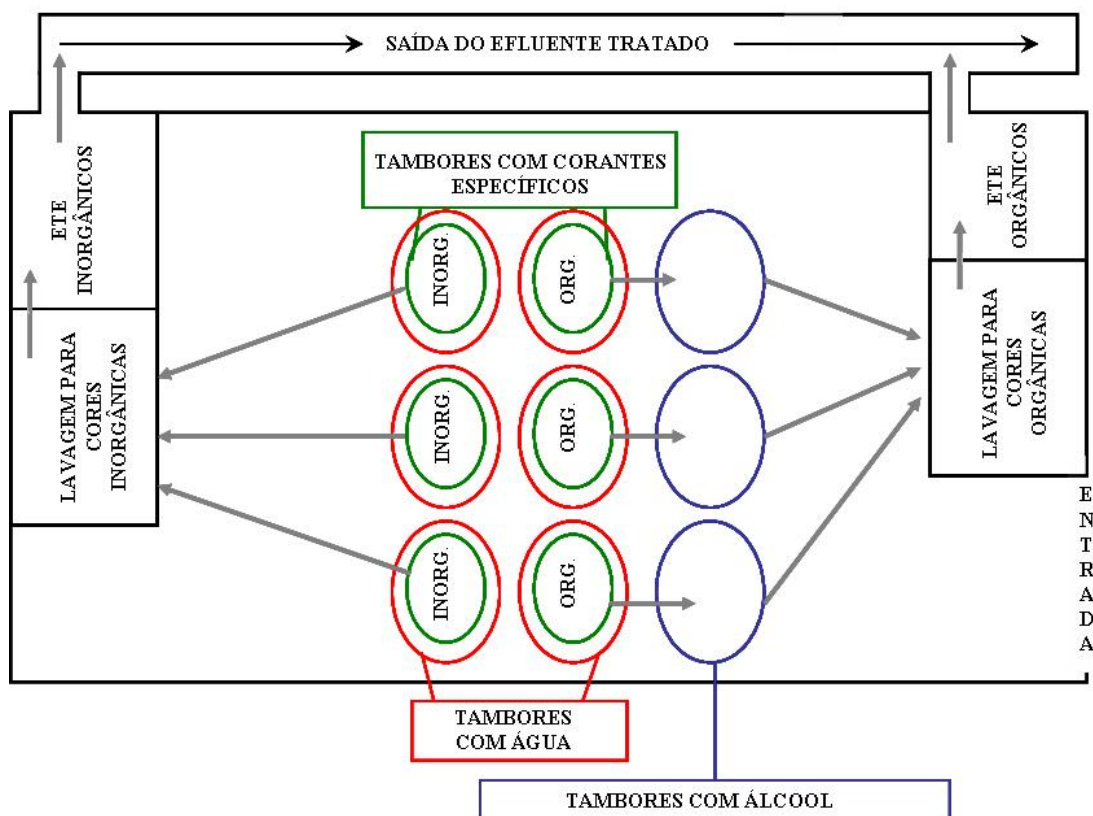


Figura 3. Sugestão de novo layout de tingimento.



As modificações propostas para a metodologia de tingimento visam uma redução no gasto de corantes e reaproveitamento de uma parte maior dos mesmos. A separação dos processos de tingimento em duas correntes, uma orgânica e outra inorgânica, favorece a posterior etapa de tratamento dos efluentes que são produzidos no processo, uma vez que os efluentes provenientes da coloração por íons metálicos e por anilinas não serão misturados e poderão ser tratados de forma segregada e coerente com a sua composição química. Assim, cada estação de tratamento de efluentes (ETE), trataria apenas um grupo de águas de despejo específico como visto na Figura 3.

## CONCLUSÕES

A redução dos impactos ambientais no processo de tingimento de Ágatas com corantes orgânicos pode ser alcançada com a adoção das sugestões operacionais de P + L definidas neste trabalho. Com o novo *layout* de disposição do processo também poderá ocorrer maior produtividade e segregação efetiva de efluentes contendo corantes orgânicos e inorgânicos, possibilitando recuperações e remediações mais efetivas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SENGGER, A. M. Tratamento de efluente das indústrias de beneficiamento de pedras preciosas, Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, 2005.
2. DAMBROS, V. S. Processo de tingimento de ágatas: medidas de produção mais limpa e estudos de detoxificação do efluente. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – UNISC – Universidade de Santa Cruz do Sul. p. 66. 2008.
3. LEOPOLD, L. B.; CLARKE, F. E.; HANSHAW, B. B.; BALSEY, J. R. A procedure for evaluating environmental impact. Geological Survey Circular, 1971 [Washington D.C.].