

ANÁLISE DO LAYOUT DE UMA USINA DE CONCRETAGEM POR MEIO DO SOFTWARE FLEXSIM

LAYOUT ANALYSIS OF ONE PLANT OF CONCRETING USING SOFTWARE FLEXSIM

Isabela Neto Piccirillo¹

Manoel Francisco Carreira^{1*}

Mariana Primo Dario¹

¹Universidade Estadual de Maringá – Centro de Tecnologia – Departamento de Engenharia de Produção - Maringá – Paraná.

*Autor para correspondência. E-mail: mfcarreira@uem.br

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi analisar a aplicação do software FlexSim afim de auxiliar no projeto de layout para um sistema de produção de usina de concreto em uma construtora na cidade de Maringá. Para isso, buscou-se uma análise bibliográfica de layout, do software FlexSim para que fosse entendido a maneira de simular e como deveria ser utilizado para que assim fosse verificado as características do layout e seus gargalos. Posteriormente foi analisada a preparação dos materiais que envolvem tal fabricação bem como toda a operação envolvidas e em seguida a utilização do FlexSim para análise dos pontos de melhorias.

Palavras-chave: *FlexSim, Layout, usina de concreto.*

Abstract

The purpose of this search was to analyse the software application FlexSim in order to assist in the project of layout to the production system concrete factory in a building in the city Maringá. For this, sought to a bibliographical analyse of layout, FlexSim software to be understood the way to simulate and how it should be used so that it was verified the features of layout and its bottlenecks. It was later considered the preparation os materials involving such manufacture as well as the entire operation involved and then the use of the FlexSim for analysis of the improvements.

Key-words: *FlexSim, Layout, concrete factory.*

1. Introdução

O cenário da construção civil atual possui muitos gastos e desperdícios com materiais e, visando a diminuição de custos, a empresa na qual esse estudo é baseado, optou por fabricar seu próprio concreto.

Além dos gastos, a dependência de concreto de empresas terceirizadas, causa grande atraso no cronograma das obras e, com a produção própria de concreto, é possível controlar o tempo de fabricação, tempo de entrega e a quantidade que será necessária em uma determinada obra.

O layout na produção de concreto assim como para qualquer indústria é um elemento de suma importância para que os sistemas sejam eficazes e lucrativos. De acordo com Olivério (1985) o projeto do arranjo físico ou projeto de instalações industriais (*Layout, Plant Layout, Facility Design*) compreende o estudo e projeto do arranjo espacial e organizacional dos fatores de produção (materiais, equipamentos, mão-de-obra), dos serviços de apoio (utilidades, pessoal, suprimentos) e administrativo da fábrica. Ao estabelecer a localização de equipamentos, estoques e demais áreas e suas formas, o projetista do arranjo físico está estabelecendo as relações físicas existentes entre elas e também possibilita a flexibilização dos meios de produção e a integração da manufatura, atributos que podem implicar em uma vantagem competitiva.

Os problemas envolvendo layout são complexos e difíceis de serem formulados através de meios analíticos, pois envolvem um grande conjunto de combinações viáveis e possuem características subjetivas que dificultam um tratamento puramente matemático (CAMAROTTO; MENEGON, 2006).

Em vista disso, este artigo tem como resposta a estas dificuldades a análise do layout através do software FlexSim que auxilia na análise de melhorias no arranjo físico e ajuda na identificação dos gargalos do processo. A modelagem e simulação computacional de eventos discretos são aplicadas em diversos segmentos. O modelo computacional desenvolvido neste software visa analisar como se pode reduzir o tempo no processo, aumentar a qualidade do projeto, melhorar a apresentação de ideias, interação e análise de diferentes cenários bem como consenso de qual arranjo é mais viável propiciando assim agilidade na movimentação.

A empresa “X” onde foi realizado o estudo está localizada na cidade de Maringá e atuada indústria da construção civil. Suas principais atividades são construções imobiliárias e industriais. A empresa é de pequeno porte e possui 15 funcionários.

2. Revisão de literatura

2.1. Simulação dinâmica

O uso de ferramentas de simulação dinâmica tem como objetivo principal a modelação de cenários produtivos a fim de auxiliar na tomada de decisão e, com isso, otimizar a produção.

Um modelo pode ser descrito como uma representação simplificada da realidade, sendo possível classificá-los de várias formas. Teoricamente, é possível a modelação de qualquer cenário existente, aplicando e utilizando todas as variáveis intervenientes na constituição dos elementos do modelo (CASTLE; CROOKS, 2006).

Uma simulação, como o nome indica, representa a execução deste mesmo modelo, assim, é a execução sucessiva dos comportamentos e interações dos agentes intervenientes (MACAL; NORTH, 2010).

Atualmente, existe um grande número de áreas, abrangendo as temáticas políticas, sociais e econômicas, em que o uso da simulação faz parte do processo de obtenção de resultados e otimização de recursos. Um estudo já realizado (ABU-TAIEH; ABDEL; EL, n.d.) divide os 56 modelos identificados pelas respectivas 22 áreas de intervenção, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos de simulação divididos por áreas de intervenção

Área de Intervenção	Modelos	Porcentagem do Total
Sistemas de fabricação	Analytica, AutoMod, ExpertFit, Factory Explorer, Flexsim, GoldSim, GPSS World for Windows, MAST, MICROSAINTE, NAG SMP Library, Resource Manager, (PIMSS), Proplanner Manufacturing Process Management Software, SIGMA, SimCAD Pro, Visual Simulation Environment	14%
Gestão de recursos humanos	Analytica, Arena, Crystal Ball Standard Edition & Professional Edition, DecisionPro, DecisionScript, ExpertFit, MyStartegy, ProModel-ProcessModel, ProVision, SimCAD Pro, STELLA / ithink, VSE, WebGPSS (micro-GPSS)	11%
Gestão e Logística	AnyLogic 5.0, Arena, Flexsim, MAST, (PIMSS), SAS Software, SLIM, Supply Chain Builder, VSE	10%

Fonte: Abu-taieh, Abdel, & El, (n. d.)

Continuação Tabela 1 – Modelos de simulação divididos por áreas de intervenção

Área de Intervenção	Modelos	Porcentagem do Total
Redes computacionais e de comunicações	AnyLogic 5.0, AweSim, ExpertFit, GPSS World for Windows, Optsim (Artifex), SAS Software, SLIM, VisSim, VSE	8%
Sistemas de Transporte	AnyLogic 5.0, AutoMod, Berkeley Madonna™, ExpertFit, NAG SMP Library, SLIM, VisSim, Visual Simulation Environment, Witness	7%
Gestão de uso de solo	AutoMod, Enterprise Dynamics, ExpertFit, Extend, SAS Software, SimCAD Pro	6%
Educação	Any Logic 5.0, NAG SMP Library, PASION Simulation System, STELLA / ithink, VSE, WebGPSS (micro-GPSS)	4%
Sistemas de saúde	AutoMod, ExpertFit, MICROSAINTE, NAG SMP Library, SIGMA, VSE	4%
Sistemas militares e de combate	AnyLogic 5.0, ExpertFit, MICROSAINTE, NAG SMP Library, STARDIS, VSE	4%
Modelos financeiros	Analytica, DecisionPro, DecisionScript, GAUSS, NAG SMP Library	4%
Avaliação da complexidade do design de sistemas	AnyLogic 5.0, Arena, AutoMod, NAG SMP Library, SIGMA, VSE	3%
Aeroespacial	Analytica, AutoMod, NAG C Library, QX3D, Witness	3%
Indústrias de Gás e Petróleo	Analytica, Design II simulation Package, NAG SMP Library	3%
Congestionamento de Tráfego	eM-Plant, Factory Explorer, ShowFlow, SIMUL8,	3%
Tomada de decisão e análise de risco	Analytica, Crystal Ball Standard Edition & Professional Edition, DecisionPro, SIMPROCESS	3%
Sistemas de Serviço	Arena, ExpertFit, SIGMA, Visual Simulation Environment	2%
Sistemas mecânicos e robóticos	Dymola, QX3D, SimCAD Pro	2%
Avaliação da performance computacional	AnyLogic 5.0, Visual Simulation Environment	1%

Fonte: Abu-taieh, Abdel, & El, (n. d.)

Como pode ser verificado na Tabela 1, a área que possui maior porcentagem de atuação dos modelos de simulação é a de Sistemas de fabricação ficando a área de Avaliação da performance computacional com a menos porcentagem.

Um sistema que é desenvolvido através de simulação é dotado de um conjunto de regras (maioritariamente sob a forma de equações matemáticas) que regem o comportamento dos agentes da rede no modelo a analisar. Estes modelos podem também ser determinísticos

ou estocásticos, sendo necessária para esta última classificação a execução de várias simulações (AKÇELIK; BESLEY, 2007).

Os modelos podem também ser classificados quanto à forma de abordagem, ou seja, se se apresentam como sendo dedutivos ou indutivos. No caso da micro-simulação, os modelos são dotados de abordagens indutivas, ou seja, bottom-up, em que inicialmente é feita uma caracterização dos elementos de base do sistema, sendo efetuada posteriormente uma junção destes mesmos elementos em diferentes classes, até que seja obtida uma caracterização completa do universo que o modelo pretende representar (VON ZUBEN; ATTUX, n.d).

2.1. A produção de concreto

De uma maneira geral, o concreto é considerado um material composto sendo seus principais componentes o cimento, os agregados miúdo e graúdo e a água. Tradicionalmente, o comportamento do concreto no estado fresco é resumido em uma única palavra: trabalhabilidade, definida como “a propriedade que determina o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco com uma perda mínima de homogeneidade”, sendo que, o termo manipular inclui todas as operações das primeiras idades como lançamento, adensamento e acabamento (ASTM C-125 (1993) apud MEHTA; MONTEIRO (1994)).

A trabalhabilidade de um concreto é influenciada por diversos fatores, como:

- o tempo decorrido desde a mistura;
- as propriedades do cimento e dos agregados (em particular a forma das partículas, a distribuição granulométrica e a porosidade);
- a presença de qualquer adição mineral em substituição ao cimento, como a escória de alto-forno, a cinza volante e a sílica ativa;
- a presença de qualquer adição química, como os aditivos superplastificantes, os retardadores de pega e os incorporadores de ar;
- as proporções relativas dos materiais constituintes da mistura;
- o procedimento de mistura empregado na produção do material (seqüência de colocação dos materiais constituintes da mistura no misturador).

Assim, existem diversos fatores a serem considerados e a situação é se torna complicada pelo fato de que existem interações entre eles, isto é, os fatores não são independentes um dos outros em seus efeitos.

O concreto pode ser entendido como sendo uma concentração de partículas sólidas em suspensão (agregados) em um líquido (pasta de cimento e/ou de aglomerantes)(FERRARIS, 1999). Como a pasta de cimento envolve os agregados em um concreto, ao manter constante a dimensão máxima característica e a quantidade de agregados presentes na mistura, relacionam-se as propriedades reológicas do concreto às propriedades reológicas da pasta de cimento (GHIO, 1993), além do que a pasta é responsável pela maior parte da área superficial do concreto.

Agulló et al. (1999) consideram a pasta de cimento como a responsável pela fluidez e a coesão do concreto, fazendo com que a trabalhabilidade e outras propriedades reológicas do concreto se tornem dependentes das características da pasta.

As propriedades das pastas de cimento e dos concretos são sensíveis à sequência e intensidade de mistura. A sequência usada para a incorporação dos vários materiais constituintes durante a mistura pode influenciar a trabalhabilidade de forma significativa, o que também pode ser observado na sua fluidez (AGULLÓ et al, 1999).

O grau de uniformidade em um lote de concreto não depende apenas do misturador empregado, mas também do método e da sequência de incorporação dos materiais constituintes da mistura (TATTERSALL, 1991). Porém, mesmo quando todo o cuidado necessário é tomado, ainda assim poderá haver uma variabilidade da trabalhabilidade dentro do lote de concreto considerado.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a perda de abatimento pode ser definida como a perda de fluidez do concreto fresco com o passar do tempo. Ela ocorre quando a água livre de um mistura de concreto é consumida pelas reações de hidratação, por adsorção na superfície dos produtos de hidratação e por evaporação. A redução do abatimento é um fenômeno normal em todos os concretos porque resulta do enrijecimento gradual e pega da pasta de cimento hidratada, que está associada à formação de produtos de hidratação (etringita e C-S-H).

Sob condições normais, na primeira meia hora após o contato entre a água de mistura e o cimento, a perda de abatimento é insignificante em função do pequeno volume de produtos de hidratação formados no período (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Na sequência, o concreto começa a perder abatimento sob uma taxa que é função da hidratação, da temperatura, da composição do cimento e dos aditivos presentes na mistura. Porém, em algumas situações, é possível observar um rápido endurecimento do concreto fresco quando adições químicas são utilizadas em conjunto com o cimento Portland. Assim, a compatibilidade de um determinado par cimento-aditivo, em termos de perda de abatimento,

pode e deve ser inicialmente estudada a partir de medidas de fluidez da pasta com auxílio de ensaios simples e fáceis de serem executados.

2.3. Layout

Devido as especificidades da produção do concreto, o arranjo do layout passa a ser de suma importância para obter qualidade no produto final.

O arranjo físico deve ser estabelecido a partir do estudo planejado do sistema de informações relacionado com a distribuição de móveis, equipamentos e pessoas pelo espaço disponível, da forma mais racional possível (DIAS, 1993).

O arranjo físico acaba por influir na motivação, gerando maior ou menor eficiência no trabalho. No caso da produção do concreto, o arranjo influencia também na qualidade do produto final, já que a produção de concreto deve ser planejada de forma que todas as etapas ocorram no tempo determinado para evitar entre outros problemas, o endurecimento precoce do concreto.

A disposição do layout deve observar o fluxo dos processos de trabalho para se adequar ao mesmo no sentido de melhorar a comunicação, interação e o ganho de tempo. Além disso, o layout deve ser planejado de forma a preocupar-se com a localização física dos recursos de transformação, trata-se de decidir onde colocar todas as instalações: máquinas, equipamentos e pessoal. Também determina a forma e a aparência dos locais de trabalho, como os processos irão fluir, além disso mudanças no arranjo implicam em alterações no fluxo e na produtividade, afetam custos e eficácia geral da produção (SLACK et al, 2009).

De acordo com Corrêa e Corrêa (2009) o planejamento do arranjo físico determina e facilita a disposição dos centros de atividade econômica em uma unidade de produção:

- facilitar o fluxo de materiais e informações;
- aumentar a eficiência da mão-de-obra e equipamentos;
- melhorar o acesso de clientes em lojas varejistas;
- reduzir os riscos de acidentes para os trabalhadores;
- aumentar o moral dos funcionários;
- melhorar a comunicação.

3. Metodologia

Segundo Gil (1991) existe diversas maneiras de classificar uma pesquisa. O presente artigo é uma pesquisa apresentada aplicada, visto que, haverá a conciliação de estudos de simulação dinâmica no software FlexSim aplicadas na prática.

Portanto, após a revisão de literatura haverá uma pesquisa empírica e análise do processo em uma usina de concreto, ou seja, o objetivo é explicativo e, em relação a abordagem é de caráter qualitativo devido aos estudos e técnicas de aplicação da simulação dinâmica para a melhoria do layout do processo.

4. Desenvolvimento

Neste capítulo será feita uma contextualização sobre o modelo de simulação, com algumas características importantes para a melhor análise e compreensão dos gargalos.

4.1. Caracterização do processo da usina de concreto

As usinas de concreto são os locais onde ocorrem a fabricação do concreto, ou seja, a dosagem dos materiais componentes e sua transferência para o caminhão betoneira. O preparo e uso do concreto é uma série de operações executados de modo a obter um produto endurecido com propriedades específicas detalhadas em um projeto, que dependem dos materiais e suas proporções que influem tanto no concreto fresco como no concreto endurecido.

A usina é composta por silo de cimento, reservatório para água e aditivo, local de armazenamento de cimento, areia e agregados. O carregamento do cimento, areia e agregados é feito através da retroescavadeira.

4.1.1. Recursos

Na Tabela 2 são apresentados os materiais e equipamentos do processo.

Tabela 2- Materiais e equipamentos

MATERIAIS	EQUIPAMENTOS
- Planilha de traços	- Balança digital
- Tabela de traços	- Retroescavadeira
- Brita (Aglomerado)	- Togo / balança
- Areia (Aglomerado)	- Esteira
- Água	- Dosador de aditivo
- Aditivo	- Hidrômetro semi-automático
- Cimento (Aglomerante)	- Rasga-saco
	- Caminhão betoneira
	- Painel de Comandos

Fonte: Autoria própria (2014)

4.1.2. Preparação dos materiais

Inicialmente, determina-se a umidade da areia através de uma amostra obtida no início do dia. Utilizando uma balança, pesa-se aproximadamente 300 gramas dessa amostra e seu peso real (M_u) é anotado. Lembrando que antes de pesar é necessário zerar a balança: pressiona-se o botão “tara” e caso conste valor diferente de zero, apertar o botão “zerar”. Em seguida, essa amostra é aquecida até obter uma aparência bem seca e novamente é anotado o valor de seu peso (M_s). Com o valor dos pesos é determinado a umidade através da seguinte equação:

$$\text{Umidade da areia (\%)} = \frac{M_u - M_s}{M_u} \times 100$$

Onde:

M_u = Massa úmida da areia

M_s = Massa seca da areia

Com a umidade da areia é possível obter o traço do concreto através de uma planilha de Traço, esta elaborada baseando-se na Tabela de Traços.

A Planilha de Traço exige o preenchimento do nome da obra a ser destinado o concreto, a resistência (f_{ck}) do concreto, a quantidade de concreto (m^3), a umidade da areia (%) e no

rodapé os responsáveis na operação da usina, o caminhão que foi utilizado e o motorista. Ao informar o fck, a quantidade e a umidade, automaticamente a planilha já estabelecerá a quantidade dos materiais para composição do concreto.

Devido a probabilidade de erros da programação da planilha é aconselhável a conferência dos valores da Planilha de Traço com a Tabela de Traços. Após a conferência imprime-se a Planilha de Traços para consulta dos dados preparação do concreto.

4.1.3. Preparação da usina

Com o traço desejado em mãos, carrega-se o togo/balança, com a retroescavadeira, na ordem que consta naS Tabela 3,4 e 5 de Planilha de Traço – primeiro a brita e depois a areia. .

Tabela 3 - Planilha de Traço

Traço T 51-11- Fck 20Mpa - Slump 10+-2					
item	Insumo	Unid	Quant.	Preço Unit.	Preço total
01	Cimento CII-32 F32 - Votoran	sc	4,86	21,56	104,78
02	Brita 01	m3	0,71	35,00	24,92
03	Areia Grossa	m3	0,64	52,00	33,17
04	Aditivo-Tec Mult 828	lt	1,46	2,80	4,09
05	Água	lt	133,00	0,00463	0,62
06	Perdas	m3	0,02		3,35
CUSTO					R\$ 170,93

Fonte: Autoria própria (2014)

Tabela 4 – Planilha de Traço

Traço T 52-11- Fck 25Mpa – Slump 10+-2					
item	Insumo	Unid	Quant.	Preço Unit.	Preço total
01	Cimento CII-32 F32 – Votoran	sc	5,32	21,56	114,70
02	Brita 01	m3	0,72	35,00	25,08
03	Areia Grossa	m3	0,63	52,00	32,60
04	Aditivo-Tec Mult 828	lt	1,60	2,80	4,48
05	Água	lt	134,00	0,00463	0,62
06	Perdas	m3	0,02		3,55
CUSTO					R\$ 181,02

Fonte: Autoria própria (2014)

Tabela 4 - Planilha de Traço

Traço T 01-13- Fck 30Mpa - Slump 10+-2					
item	Insumo	Unid	Quant.	Preço Unit.	Preço total
01	Cimento CII-32 F32 - Votoran	sc	7,00	21,56	150,92
02	Brita 01	m3	0,42	35,00	14,62
	Brita 00	m3	0,30	37,00	11,07
	Areia Fina	m3	0,21	49,00	10,26
03	Areia Grossa	m3	0,37	52,00	19,15
04	Aditivo-Tec Mult 828	lt	2,80	2,80	7,84
05	Água	lt	162,00	0,00463	0,75
06	Perdas	m3	0,02		4,29
CUSTO					R\$ 218,91

Fonte: Autoria própria (2014)

Enquanto carrega o togo é informado aos ajudantes a quantidade de cimento necessária para os mesmos já irem preparando próximo ao rasga-saco.

4.1.4. Operando a usina

Posicionar corretamente o caminhão betoneira no local de carregamento. Colocar o aditivo no dosador através do botão “Aditivo 1” localizado no painel de comandos. Programar o hidrômetro semi-automático com a quantidade de água determinada.

1º Passo

Ligar a esteira pelo botão “Esteira”. Abre-se a portinhola para liberar os agregados. Liberar 80% da água (botão “Água” – certificar-se a correta destinação, mangueira ou caminhão, verificando as aberturas dos registros) e o aditivo através do botão “Aditivo 2”.

2º Passo

Quando acabar os 80% da água, colocar os sacos de cimento no rasga-saco e liberar o mesmo através do botão “Cimento”.

3º Passo

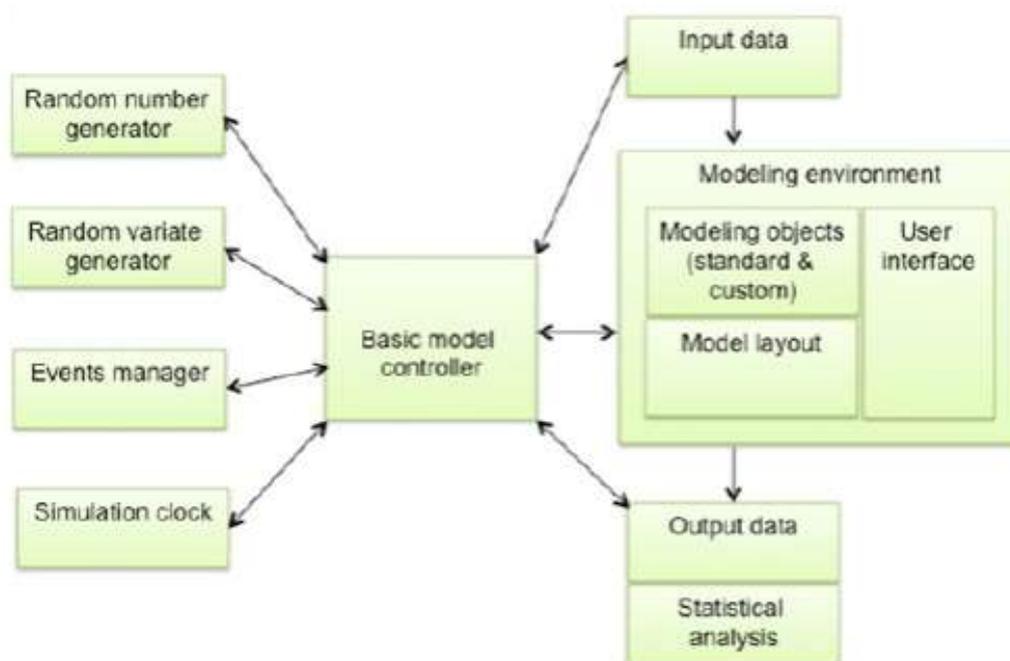
Finalizado o processo, libera-se o restante da água (20%) e emite a nota fiscal para entregar ao motorista para levar junto ao carregamento.

5. Modelo de simulação

O modelo utilizado neste trabalho, simula a produção de concreto em uma empresa que trabalha no setor da construção civil e opera com obras imobiliárias e industriais.

O software utilizado foi o *FlexSim*, como outro software de simulação profissional, fornece suporte extensivo para construir e analisar modelos de simulação. A Figura 1 descreve os componentes básicos encontrados no software.

Figura 1- Componentes básicos de um software de simulação



Fonte: FlexSim (2014)

Neste *software*, os objetos de modelagem são normalmente colocados e dispostos em um layout, ou superfície de simulação, que se assemelha a disposição física do sistema que está sendo modelado. Os objetos são conectados para representar o fluxo de itens através do modelo e permitir a comunicação entre os objetos.

A interface do Flexsim é bastante eficaz para todos os níveis de usuários, no entanto, muitos de seus recursos reside no fato de ser um software aberto e com capacidade para modificar os objetos e seu comportamento para melhor atender às exigências de modelagem.

Simulação é uma tecnologia aplicada e tem pouco significado quando utilizado para simplesmente criar modelos sem um objetivo em mente. Por isso, este trabalho buscou a elaboração de um modelo prático para o uso do *software*.

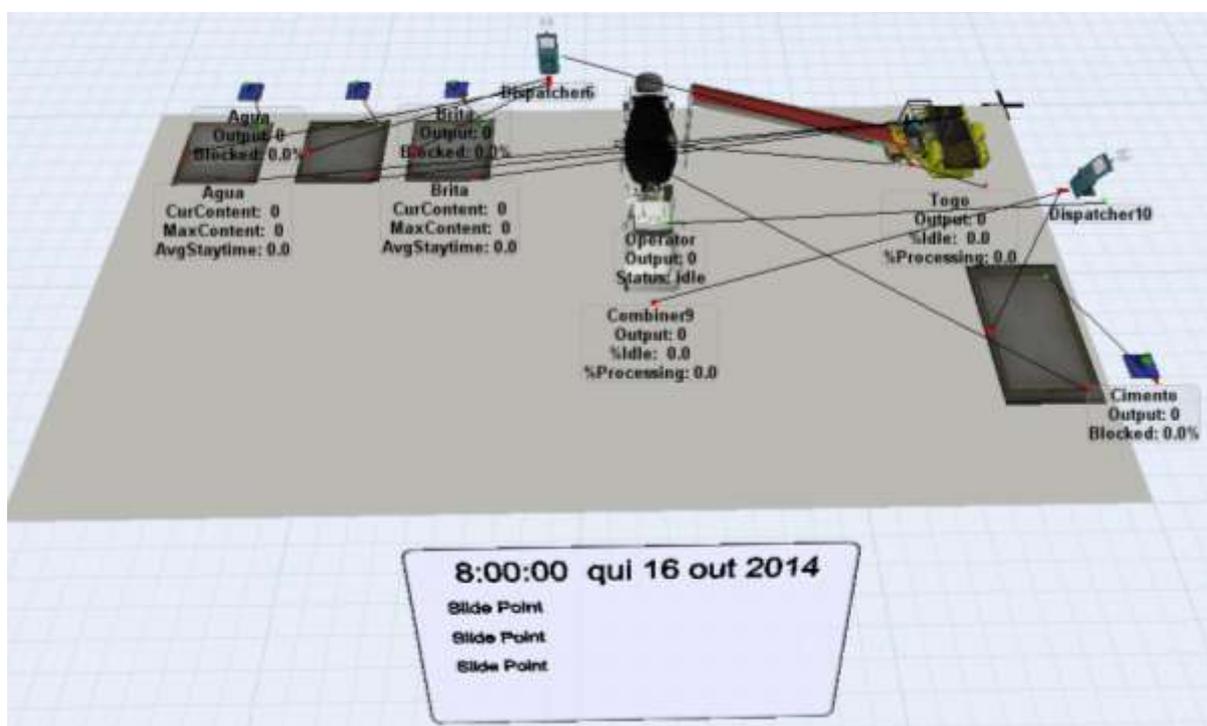
Durante a análise do sistema produtivo, realizado pelo *software* FlexSim, é possível simular o cenário real onde ocorre a produção de concreto. Neste cenário, foi possível

visualizar que a produção de concreto rodava com alguns gargalos provenientes do arranjo físico.

Após uma alteração no layout, viu-se que a produção poderia ser otimizada de forma a concluir em menos tempo as etapas de mistura dos materiais que, como estudado, podem afetar a qualidade do concreto.

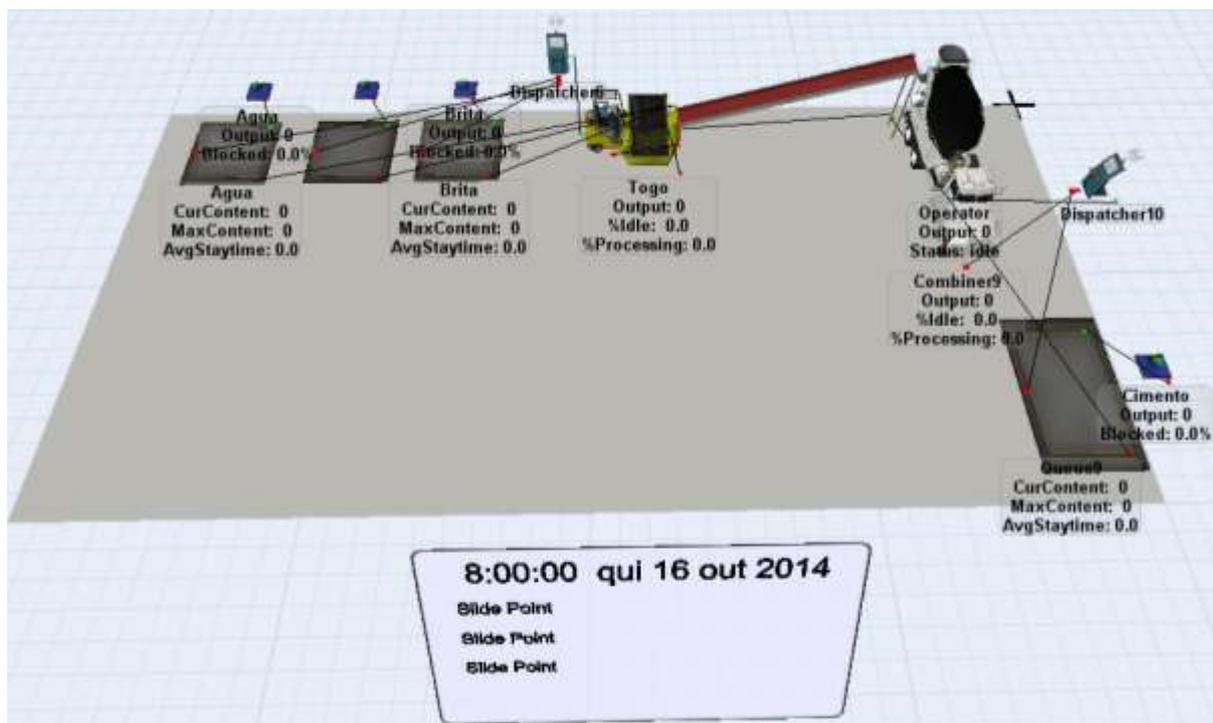
Assim, foi alterada a posição do caminhão betoneira com a esteira, de forma que a retroescavadeira chegasse com mais facilidade até o ponto onde são colocados os agregados miúdos e graúdos. Esta mudança pode ser verificada nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Layout Anterior



Fonte: Elaborado pelo autor através do software FlexSim (2014)

Figura 3 - Layout Atualizado



Fonte: Elaborado pelo autor através do software FlexSim

A retroescavadeira no layout anterior, era obrigada a fazer diversas manobras para desviar do local onde o caminhão betoneira estava, com a mudança feita, o caminho da retroescavadeira passou a ser praticamente uma linha reta entre os agregados e o ponto na esteira onde são colocados os produtos.

6. Análise dos resultados e conclusão

O uso do software FlexSim para a simulação de um modelo de produção de concreto foi bastante eficaz ao deixar visível os pontos onde o processo poderia melhorar. Com isso, foi realizado um estudo para melhor disposição dos equipamentos e materiais.

Após a mudança do *layout*, além de melhorar o caminho da retroescavadeira, a mistura dos materiais passou a ser mais rápida, garantindo assim o tempo correto das etapas, agilidade e produtividade da equipe de trabalho.

O ganho em tempo pode ser avaliado analisando a simulação no FlexSim. Com o layout anterior as etapas do processos terminavam em 36min e 37s, após a mudança esse tempo passou para 15min e 31s.

Através do uso de uma ferramenta de simulação, como o software FlexSim, é possível fazer a simulação de um modelo de processo produtivo, como foi o caso da produção de

concreto. A ferramenta auxiliou também na simulação de uma melhoria no processo que foi realizada através de uma mudança no layout.

Logo, a otimização dos processos produtivos pode ser realizada primeiramente no cenário virtual para análise de sua viabilidade e posteriormente, sua aplicação no cenário real. Para isso, os dados gerados pelo software são de grande importância sendo usados para auxiliar na tomada de decisão, transformando o que antes era uma incerteza, em um planejamento mais eficaz com garantia de melhoria no processo.

Como fator limitante deste artigo tem-se a dificuldade de acrescentar as reais manobras da retroescavadeira haja visto que o programa utiliza o menor percurso e, o recurso que faz com que estas manobras sejam mostradas não está disponível na versão utilizada.

Referências

ABU-TAIEH, E. M. O., ABDEL, A., & EL, R. (n.d.). *Commercial simulation packages : a comparative study*.

AGULLÓ, L. Et al. (1999) *Fluidity of cement pastes with mineral admixtures and Superplasticizer – a study based on the Marsh cone test*. *Materials and Structures*, V. 32, n. 221, p. 479-485, Aug.-Sep.

AKÇELIK, R., & BESLEY, M. (2007). *Microsimulation and Analytical Models for Traffic Engineering*. *Presentation at the ARRB - AUSTRROADS Microsimulation Forum Presenter*.

CASTLE, C. J. E., & CROOKS, A. T. (2006). *Principles and Concepts of Agent-Based Modelling for Developing Geospatial Simulations*. *London: University College London, Centre for Advanced Spatial Analysis*.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A.. *Administração da Produção e Operações: Manufatura e serviços: Uma abordagem Estratégica* 2ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009

DIAS, Marco A. P. *Administração de Materiais*. 4ed. São Paulo: Atlas, 1993.

FERRARIS, C.F. (1999). *Measurement of rheological properties of high performance concrete: state of the art report*. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, v.104, n. 5, p. 461-478, Sep.-Oct.

FLEXSIM. Disponível em:
<https://www.flexsim.com/ftp/textbook/supportingmaterials/Portugues/Capitulo6PortuguesLivroSimulacaoAplicada.pdf>

GHIO, V.A. (1993) *The rheology of fresh concrete and its effect on the shotcrete Process*. Tese (Doutorado) em Engenharia Civil pela Divisão de Graduação da Universidade da Califórnia em Berkeley.

MACAL, C. M., & NORTH, M. J. (2010). *Tutorial on agent-based modelling and simulation. Journal of Simulation*, 4(3), 151–162. Doi:10.1057/jos.2010.3

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. (1994). **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 573p.

OLIVÉRIO, J. L. **Projeto de fábrica: produtos, processos e instalações industriais**. São Paulo: IBLC. 1985

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009

TATTERSALL, G.H. (1991) *Workability and quality control of concrete*. London: E & FN SPON, 262p.

Von Zuben, F. J., & Attux, R. R. F. (n.d.). **Introdução à Computação Natural**. DCA/FEEC/Unicamp & DECOM/FEEC/Unicamp.