

Análise de integração de ferramenta de simulação de processo e ferramenta de desempenho ambiental para busca de melhoria ambiental em processo industrial

Marcell Mariano Corrêa Maceno (UFPR) marcell.maceno@gmail.com

Kethlin Oliveira Reis (UFPR) kethlin.reis@hotmail.com

Juliana Santos Krüger (UFPR) julianaskruger@gmail.com

Giovanna Grillón (UFPR) giovanna.grillon@hotmail.com

Resumo:

Este artigo teve por objetivo analisar a integração da simulação de um processo industrial obtida através do software Simul8®, com a ferramenta analítica de desempenho ambiental EPIP. O processo industrial analisado foi o de fabricação de copos de polipropileno. Através deste processo, foi possível realizar uma coleta de dados e a projeção do processo em um modelo de simulação de modo a testar o referido processo. Este modelo de simulação possibilitou a obtenção de informações de balanços de entrada e saída de massa e rateio das quantidades materiais entre produtos e resíduos. Além disso, foi possível simular os tempos das operações e a integração delas. Com estes resultados da simulação de processo, foi possível obter os dados de entrada para a avaliação de desempenho ambiental através da EPIP. Em simulação realizada através da EPIP, foi possível identificar os aspectos ambientais prioritários para a busca de melhorias ambientais visando a redução do impacto e a melhoria de desempenho do processo em estudo. Alguns dados como custos unitários e de energia não foram fornecidos pela ferramenta de simulação de processo, sendo necessária a coleta *in loco*. Através da integração das ferramentas, foi possível identificar pontos de melhoria do processo e planejar mudanças futuras visando a melhoria do desempenho ambiental dele.

Palavras-chave: Simulação de processo, EPIP, Desempenho ambiental.

Integration analysis of process simulation tool and environmental performance tool to search for environmental improvement in industrial process

Abstract

This paper aimed to analyze the integration of the simulation of an industrial process obtained through the software Simul8®, with the analytical tool of environmental performance, EPIP. The industrial process analyzed was the manufacture of polypropylene flakes. Through this process, it was possible to perform a data collection and the projection of the process in a simulation model in order to test the said process. This model of simulation made it possible to obtain information on input and output balances and apportionment of material quantities between products and waste. In addition, it was possible to simulate the times of operations and their integration. With these results of the process simulation, it was possible to obtain the input data for the environmental performance evaluation through EPIP. In a simulation carried out through the EPIP, it was possible to identify the priority environmental aspects for the search of environmental improvements aiming at reducing the impact and improving the performance of the process being studied. Some data such as unit and energy costs were not provided by the process simulation tool, and *in loco* collection. Through the integration of the tools, it was possible to identify points of improvement of the process and to plan future changes aiming to improve its environmental performance.

Key-words: Process simulation, EPIP, Environmental performance.

1. Introdução

As empresas atualmente estão se preocupando cada vez mais com o impacto ambiental e as significativas mudanças no meio ambiente, que comprometem a disponibilidade de recursos naturais e a qualidade de vida do homem. Assim as empresas têm investido em métodos para minimizar os impactos ambientais causados em seus processos produtivos. Segundo Vilhena e Politi (2000), alguns dos benefícios que se tem pela preocupação com os impactos ambientais, são a recuperação de insumos, a diminuição dos desperdícios e o aumento do valor agregado ao processo produtivo como um todo. Para o gerenciamento desses impactos ambientais é necessário se utilizar de ferramentas que proporcionem a Análise de Desempenho Ambiental (ADA) de um processo produtivo. Segundo a ISO/FDIS 14031 (1998), a avaliação de desempenho ambiental é um processo para facilitar decisões de gerenciamento de desempenho ambiental de uma organização, selecionando indicadores, criando e analisando banco de dados, avaliando informações e desempenho. Neste contexto, este trabalho utilizou a ferramenta analítica EPIP (Ferramenta Analítica de Desempenho Ambiental em Processos Industriais), que segundo Maceno (2015) possui índice único de resultado e tem o propósito de auxiliar gestores na tomada de decisão na indústria em busca de melhorias ambientais.

O processo produtivo analisado foi o de fabricação de copos de polipropileno. Esta análise foi possível após o conhecimento do processo produtivo, a identificação dos tipos de resíduos gerados, o levantamento de dados referentes a cada etapa do processo e a simulação do modelo computacional feito no software Simul8®. Segundo Law (2007) algumas vantagens apresentadas pela simulação são responsáveis pela sua propagação como a possibilidade de descrever com precisão um sistema complexo real; estimar o desempenho de um sistema; realizar experimentos avaliando novas propostas entre outras.

Portanto, este artigo objetivou analisar a integração entre a simulação de processos e uma ferramenta analítica de desempenho ambiental para fins de avaliação de desempenho ambiental de um processo simulado.

2. Revisão da literatura

Para auxiliar na compreensão deste estudo, foram detalhados nos tópicos 2.1 e 2.2 os temas de Simulação de processos e Desempenho ambiental de processos industriais, temas estes relevantes para a integração destas ferramentas de modo a avaliar o desempenho ambiental de um processo simulado.

2.1. Simulação de processos

De acordo com Prado (2008) a simulação é uma técnica que permite imitar o funcionamento de um sistema real utilizando o computador digital e têm inúmeras aplicações no mundo atual em diversas áreas, sendo uma delas a de manufatura.

Segundo Freitas Filho (2008) algumas das vantagens da simulação computacional são que, após o modelo de simulação ter sido desenvolvido, este pode ser utilizado várias vezes para avaliar projetos propostos, permitindo reproduzir os problemas de forma mais rápida ou mais lenta para melhor avaliação e nível de detalhes muito semelhante ao sistema real.

2.2. Desempenho ambiental de processos industriais

O desempenho ambiental de uma empresa é o resultado obtido do gerenciamento de seus aspectos ambientais (ISO/FDIS 14031, 1998). Para Reis (1996), desempenho ambiental é o estágio atingido por uma organização ao tratar as relações entre todos os aspectos das suas atividades e seus riscos e efeitos ambientais significante.

É preciso fazer uma contínua avaliação do desempenho ambiental da empresa, para que ela produza seus bens em conformidade ambiental. Somente com a avaliação, a empresa tem consciência da situação em que se encontra, podendo então melhorar sua performance ambiental nas áreas que não estão em conformidade.

A Avaliação do Desempenho Ambiental (ADA) é uma ferramenta importante em qualquer empresa. Segundo TIBOR e FELDMAN (1996), as informações geradas auxiliam na avaliação dos riscos ambientais e no planejamento para evitar esses riscos. Para a IISD (1996), através da ADA, a organização pode fazer um acompanhamento sistemático dos custos ambientais, possibilitando otimizar a aquisição de recursos, avaliar possível redução de custos diretos e indiretos, diminuição dos custos com a não conformidade e identificar melhorias no processo produtivo para que esteja dentro das normas ambientais, contribuindo para a sua sustentabilidade.

Para Silveira e Tanaka (1996), as normas ambientais fornecem ferramentas e estabelecem padrões de gerenciamento ambiental. Através destas, as organizações podem sistematizar o seu gerenciamento ambiental e estabelecer metas para a certificação ambiental.

2.3. Ferramenta EPIP (MACENO, 2015)

A ferramenta analítica utilizada neste estudo para a análise do desempenho ambiental é chamada de EPIP (Ferramenta Analítica de Desempenho Ambiental em Processos Industriais). As variáveis definidas para a análise do desempenho ambiental podem ser divididas em dois grupos, sendo o grupo de análise econômica e o grupo de avaliação de impactos ambientais. Desta forma, entre as variáveis do grupo econômico, tem-se o Custo de Perda de Material (CPM), o Custo de Energia Consumida (CEC), o Custo de Destino Material (CDM), o Custo de Gestão Localizada (CGL), o Custo de Pesquisa e Desenvolvimento (CPD) e o Custo de Externalidades (CE_x). Além disso, tem-se a variável de Custo de Gestão Global (CGG) que surge na equação de somatória dos resultados de desempenho ambiental de todos os aspectos ambientais e serve para ser utilizado quando se deseja comparar o desempenho ambiental do processo industrial em estudo com o desempenho de outro processo correlato. Para o grupo de avaliação de impactos ambientais, tem-se a Análise de Impactos por Consumo e Emissões Materiais (AICEM) e a Análise de Impactos por Consumo Energético (AICE). Além disso, para cada categoria de dano presente no grupo AIA, existe uma ponderação através do método multicritério AHP (Análise Hierárquica de Processo), que trabalha na decomposição da complexidade e na divisão do problema de decisão em fatores, sendo que estes podem ser fracionados a níveis ainda menores, estabelecendo as relações entre estes fatores (MARINS *et al.*, 2009). Isto possibilita ponderar uma determinada categoria em relação às outras, afim de representar um ajuste das condições ambientais em que a indústria está inserida.

A EPIP pode ser organizada por três equações principais. A primeira equação é o cálculo do Custo do Aspecto Ambiental CAA(n) de acordo com a Equação 1.

$$CAA(n) = [CPM(n) + CEC(n) + CDM(n) - CGL(n) - CPD(n) + CE_x(n)] \cdot [ICEM(n) + IEC(n)] \quad (1)$$

Na Equação 1, são considerados custos para cada aspecto ambiental n , para todas as variáveis de custos, sendo que a unidade de medida é a unidade monetária \$. Nesta equação CPM(n) corresponde a variável de Custo de Perda Material, CEC(n) a variável de Custo de Energia

Consumida, CDM(n) o Custo de Destino Material, CGL(n) o Custo de Gestão Localizada para cada aspecto ambiental, CPD(n) o Custo de Pesquisa e Desenvolvimento, CEx(n) o Custo de Externalidades, ICEM(n) o Impacto ambiental do consumo e/ou emissão de material para o meio ambiente e IEC o Impacto ambiental do consumo de determinado tipo de energia.

A segunda equação corresponde ao cálculo do Custo Total dos Aspectos ambientais CAAT, conforme Equação 2.

$$CAAT = \sum_{n=1}^i CAA(n) + CGG \quad (2)$$

Na equação 2, o CAAT representa a somatória do $n=1$ até $n=i$, dos Custos de Aspecto Ambiental CAA(n), o Custo de Gestão Global (CGG), refere-se aos gastos da indústria com ações de gestão ambiental que tenham impacto em toda a empresa, sendo i o número total de aspectos ambientais levantados no processo industrial em análise.

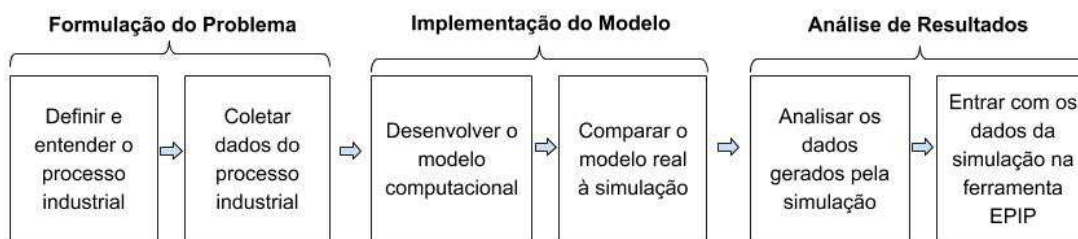
Por fim, a terceira equação representa o Custo Relativo CR%(n) de cada aspecto ambiental n , conforme Equação 3.

$$CR\%(n) = \frac{CAA(n)}{CAAT - CGG} \quad (3)$$

Na equação 3, CR%(n) representa o custo relativo de cada aspecto ambiental n , o CAA(n) corresponde ao custo de aspecto ambiental, CAAT é o cálculo do Custo Total dos Aspectos ambientais e CGG corresponde ao custo de gestão global.

3. Metodologia

Este artigo correspondeu a uma análise da integração entre a simulação de processos e uma ferramenta de desempenho ambiental para fins de avaliação de desempenho ambiental de um processo simulado. Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizadas as metodologias de Chwif e Medina (2010) para simulação de processos e Maceno (2015) para mensuração de desempenho ambiental. Neste contexto, foi elaborado o diagrama de blocos da Figura 1 com as etapas do estudo. Estas etapas são melhor descritas nos tópicos 3.1 à 3.3.



Fonte: Os Autores (2017)

Figura 1 – Diagrama de blocos de etapas de desenvolvimento do estudo.

3.1. Formulação do Problema

O estudo iniciou com a definição do processo industrial a ser utilizado para teste, visando analisar a integração entre a simulação de processo e ferramenta de avaliação de desempenho ambiental. Para isso, foi definido como caso o processo industrial de fabricação de embalagens de plástico para lácteos fermentados (iogurte) de 150 mL (copos de iogurte), que

tem como matéria-prima grãos de polipropileno (PP), termoplástico de fácil modelagem quando aquecido. Este processo industrial foi escolhido, baseado no estudo de Maceno (2015), por ter sido um processo industrial já mapeado em ambiente real, possibilitando a obtenção das informações necessárias para aplicação e produção de um processo simulado correlato através de software de simulação.

Neste contexto, a partir do processo industrial definido, buscou-se o entendimento do processo industrial a ser simulado, sendo elaborado um fluxograma do processo para compreensão de cada etapa.

Na sequência, foi necessário definir a unidade funcional e o limite de sistema do processo industrial em estudo. A partir disso, tornou-se possível a coleta e definição de dados para realização da simulação de processo, etapa metodológica esta detalhada no item 3.2.

3.2. Simulação de processo

Desenvolveu-se o modelo computacional com base no modelo real por meio da utilização do software de simulação comercial Simul8®, que para Chwif & Medina (2010) é considerado um dos melhores softwares e é reconhecido mundialmente.

Para a simulação ser realizada, foi necessário inserir os dados obtidos a partir da observação do processo real da produção de copos. Os dados necessários foram:

- Tempo médio em minutos da chegada da matéria prima até o silo misturador;
- Tempo médio em minutos de processamento em cada máquina;
- Custo por quilograma de polipropileno;
- Custo de funcionamento da máquina por minuto; e
- Quantidade em forma de porcentagem de material processado que seguirá para a próxima etapa do processo, ou que seguirá para a trituração.

Após a obtenção de dados através da observação do processo real, foi possível cadastrar a simulação no software e obter o resultado de simulação.

3.3. Avaliação de desempenho ambiental de processo industrial

A ferramenta analítica utilizada para a avaliação do desempenho ambiental da indústria fabricante de copos plásticos foi a EPIP. Esta ferramenta possui índice único de resultado, possibilitando a hierarquização dos aspectos ambientais do processo industrial em análise dos mais impactantes (pior desempenho ambiental) para os de menor impacto, facilitando a tomada de decisão para busca de melhoria do processo em estudo.

A obtenção do resultado de desempenho ambiental de aspectos ambientais através da EPIP pôde ser realizada através de 6 estágios, descritos na sequência.

No 1º Estágio ocorreram as etapas ligadas a definição da unidade funcional, limite de sistema e a coleta de informações sobre o processo produtivo. Na coleta de informações, foi necessário o levantamento do processo, a elaboração do fluxograma do processo e identificação dos aspectos ambientais relativos a matérias-prima, insumos e resíduos no processo produtivo.

O 2º Estágio envolveu as etapas de quantificação de materiais (matérias-prima, insumos consumidos e os resíduos gerados identificados), de quantificação dos custos unitários de cada material utilizado no processo, de levantamento das potências e tempos de uso das máquinas ao longo do processo produtivo, da quantificação dos destinos de resíduos e os tipos de destinos adotados, e do preenchimento das fichas de coleta de dados.

O 3º Estágio tratou do levantamento dos custos de Gestão, que envolve a quantificação dos custos relacionados a medidas localizadas de gestão, tais como treinamentos, calibração de equipamentos, custos de gestão que abrangem toda a indústria, tais como o custo de implementação de Sistema de Gestão Ambiental e de Certificação do sistema, os custos de Auditoria Ambiental, dentre outros. Estes custos só seriam aplicados na simulação com a EPIP após a primeira implementação da ferramenta no caso em estudo. Desta forma, este custo foi considerado zero para este estudo.

O 4º Estágio envolveu a identificação das categorias de impactos ambientais pelo consumo e emissão de material e pelo consumo de energia que estão relacionadas a cada aspecto ambiental levantado, seguido da identificação dos compostos e tipos de energia relacionados a este aspecto ambiental para cada categoria de impacto ambiental.

O 5º Estágio tratou da definição dos fatores de ponderação de categorias de danos ambientais. Para este estudo, foi utilizada a ponderação baseada no método AHP, através da análise comparativa entre categorias de danos, considerando as condições de ambiente de entorno previstas para a indústria.

Por fim, no 6º Estágio, fez-se a análise dos resultados obtidos pela implementação da EPIP, podendo-se utilizar o resultado do CR% como valor para classificação dos aspectos ambientais, do mais crítico para o menos crítico, auxiliando na identificação dos itens de interesse para a tomada de decisão em busca de melhorias ambientais.

Vale ressaltar finalmente que as informações relativas ao processo estudado, nos estágios 1º e 2º, foram obtidas da simulação do processo, justificando a utilização da simulação como ferramenta integrada para buscar melhoria de desempenho ambiental em um processo produtivo.

4. Resultados e discussão

4.1. O processo industrial, fluxograma de processo, unidade funcional e limite de sistema

O processo industrial estudado foi o de fabricação de copos plásticos de polipropileno utilizados como embalagem de iogurte, sendo que o fluxograma de processo levantado segue Figura 2.

Nesse processo, os pellets de polipropileno (matéria-prima) são carregados até o silo misturador, que uniformiza os diferentes tamanhos dos grãos de polipropileno. Após esse processo, os grãos são encaminhados para a extrusora, que os aquece até o seu derretimento e, por meio de uma força, gera um filme de plástico rígido que é bobinado depois de ser resfriado por um sistema hidráulico, metade da água do sistema se transforma em vapor e a outra metade é levada até um reservatório para que a água seja resfriada e possa voltar a ser utilizada no sistema novamente. As sobras de chapa são levadas até a trituradora de modo a produzir grãos de PP que retornam ao início do processo de fabricação. As bobinas passam para o processo de termoformagem, em que o plástico é aquecido e conformado como copo através do uso de molde. Os copos então são cortados da folha, o resto da folha que é a grelha de polipropileno, é levada até a máquina de trituração, em seguida volta para o início do processo de fabricação. A última etapa da fabricação dos copos é realizada pelas máquinas impressoras *dry offset*. A impressão é dividida em três fases, sendo primeiramente a de acerto de impressão, em seguida a impressão e por fim o controle de qualidade dos copos impressos. Após todo esse processo de fabricação os copos são embalados e estocados, dando fim ao processo.

Para este processo em estudo, foi definido como unidade funcional o período de 4 semanas, sendo considerado um funcionamento de atividade de segunda à sábado, sendo 8 horas de

trabalho por dia, resultando em 192 horas de processamento. Como limite de sistema, foi considerado as etapas de recebimento de PP até o controle de qualidade. As etapas de embalagem e estocagem não foram consideradas para a simulação, pois foram consideradas não gerarem perdas materiais suficientes que justificassem a mensuração do desempenho ambiental.



Fonte: Os Autores (2017)

Figura 2 - Fluxograma do processo de fabricação de copos plásticos.

4.2.Dados coletados para simulação do processo

Após a observação do processo real de fabricação de copos plásticos e a realização do fluxograma, foi possível fazer o levantamento de alguns dados. Para estabelecer a porcentagem de rateio que seguiu para a próxima etapa do processo foi feito um cálculo através de regra de três simples, onde a quantidade total de material processado na máquina selecionada equivaleu a 100% e a quantidade que passou para a próxima etapa equivaleu a porcentagem de rateio. Conforme os dados obtidos dessa etapa, foi possível a elaboração da Tabela 1.

Processo	Tempo de processamento (kg/min)	Rateio (%)
Recebimento de PP	0,55	100%- Silo misturador
Homogeneização em Silo Misturador	0,52	100%- Extrusão
Extrusão e bobinamento	0,41	12%- Trituração 88%- Termoformagem
Termoformagem	0,52	34%- Trituração 66%- Impressão
Impressão <i>dry offset</i>	0,51	0,20%- Acerto de impressão 99,8%- Controle de qualidade

Fonte: Os Autores (2017)

Tabela 1 – Levantamento de dados do processo de fabricação de copos plásticos.

4.3. Resultado da simulação do processo

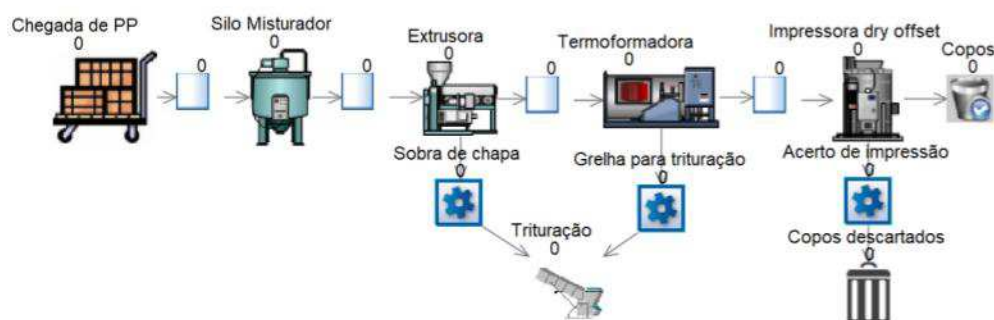
Após a coleta dos dados necessários para a simulação do modelo computacional, conforme item 4.2, obteve-se resultado conforme a Tabela 2.

Processo	Quantidade de material processado (kg)	Quantidade de material para trituração (kg)	Quantidade de material para descarte (kg)
Chegada de PP	20952	0	0
Homogeneização em Silo Misturador	20952	0	0
Extrusão e bobinamento	20952	2504	0
Termoformagem	18440	6279	0
Impressão <i>dry offset</i>	12158	0	17

Fonte: Os Autores (2017)

Tabela 2 –Resultado da simulação do processo de fabricação de copos plásticos.

Além disso, foi possível obter o esquema de simulação, conforme Figura 3. Neste esquema de simulação estão representados os processo mapeados no processo real analisado, como o Recebimento de PP (Chegada de PP), Silo Misturador, Extrusora, Termoformadora, Trituração e Impressão *dry offset*.



Fonte: Os Autores (2017)

Figura 3 - Fluxograma do processo de fabricação de copos plásticos.

Após analisar o resultado da simulação, foi possível identificar os dados necessários para entrada na ferramenta EPIP, para a avaliação do desempenho ambiental.

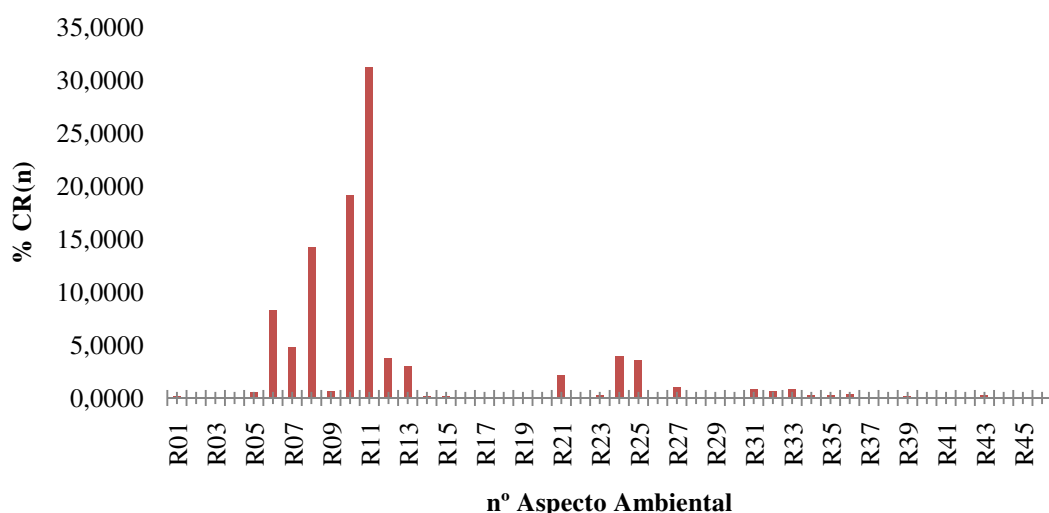
Os dados de saída obtidos pela simulação de processos foram os da Tabela 2.

Ressalta-se que alguns dados a serem utilizados pela EPIP não foram obtidos pela simulação do processo através do software Simul8®, sendo estes dados o custo unitário da matéria prima e o custo da energia utilizada em cada máquina.

Desta forma, para a implementação da ferramenta EPIP, foi necessário a coleta dos dados faltantes *in loco*, de modo a possibilitar a avaliação do desempenho ambiental do processo industrial estudado.

4.4. Resultado da avaliação de desempenho ambiental pela EPIP

Obteve-se como resultado da ferramenta EPIP a Figura 4. Pode-se observar que o Custo Relativo CR%(n) que indica o aspecto ambiental de maior custo, é o de número 11. O R11 corresponde à sobra de grelha de polipropileno no processo de termoformagem do processo de fabricação dos copos plásticos. Conforme obtido através da simulação, de 18440kg de bobinas de filme plástico que eram processados na máquina termoformadora, 6279kg iam para a trituração e 12158kg seguiam para a próxima etapa do processo produtivo. O alto custo desse aspecto se deu através do consumo de energia elétrica durante o processo de termoformagem e o custo do material. Consequentemente os impactos ambientais observados foram o de consumo do recurso energia elétrica e a sobra de polipropileno no processo.



Fonte: EPIP (2017)

Figura 4 – Custo Relativo de cada aspecto.

4.5. Análise da integração da Simulação de processos com a ADA pela EPIP

Pôde-se analisar que a partir da observação de um processo produtivo existente e a obtenção de alguns dados desse processo, foi possível realizar a simulação computacional do mesmo. Com a simulação pôde-se observar o comportamento do processo produtivo por um período de tempo estabelecido, para avaliar seus custos e quantidades de materiais utilizados nesse período. Através da simulação computacional foi possível realizar a análise do resultado obtido, de modo que esse resultado possa ser utilizado para abastecer alguns dados de entrada da ferramenta EPIP. Deste modo foi possível realizar a avaliação do desempenho ambiental do processo produtivo. O resultado obtido através da ferramenta EPIP, auxiliou no entendimento de qual aspecto do processo produtivo gera o maior custo e impacto ambiental, auxiliando na tomada de decisão de modo a minimizar os impactos ambientais causados pelo processo produtivo.

Foi percebido ainda que a integração entre software de simulação de processo e a ferramenta EPIP não ocorre de forma completa, necessitando de complementação de dados de custos unitários materiais e de consumo de energia, ocasionando uma etapa adicional de coleta de informações *in loco* para obtenção de todos os dados de entrada exigidos para a simulação com a ferramenta de avaliação de desempenho ambiental.

Apesar disso, percebeu-se que esta integração das ferramentas pode ser bastante útil e proveitosa para processos industriais, visto que a simulação de processo auxilia projetar mudanças de processo, sem uma interferência real do mesmo, ou seja, com instalação de maquinário, movimentação de pessoas, treinamento, mudanças de layout, dentre outras ações, e a integração com a ferramenta EPIP auxilia na avaliação de desempenho ambiental de modo a avaliar se mudanças previstas de processos teriam redução ou acréscimo de impacto. Esta integração possibilita redução de custo e tempo, e melhor condição de planejamento para implementação de alterações e melhorias em processos produtivos.

5. Conclusão

A construção de um modelo computacional de um processo produtivo real possibilitou a avaliação da simulação do processo em diferentes cenários de tempo estabelecidos. Consequentemente isto possibilitou a avaliação do desempenho ambiental nesses cenários através da aplicação dos resultados da simulação na ferramenta analítica EPIP. A simulação não supre todos os dados de entrada da ferramenta EPIP, para isso foi necessária a análise de cada etapa do processo produtivo. Sendo considerados os aspectos ambientais, materiais de entrada e resíduos em cada etapa do processo, o consumo de energia elétrica em cada máquina e custo unitário do material.

Pode-se concluir que a integração da simulação do processo real e a ferramenta EPIP, agilizou a visualização dos aspectos ambientais de maior custo e consequentemente os impactos ambientais, auxiliando na tomada de decisão de modo a minimizar tanto os impactos ambientais causados pelo processo, quanto os custos relacionados aos impactos.

6. Referências

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. 3. ed. rev. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

FREITAS FILHO, P. J. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena*. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

IISD. *International Institute for Sustainable Development*. ISO 14000 and business strategy: an annotated bibliography, 1996.

ISO/FDIS 14031. *Environmental management - Environmental performance evaluation - Guidelines*. Strikethrough Version, 1998.

LAW, A. M. *Simulation Modeling & Analysis*. 4. ed. Boston: Ed. McGraw-Hill, 2007.

MACENO, M.M.C. *EPIP – Ferramenta Analítica de Desempenho Ambiental em Processos Industriais: Desenvolvimento e Aplicações*. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - PPGERHA, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PRADO, D. S. *Usando o ARENA em Simulação*. 3. ed. Belo Horizonte: Ed. INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2008.

REIS, Maurício J. L. *ISO 14000: Gerenciamento ambiental - Um novo desafio para a sua competitividade*. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark/IISD, 1996.

SILVEIRA, A.G; TANAKA, N.L. *Base de dados de legislação ambiental: requisito normativo para a certificação ambiental*. Porto Alegre: Trabalho apresentado no encontro nacional de informação jurídica, 1996.



VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 06 a 08 de dezembro de 2017

TIBOR, T.; FELDMAN, I. *ISO 14000 Um guia para as novas normas de gestão ambiental*. São Paulo: Futura, 1996.

VILHENA, A.; POLITI, E. *Reduzindo, reutilizando, reciclando: a indústria ecoeficiente*. São Paulo: CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem: SENAI, 2000.