

# DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS MARKOVIANOS NA GESTÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

## Development of Markovian Process in the management of civil construction

Marlon Paulo de Melo Wolff<sup>1</sup>, Aleff Viegas Abreu<sup>2</sup>

Recebido em 07 de março de 2018; aceito em 08 de julho de 2018; disponível on-line em 27 de julho de 2018.



### PALAVRAS CHAVE:

Processos Markovianos;  
Construção Civil;  
Gestão dos Riscos;  
Simulação;  
Método de Previsão;

### KEYWORDS:

Markovian Processes;  
Civil Construction;  
Management Risk;  
Simulation;  
Prevision Method;

**RESUMO:** Neste trabalho é desenvolvida uma aplicação das Cadeias de Markov com objetivo de análise e previsão dos índices de probabilidades de estados relacionados aos riscos de baixo, médio e alto impacto em obras de construção civil. Os estados estão relacionados aos níveis de impactos que diferentes áreas da construção civil podem sofrer quanto aos fatores de: cronograma, custo e qualidade de serviço. A metodologia foi desenvolvida com o auxílio do software MATLAB 4.0, sendo possível conhecer as probabilidades de ocorrência dos riscos dentro de um período de 12 meses. Os resultados encontrados podem ser usados como parâmetros para a tomada de decisão relacionada a gestão de riscos de obras.

**ABSTRACT:** In this work is developed an application of the Markov Chain with the object of analysis and prediction of the states of probability related to low, medium and high-risk impacts in a construction. The states are related with the impacts levels in which different areas of civil construction may suffer as to the factors of: schedule, cost and quality of service. The methodology was developed with the help of MATLAB software 4.0, being able to know the probabilities of occurrence of the risks within a period of 12 months. The results can be used as parameters for efficient decision making and construction risk management.

### \* Contato com os autores:

<sup>1</sup> e-mail: marlonmelowolff@gmail.com (M. P. M. WOLFF)

Mestre em Engenharia Elétrica, Professor dos cursos de Engenharia Civil e da Produção da Faculdade Estácio de São Luís.

<sup>2</sup> e-mail: aleff.v.abreu@gmail.com (A. V. ABREU)

Graduando em Engenharia da Produção, Faculdade Estácio de São Luís.

## 1. INTRODUÇÃO

A prática do gerenciamento de empreendimentos de construção civil remete a uma disposição concatenada de processos. Destaca-se que existem significativas margens de independência entre as etapas que constituem o fluxo de atividades do empreendimento, isto implica que as etapas necessitam alcançar níveis de otimização que possibilite maximizar o desempenho do conjunto do empreendimento.

As técnicas de otimização estocástica destacam-se pelas possibilidades do uso das teorias probabilísticas e estatística avançada, como método de otimização para problemas que envolvem em sua estrutura eventos aleatórios e estados não determinados. Nesse contexto, percebe-se que os métodos estatísticos são ferramentas importantes para a engenharia, pela capacidade de trabalhar com variabilidade dos dados apresentados.

Os processos estocásticos, “são famílias de variáveis aleatórias  $\{X(t), t \in T\}$  definidas em um espaço de probabilidade, indexadas por um parâmetro  $(t)$ , onde  $(t)$  varia no conjunto  $T$ ”, segundo (MOUSAVI, 2015). Dessa forma, todo processo que envolve em sua estrutura alguma variável que mude conforme a alteração do tempo, pode caracterizar-se como sistemas estocásticos.

Existindo uma relação entre os estados aleatórios, define-se que a Cadeia de Markov será um conjunto de estados que se movem de um estado para outro. Nesse movimento encontra-se a ocorrência de probabilidades definidas por uma amostra, ou seja, “se a cadeia estiver no estado  $\{S_i\}$  inicialmente, ele se deslocará para o estado  $\{S_j\}$  no próximo passo com uma probabilidade encontrada  $\{S_{ij}\}$ , a mesma depende apenas do atual estado” (GOLMAKANI et al., 2014).

Aos empreendimentos em construção civil estão disponíveis modelos de gestão para o processamento de uma obra que, muitas vezes, mostram-se precários em relação ao alcance dos objetivos de projeto. As particularidades nesse

segmento são desafiadoras, a interdependência entre as atividades, a necessidade por cumprimento de prazos, condicionantes externas à obra, capacidade técnica dos recursos humanos, são somente algumas das dificuldades que crivam a eficiência dos modelos de gestão.

## 2. OBJETIVO

O presente trabalho tem o objetivo de aplicação das Cadeias de Markov na gestão da construção civil, com o propósito de análise e criação de bases de dados probabilísticos relacionados a riscos que podem ocorrer em uma construção civil, os riscos analisados estão englobados as áreas de cronograma, custo e qualidade. Aliando as simulações com a base de dados das variáveis aleatórias relacionadas aos riscos, é possível gerir essas informações juntamente com a gestão eficiente de riscos. Nas próximas seções serão apresentados os conceitos de gerenciamento de obras bem como as Cadeias de Markov.

## 3. GERENCIAMENTO DE OBRAS

Gerenciar projetos de construção civil impõe não somente a administração de recursos, tendo em vista restrições de custo, tempo e qualidade, mas essencialmente a satisfação de todos aqueles que nele estiverem envolvidos (*stakeholders*) deve ser atendida. De modo geral, este desafio se projeta para além da capacidade técnica dos engenheiros civis.

Muitos teóricos acreditam que a maioria dos problemas encontrados em obras de construção civil, e que impactam significativamente nos resultados, não são de ordem técnica e sim gerencial, (POLITO, 2015). A crença de que basta ao engenheiro o conhecimento técnico para garantia de resultado ótimo é perigosa. Um empreendimento de construção civil é incerto, mutável e complexo, essas características inerentes impõem um nível de desafio ainda maior ao

processo de gerenciamento.

A estrutura de um empreendimento de construção civil envolve algumas etapas que constitui seu ciclo de vida, Figura 1. Outros modelos de planejamento e estruturas produtivas na indústria de construção civil podem ser encontrados em diferentes estruturas e métodos gerenciais. Sendo assim, sabe-se a importância da relação e do feedback em que as melhorias contínuas devem ser sempre destacadas, (AHUJA, 1984).

Com base na Figura 1, cada fase pode ser assim explicada.

- *Business case*: fase de levantamento de oportunidades para os *stakeholders*, direta e indiretamente, seja pela desenvoltura de negócios aos acionistas, seja a formalização de contratos de trabalho para a sociedade, por exemplo. A esta fase está associada ações de viabilidade legal em relação ao empreendimento.
- Desenvolvimento: é uma fase marcada pela busca da áreação de valor ao projeto executivo, determinação de *layouts* do fluxo de produção, seleção de técnicas e processos construtivos, verificação de prazos e custos e visualização de situações intempestivas, que porventura venham a comprometer a realização do projeto.
- Implantação: É a fase de aquisição de recursos, de estudo e aplicação dos mesmos, de acordo com procedimentos definidos. O paradigma da melhoria contínua é, nesta fase, bem propalado. Os serviços são inspecionados ao final de cada etapa, culminando com a

conclusão da construção e entrega ao cliente final.

- Operação: esta fase do pós edificação, marcada pela presença de uma rotina de acompanhamento e manutenção, objetivando a preservação do projetado bem como, permitindo avaliar se o desempenho foi efetivamente alcançado.

Não obstante, analisando a Figura 1 percebe-se que durante a fase de implantação ocorre o processo de aquisição de recursos bem como o estudo de aplicação dos mesmos. Consequentemente a fase de operações é marcada por uma rotina de acompanhamento e manutenção, objetivando a preservação do projetado bem como a avaliação do desempenho do sistema.

### 3.1 NOÇÕES DE CADEIAS DE MARKOV

### 3.2 PROCESSOS ESTOCASTICOS

Na teoria das probabilidades são utilizados experimentos aleatórios e espaços amostrais, a associação dos resultados de variáveis estatísticas aos valores encontrados dentro do espaço amostral, denomina-se variáveis aleatórias, que podem ser divididas em variáveis discretas ou contínuas. Ou seja, para cada elemento do espaço amostral, associa-se um número no conjunto dos reais. Destaca-se que as variáveis aleatórias de um sistema são possíveis soluções quantitativas a serem encontradas, em Cadeias de Markov também são conhecidas como estados do problema.



**Figura 1:** Fases de um empreendimento de construção civil predial.

Fonte: Adaptada de Polito (2015).

Algumas aplicações, tais como: movimento browniano, variações do mercado financeiro, variações do campo magnético, variação de pressão sanguínea, podem representar aplicações práticas dos processos estocásticos. Consequentemente, definem-se processos estocásticos  $\{X = X_T: t \in I\}$  como uma família de variáveis aleatórias, onde  $I$  será chamado de espaço de parâmetros podendo assumir valores  $I = \{1,2,3,\dots\}$  ou  $I = \{0,\infty\}$  representando parâmetros de tempo discreto e contínuo respectivamente, (BENEK et al., 2013).

### 3.3 PROCESSOS MARKOVIANOS

Um processo de decisão de Markov (MDP-Markov Decision Process), são ditos Markovianos porque os processos modelados obedecem a propriedade de Markov: o efeito de uma ação em um estado depende apenas da ação e do estado atual do sistema e não de como o processo chegou ao estado, (PELLEGRINI e WAINER 2007). Um processo Markoviano tem características matemáticas descritas na Equação 1.

$$P\{X(t)_{n+1} = X_{n+1} \mid X(t_n) = x_n, X(t_{n-1}) = x_{n-1}, \dots, X(t_1) = x_1, X(t_0) = x_0\} \quad \text{Eq. [1]}$$

A Equação 1 representa a probabilidade condicional de um evento futuro junto a um evento passado qualquer e um estado presente  $\{X(t)\}$ , depender somente de seu estado atual, (KELLER et al., 2006). Devido às mudanças de estados e transição que ocorrem em processos estocásticos, destaca-se a ocorrência de probabilidades de transição como aponta a Equação 2.

$$P\{X(t_{n+1}) = x_{n+1} \mid X(t_n) = x_n\} \quad \text{Eq. [2]}$$

A Equação 2 indica a probabilidade de estado  $\{X(t_{n+1})\}$  ser  $x_{n+1}$  no período  $t_{n+1}$ , sendo que o estado  $X(t_n)$  é  $x_n$  no instante  $t_n$ . Na

seção seguinte serão abordadas as principais características da Cadeia de Markov e suas propriedades.

### 3.4 CADEIAS DE MARKOV

Os processos Markovianos são conhecidos como Cadeias de Markov, quando as variáveis aleatórias  $X(t)$  estão definidas em um espaço (E) de estados discretos. A Equação 1 é descrita para todos os pontos no tempo  $n$  e todos os estados  $i_0, \dots, i_{n-1}, i, j$ . Logo  $X_n$  está no estado  $i$  se  $X_n = i$ . Ou seja,  $X_n = i$  é referente ao processo no instante  $n$  e no estado  $i$ . A probabilidade de  $X_{n+1}$  estar no estado  $j$  onde  $X_n$  está no estado  $i$  é conhecida como probabilidade de transição de estados, é conhecida como  $P_{ij}^{n, n+1}$ . Assim sendo,  $P_{ij}^{n, n+1} = P_{ij}$  é a probabilidade de transição em que o estado transita de  $i$  para  $j$ , pode-se representar todas as probabilidades de transição através da matriz de transição dos estados de passo  $n$ , como observa-se na Equação 3.

$$P^N = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2N} \\ P_{31} & P_{32} & P_{3N} \end{bmatrix} \quad \text{Eq. [3]}$$

Define-se cada elemento da matriz de transição como um número real,  $p_{ij} \in [0,1]$ ,  $i, j = 1, \dots, k$ . Logo, considera-se a matriz  $P$  estocástica ou matriz de Markov. Nesse sentido, considera-se para  $i$ , onde  $P_{ij}$ ,  $j = 0,1 \dots, M$ , sendo assim, temos:  $P_{ij} \geq 0, j = 0,1 \dots, M$ ;  $\sum_{j=0}^M P_{ij} = 1$ . Sendo a matriz de transição  $P$  a representação de mudanças dos estados no tempo, o método conhecido como Equações de Chapman Kolmogorov, estimam uma matriz de transição para  $n$  períodos de  $t$  para  $t + n$ , onde  $n = 1, 2, 3$ .

Nas seções seguintes serão apresentados índices e dados de riscos e impactos na execução do projeto, estes dados servirão de base para uma aplicação das Cadeias de Markov no planejamento de obras levando em consideração os riscos e impactos do projeto de gerenciamento de obras.

### 3.5 GESTÃO DE RISCOS NO PLANEJAMENTO PROJETOS DE OBRAS

Mediante as possibilidades de ocorrências de fenômenos que possam impactar o planejamento em diferentes setores da construção civil, destacam-se os riscos que podem ocorrer e os impactos consequentes a materialização destes riscos. Nesse sentido, risco são medidas de incerteza sobre as premissas adotadas para um projeto de qualquer segmento nas diferentes disciplinas que o compõem e a influência dessas incertezas nas metas de um projeto, (ARAÚJO, 2013). Dentre os objetivos do gerenciamento de riscos, aponta-se para a análise de probabilidades de ocorrências de um risco sobre o projeto e verificação das incertezas para a tomada de decisão visando aumentar a probabilidade de sucesso do projeto.

Os riscos de uma obra podem ser categorizados mediante uma hierarquização

através da Estrutura Analítica dos Riscos (EAR) ou *Risk Breakdown Structure* (RBS). Esta estrutura leva em consideração questões relacionadas a custos, cronograma e qualidade do serviço que o risco acarretará. Na Figura 2 é apresentada a cadeia de variáveis utilizadas na identificação de possíveis riscos em um projeto, percebe-se que a EAR visa a identificação dos riscos, e consequentemente a aplicação de métodos de prevenção para o monitoramento e produção de relatórios com o objetivo de minimizar as possibilidades de se suceder os riscos identificados.

Dentre as metodologias de análise de riscos usadas para a obtenção de dados em um projeto, destacam-se os métodos quantitativos, qualitativos e semi-quantitativos. Sabe-se que os métodos qualitativos consistem em exames realizados nos locais de trabalho, com vista a identificação de situações perigosas com potencial de provocar danos as pessoas, (MARIA, 2015).

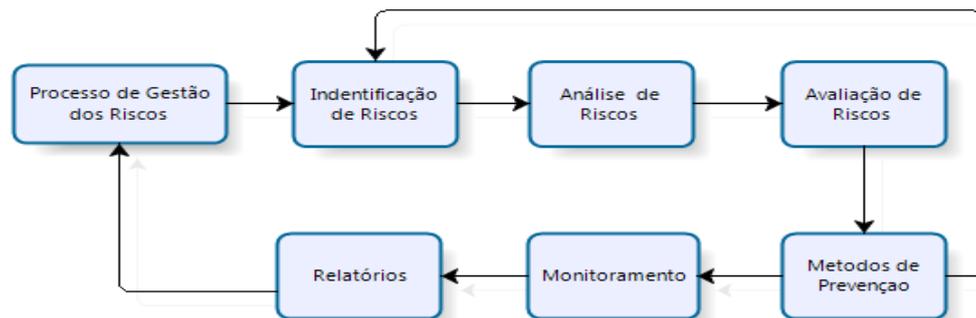


FIGURA 2: Cadeia de variáveis para identificação de riscos.

FONTE: Adaptada Maria (2015).

TABELA1: Probabilidade de Ocorrência e Impacto no projeto de um risco.			
Probabilidades		Impactos	
Muito alta	0,9	Muito alta	0,9
Alta	0,7	Alta	0,7
Moderado	0,5	Moderado	0,5
Baixa	0,3	Baixa	0,3
Muito Baixo	0,1	Muito Baixo	0,1

FONTE: Autoria Própria.

Nesse contexto, através da utilização da análise qualitativa, classifica-se o risco baseando-se em dois critérios que serão: probabilidade de ocorrência e impacto nos objetivos do projeto. Habitualmente utiliza-se uma escala de probabilidade de ocorrência e impacto que representará os níveis de frequência e gravidade do impacto do risco, conforme é mostrado na Tabela 1.

Com as probabilidades e impactos dos riscos, pode-se avaliar e classificar a priorização dos riscos utilizando uma matriz que determinará o grau de exposição do risco. A análise qualitativa dos dados e índices de probabilidades de risco, são elaboradas mediante matrizes de classificação das probabilidades. Ou seja, nessa matriz considera-se que um risco pode estar classificado como: baixo, médio ou alto, levando em consideração sua

probabilidade de ocorrência e os impactos que estes riscos podem causar.

A Tabela 2 apresenta a matriz de probabilidades e impactos, percebe-se que juntos as probabilidades mais altas, são necessários priorizações destes riscos na elaboração do plano de prevenção, pois, representam alto impacto ao projeto, destaca-se que esta tabela é utilizada pelos setores da engenharia como base de dados relacionados a ameaças e oportunidades de um projeto.

Os resultados obtidos relacionados ao grau de agressividade do risco sobre o projeto em análises quantitativas e qualitativas, possibilitam a formulação de um conjunto de medidas de prevenção de acordo com estes resultados. Estas medidas de prevenção devem ser adequadas ao grau e impacto do risco como demonstra a Tabela 3.

**TABELA 2: Matriz de Probabilidade e Impacto.**

PROBABILIDADE	AMEAÇAS					OPORTUNIDADES				
90,00%	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72	0,72	0,36	0,18	0,09	0,05
70,00%	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04
50,00%	0,03	0,05	0,1	0,2	0,4	0,4	0,2	0,1	0,05	0,03
30,00%	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02
10,00%	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01
	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05

Fonte: Autoria Própria.

**TABELA 3: Zona de agressividade do risco e prevenção.**

Nível de Agressividade	Medidas de Prevenção
ALTA	AGRESSIVA
MÉDIA	PONDERADA
BAIXA	MODERADA

Fonte: Autoria Própria.

Por meio do método quantitativo, analisa-se numericamente os impactos que uma obra poderá sofrer com a ocorrência deste risco, ou seja, a probabilidade deste risco se materializar causando impactos em diversos setores do planejamento. Nesse contexto, com o uso do método quantitativo, a análise de riscos técnicos ligadas a estatística e probabilidade de impactos, são elaboradas mediante coleta de dados relacionadas a risco nos setores de cronograma, custo, qualidade, entre outros.

Algumas simulações servem de auxílio a tomada de decisão na prevenção de riscos baseadas nesses dados coletados tais como: Monte Carlo ou simulação através de Processos Markovianos. Este processo de simulação será apresentado na seção 6, a estrutura do método quantitativo é apresentada de forma simplificada na Figura 3.

Além dos métodos qualitativos e quantitativos, existem diversas análises semi-quantitativas, sendo assim, atribui-se indicadores para riscos identificáveis sendo necessário desta forma, um plano de ação com o objetivo de estruturar e hierarquizar os riscos, a implementação de um conjunto de ações preventivas para controlar o risco (PEDRO, 2009).

Nesse sentido, dentre aos diversos

métodos de estimativa de dados relacionados a riscos destacam-se: a matriz de Sommerville e o método de avaliação dos riscos (MARAT), a utilização dos métodos semi-quantitativos ocorrem devido sua aplicabilidade pratica. Com a utilização destes métodos, determina-se valores que representam o peso e a gravidade do risco, este valor é encontrado através da Equação 4, onde, o risco é resultado do produto entre a probabilidade de materialização do risco e a gravidade numérica.

$$R = P \times G \quad \text{Eq. [4]}$$

A matriz de Sommerville é um método que possibilita ao gestor a obtenção de três níveis do risco, os requisitos que determinam os níveis dos riscos estão relacionados a sua probabilidade de ocorrência e o impacto agregado a mesma. Sabe-se que a matriz de Sommerville indica uma matriz 3x3, com três níveis de probabilidade e de gravidade (A - baixo, B - médio, C - alto) e, igualmente, três níveis de risco ou prioridade de intervenção (1 - baixo, 2 - médio, 3 - alto), (MARIA, 2015). A Tabela 4 apresenta a relação entre a gravidade a probabilidade do risco junto as escalas determinadas de impacto (baixo, médio, alto).

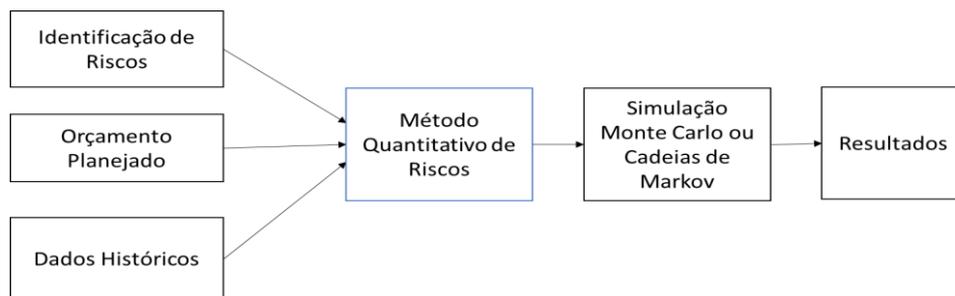


FIGURA 3: Resumo do Método Quantitativo de análises de dados.

Fonte: Autoria Própria.

TABELA 4: Método de avaliação de riscos de Sommerville.

		Probabilidade ( $X_2$ )		
Risco = $X_1 * X_2$		A	B	C
	Gravidade ( $X_1$ )	A	1	1
B		1	2	3
C		2	3	3

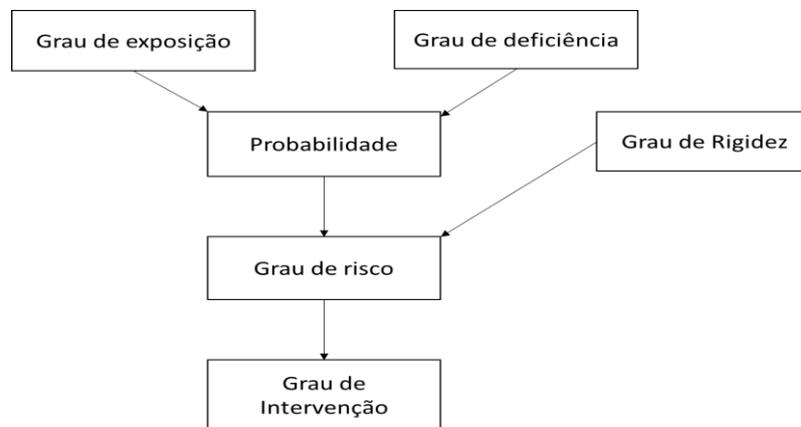
FONTE: Autoria Própria.

A forma prática pelo qual aplica-se os métodos semi-quantitativos, torna estes métodos de análise na gestão de riscos, amplamente usadas pelos setores responsáveis a prevenção de riscos. Além da matriz de Sommerville, utiliza-se o método de avaliação de riscos de acidentes de trabalho (MARAT), este método quantifica o grau dos riscos, dessa forma, é possível a elaboração e categorização de métodos de prevenção para o problema descrito, conforme a Figura 4.

Na estrutura do método MARAT, o grau de deficiência representa a falta de ações preventivas, e conjunto entre ações de risco relacionadas a causa com o acidente. Além disso, o

grau de exposição representa a frequência pela qual o projeto está desprotegido em relação a ocorrência do risco, estes dados estão relacionados aos valores apresentados na Tabela 5. A probabilidade na estrutura representa o produto do grau de deficiência das medidas de prevenção e do grau de exposição da obra ao risco, como está demonstrada na Tabela 5.

Os índices relacionados entre grau de deficiência e grau de exposição na Tabela 5, possuem especificações relacionados ao significado de cada grau de probabilidade. Esta classificação está apresentada na Tabela 6.



**FIGURA 4:** Estrutura do método MARAT.

FONTE: Autoria Própria.

**TABELA 5:** Escala de Grau de Probabilidade.

		Grau de Exposição				
Probabilidade (P)		1	2	3	4	5
Grau de Deficiência	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	6	6	12	18	24	30
	10	10	20	30	40	50
	14	14	28	42	56	70

FONTE: Adaptado de Maria (2015).

**TABELA6:** Escala dos níveis de Probabilidades.

Grau de Probabilidade [P]	Significado
Muito baixa	[1;3] Poucas chances de ocorrência do risco.
Baixa	[4;6] Possibilidades de ocorrência do risco.
Media	[8;20] Possibilidade de ocorrência do risco pelo menos uma vez.
Alta	[24;30] Os riscos podem ocorrer várias vezes durante a execução.
Muito alta	[40;70] Os riscos podem ocorrer com frequência durante a execução.

FONTE: Adaptado de Maria (2015).

Neste contexto, o grau de rigidez apresentado na estrutura do método de MARAT, está relacionado aos riscos que afetam tanto as pessoas como os materiais durante a execução do projeto estabelecido. Destaca-se que que estes setores são considerados independentes, pois, sempre se leva em consideração que os funcionários são mais importantes no plano de ação e prevenção, conforme a Tabela 7.

O grau de risco é o resultado da multiplicação entre a probabilidade e o grau de rigidez, com estes resultados se estabelece níveis, em termos de prioridade de intervenção do risco avaliado. A Tabela 8 apresenta o grau de risco junto ao produto da probabilidade e o grau de rigidez. A Equação 5 representa a relação entre grau de risco, probabilidade e grau de rigidez.

$$Gr = P \times GR \quad \text{Eq. [5]}$$

Sendo:

Gr = Grau de risco;

P = Probabilidade;

GR = Grau de Rigidez.

Sendo assim, a análise e coleta de dados mediante a técnicas do gerenciamento de riscos, possibilita ao gestor uma visão aprofundada dos índices de probabilidades de ocorrências de certos riscos ao projeto de execução da obra. Na seção seguinte será apresentada uma aplicação e simulação dos Processos Markovianos, auxiliado pelos índices e dados proporcionados pela gestão de riscos relacionados aos impactos de uma obra do segmento civil, os dados probabilísticos utilizados foram baseados nos métodos apresentados ao longo da seção 5, especialmente através da análise das matrizes de Probabilidade e impacto, Sommerville e Marat.

TABELA 7: Grau de níveis de rigidez.

Grau de Rigidez (GR)	GR	Danos Pessoais	Danos materiais
<b>Irrelevante</b>	10	Não há danos	Pequenas Perdas
<b>Leve</b>	25	Pequenas lesões	Reparação sem parar o processo
<b>Moderado</b>	60	Lesões com incapacidade laboral transitória.	Reparação do processo com parada do processo produtivo
<b>Grave</b>	90	Lesões graves com possibilidade de agravantes	Destruição parcial do sistema com reparação onerosa
<b>Catastrófico</b>	155	Mortes com incapacidade permanente significativa	Destruição de 1 ou mais sistemas com difícil reparação

FONTE: Adaptado de Vanessa (2014).

TABELA 8: Escala de Grau de Risco.

Grau de Risco	Probabilidades									
	[1;3]	[4;6]	[8;18]	[24;30]	[40;70]					
10	10	30	40	60	80	180	240	300	400	700
25	25	75	100	150	200	450	600	750	1000	1750
60	60	180	240	360	480	1080	1440	1800	2400	4200
90	90	270	360	540	720	1620	2160	2700	3600	6300
155	155	465	620	930	1240	2790	3720	4650	6200	10850

FONTE: Adaptado de Catarina (2007).

#### 4. METODOLOGIA

Para aplicação das Cadeias de Markov na gestão de riscos no setor de construção civil, na qual estimou-se a probabilidade de ocorrência de riscos que estão relacionados a cadeia produtiva de uma obra. O método serviu como previsão para riscos englobados no segmento de obras em geral, compreendendo a simulação de Cadeias de Markov para conhecimento de medidas que devem ser tomadas objetivando a prevenção dos riscos, essa técnica estocástica aliada a um gerenciamento de riscos eficiente proporciona melhores resultados e cumprimento do cronograma proposto.

Na Tabela 9 é demonstrado um exemplo de quais setores podem ser comprometidos em uma obra, com base na ocorrência de riscos relacionados a custo, cronograma e qualidade que as mesmas podem gerar em uma construção civil. Neste caso, consideram-se o conjunto de estados  $\{X_b, X_m, X_a\}$  que denotam respectivamente os estados de baixo, médio e alto impacto.

Na Tabela 10 está a representação

numérica dos estados dentro de uma obra, e as probabilidades de acontecimentos dos impactos que podem ocorrer em obras de construção civil em geral, e que foram utilizadas neste trabalho. Destaca-se que este modelo é um exemplo numérico, sendo possível a aplicação prática do mesmo dentro do segmento proposto pelo desenvolvimento do trabalho.

As probabilidades de acontecimentos de impactos (IMPC) de origem baixa, média e alta, estão baseadas na Tabela de Sommerville e levam em consideração principalmente os impactos dos riscos estabelecidos. Estas probabilidades de ocorrência dos estados atuais são: IMPC = [0,4; 0,3; 0,3], em que  $X_b = 0,4$ ;  $X_m = 0,3$ ;  $X_a = 0,3$ .

A matriz (P) de probabilidade de transição dos estados é representada a seguir, de acordo com o que é descrito na seção 5.

A simulação do problema foi desenvolvida no software Matlab 4.0, para 2, 4, 8 e 12 meses, analisando os riscos descritos anteriormente e suas probabilidades de acontecimentos de forma detalhada.

**TABELA 9:** Exemplificação de impactos em uma obra.

Fatores	$X_b$	$X_m$	$X_a$
<b>Custo</b>	Pouco impacto	Cerca de 3% de aumento	Cerca de 3% de aumento
<b>Cronograma</b>	Pouca alteração	Alteração de até 30 dias	Alteração de mais de 30 dias
<b>Qualidade</b>	Baixo impacto	Redução da qualidade	Grande redução na qualidade

**FONTE:** Adaptado de Polito (2015).

**TABELA 10:** Estados e probabilidades dos eventos.

Estados	Representação	Estados	Probabilidades
$X_b$	1	$X_b$	0,4
$X_m$	2	$X_m$	0,3
$X_a$	3	$X_a$	0,3

**FONTE:** Autoria Própria.

$$P = \begin{bmatrix} 0,6 & 0,2 & 0,2 \\ 0,3 & 0,5 & 0,2 \\ 0,3 & 0,3 & 0,4 \end{bmatrix}$$

Eq. [6]

## 5. RESULTADOS COMPUTACIONAIS E ANÁLISE.

Nesta seção será apresentada uma rotina desenvolvida no software Matlab, os cálculos desenvolvidos evidenciam os resultados de diferentes probabilidades que os estados assumem em 4 períodos. A Figura 5 apresenta a

rotina genérica pela qual inclui-se 2, 4, 8 e 12 meses respectivamente.

Posteriormente as rotinas desenvolvidas para cada período descrito de 2, 4, 8 12 meses, encontramos os valores para cada estado aleatório, os valores encontrados estão descritos na Tabela 11. Em seguida são expostos os gráficos representativos das soluções para cada período.

```

IMPC= [0.4, 0.3, 0.3];
P= [0.6, 0.2, 0.2; 0.3, 0.5, 0.2; 0.3, 0.3, 0.4];
R= IMPC*P^(n);

disp (R)
plot (R)
Resultados após n meses - IMPC [XB; XM; XA]

```

FIGURA 5: Rotina no Matlab para os períodos de  $n$  meses.

FONTE: Autoria Própria.

TABELA 11: Resultados da probabilidade dos estados aleatórios nos períodos determinados.

Estados	$P^{(2)}$	$P^{(4)}$	$P^{(8)}$	$P^{(12)}$
$X_B$	0,426	0,4283	0,4286	0,4286
$X_M$	0,322	0,3216	0,3214	0,3214
$X_A$	0,252	0,2501	0,25	0,25

FONTE: Autoria Própria.

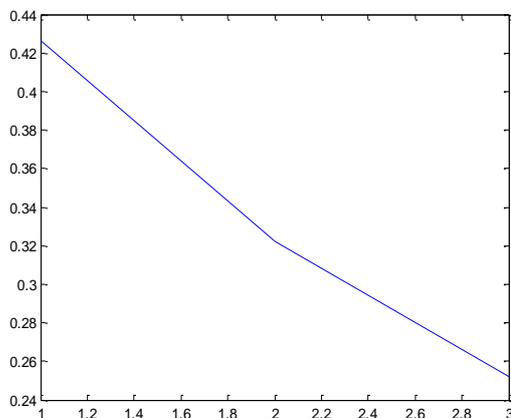


FIGURA 6a: Resultado  $P^{(2)}$

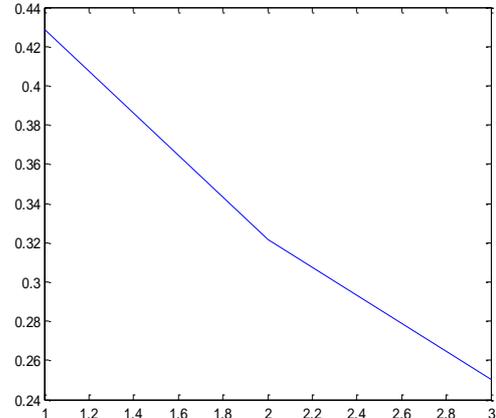


FIGURA 6b: Resultado  $P^{(4)}$

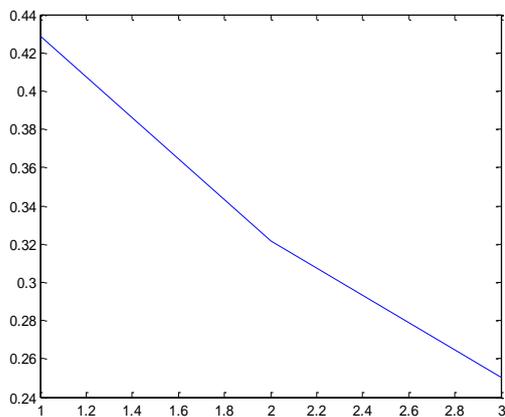


FIGURA 6c: Resultado  $P^{(8)}$

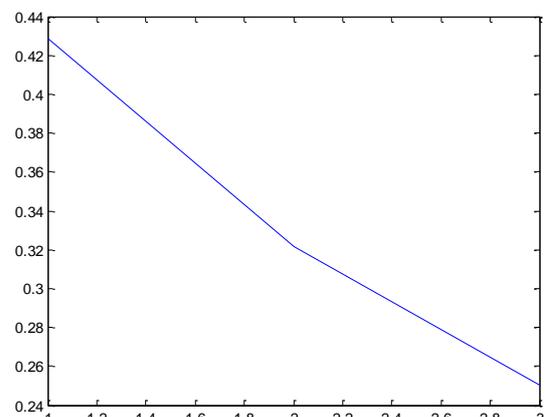


FIGURA 6d: Resultado  $P^{(12)}$

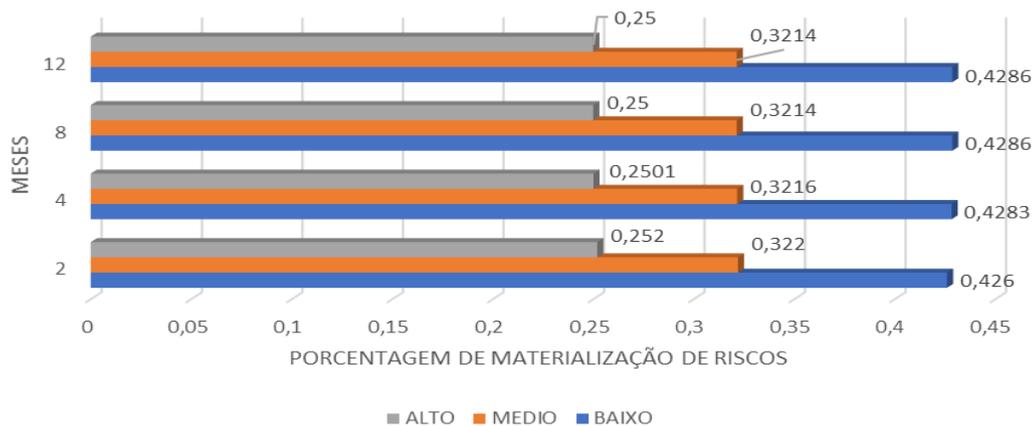
As Figuras 6a, 6b, 6c e 6d retratam as alterações das probabilidades para os períodos mensais. Percebe-se que a cada período existem alterações em relação às probabilidades de impactos  $\{X_B, X_M, X_A\}$  acontecerem em um período de 12 meses, conforme demonstra a Figura 9 que representa todas as alterações encontradas no Matlab 4.0.

Com base nos resultados obtidos percebe-se que durante 2 meses de gerenciamento da cadeia construtiva, as probabilidades encontradas para os estados aleatórios do problema  $\{X_b, X_m, e X_a\}$  foram de: IMPC [0.4260 0.3220 0.2520] respectivamente, para 4 meses: IMPC [0.4283; 0.3216; 0.2501], posteriormente para 8 meses: IMPC [0.4286; 0.3214; 0.2500] e por fim encontra-se para 12 meses: IMPC [0.4286; 0.3214; 0.2500]. Estes resultados apresentam não somente as probabilidades de em que estes riscos podem se materializar com o desenvolvimento do projeto, mas através destes valores indicarem aos gestores do projeto quais setores ponderar na elaboração do planejamento e desenvolvimento de obras.

Esses valores demonstram as variações de probabilidades dos estados aleatórios que podem impactar uma cadeia de construção

civil, nota-se que os valores da variável  $\{X_a\}$ , ou seja, de impactos altos variaram em torno de 25,2% a 25% de probabilidade de ocorrência. Nesse contexto, percebe-se que os estados aleatórios  $\{X_b\}$  e  $\{X_m\}$  obtiveram alterações de 42,60 % a 42,86% e 32,20% a 32,14% respectivamente, relacionados as possibilidades de ocorrências em um período de 12 meses, ou seja, esses valores representam as variações dos estados aleatórios  $\{X_b\}$  e  $\{X_m\}$  entre os períodos  $\{R = IMPC * P^{(2)}\}$  a  $\{R = IMPC * P^{(12)}\}$  com base na Figura 7.

Os valores encontrados com o auxílio dos processos markovianos juntamente com as simulações, indicam aos gestores quais medidas devem ser tomadas mediante estratégia de prevenção de riscos relacionadas aos fatores externos e internos que poderão acarretar problemas futuros, ou seja, as probabilidades explicitam os recursos e métodos que devem ser utilizados para que os riscos apresentados não se materializem no desenvolvimento do projeto, sendo assim, salienta-se que estes resultados não especificam aos gestores valores exatos, mas medidas que serviram de suporte e direcionamento no planejamento de prevenção de riscos.



**FIGURA 7:** Alterações nas probabilidades dos impactos na simulação total.

Fonte: Autoria Própria.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho, apresentou aplicações das Cadeias de Markov na gestão de riscos da construção civil, e buscou demonstrar a aplicabilidade dos processos estocásticos para projetos sujeitos a ocorrência de riscos futuros, sendo do segmento de obras ou setores relacionados, que possuam ocorrências de estados aleatórios, com o objetivo de previsão de dados por meio de simulação de dados através do software Matlab.

Os resultados obtidos expressam possibilidades de aplicação das Cadeias de Markov como ferramenta de prevenção dentro da gestão de riscos para projetos que envolvam mudança de estados, ou seja, eventos aleatórios em sua cadeia produtiva. Entre os meses analisados percebe-se variabilidade dos índices de probabilidades de ocorrências dos riscos, de baixo, médio e alto impacto, onde resultados encontrados para 2 e 4 meses na simulação demonstram variação média de 42,72%, 32,18% e 25,11% respectivamente.

Para 8 e 12 meses encontra-se menores variações de probabilidades dos estados relacionados a riscos de baixo, médio e alto impacto, devido a simulação indicar a proximidade dos resultados com o vetor estacionário, ou seja, de 12 meses em diante os valores apresentaram pouca diferença em seus resultados. Nesse caso, destaca-se a importância dos gestores indicarem a partir de qual mês este fenômeno é diagnosticado, pois, outros métodos de otimização podem ser englobados ao planejamento do projeto para subsidiar a tomada de decisão a longo prazo.

Contudo, somente a utilização de processos markovianos para demonstração desses dados não é suficiente, por isso, apresentou-se as matrizes de Sommerville como base de indicação e formatação elaboração da matriz de transição de riscos entre os períodos de 2, 4, 8 e 12 meses, dessa forma, a utilização dos métodos de gestão de riscos apresentados demonstram função primordial na elaboração do plano de prevenção de riscos.

Portanto, destaca-se que o principal

objetivo deste trabalho são as demonstrações das Cadeias de Markov como método do gerenciamento de riscos dentro da construção civil, através de simulações que proporcionem resultados satisfatórios para avaliações de riscos que possam impactar setores específicos como custo, cronograma e qualidade, sendo importante para avaliação e priorização de métodos de prevenção relacionados as ameaças para o desenvolvimento do projeto.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, E. S. B. **Gerenciamentos de riscos na construção civil**. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte, 2013, 54 p. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-9Y6JPA/elisa\\_eng\\_civil.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-9Y6JPA/elisa_eng_civil.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 26 fev. 2018.

AHUJA, H. N. **Project management techniques in planning and controlling constructions projects**. New York, John Wiley & Sons, 1984.

BENEK, B, G; KIRLAND, S; MANSON, O; SERGEEI, S. **On the Markov Chain Tree Theorem in the Max Algebra**. Electronic Journal of Linear Algebra. v. 26. p. 1-5. 2013. Disponível em: <[http://www.math.technion.ac.il/iic/ela/ela-articles/articles/vol26\\_pp15-27.pdf](http://www.math.technion.ac.il/iic/ela/ela-articles/articles/vol26_pp15-27.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2018.

CATARINA, F. V. S. P. M. C. **Avaliação de Risco Estudo comparativo entre diferentes métodos de Avaliação de Risco, em situação real de trabalho**. Dissertação (Mestrado na especialidade de Ergonomia na Segurança do Trabalho) – Universidade Técnica de Lisboa Faculdade de Motricidade Humana. Lisboa, 2007, 168 p. Disponível em: <[file:///C:/Users/Windows%207/Downloads/Tese\\_MASqtVF\\_Junho2007.pdf](file:///C:/Users/Windows%207/Downloads/Tese_MASqtVF_Junho2007.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2017.

GOLMAKANI, A; ADELINA, A, S; MATEUS, E, S, F; KEDYNA, M, B ; HENRIQUE, P, G, C ; LIMA, V, A. **Cadeias de Markov. VII Bienal na Sociedade Brasileira de Matemática**. Universidade Federal de Alagoas v.7. p. 4. 2014. Disponível em: <<http://www.im.ufal.br/evento/bsbm/download/minicurso/cadeias.pdf>>. Acesso em: 10 dez 2017.

KELLER T. F; ZULLO. J. J; ROBERTO. P. S. R. I; **Análise da transição entre dias secos e chuvosos por meio da cadeia de Markov de terceira ordem.** Pesq. agropec. bras., Brasília. v. 41, n.9, p.1341-1349, set. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v41n9/a01v41n9.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

MARIA. I. A. G. **Gestão de Riscos na Construção.** Dissertação (Mestrado em Segurança e Higiene do Trabalho) – Instituto Politécnico de Setúbal. Setúbal I 2015. 106 p. Disponível em: <[https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/11121/1/DM\\_IG\\_15.pdf](https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/11121/1/DM_IG_15.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2017.

MOUSAVI, M, S. **An Application of Stochastic Process for Analyzing Risks in highway projects.** *International scientific publication and consulting services.* v.2015. p. 15-18. 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/276672619\\_An\\_application\\_of\\_stochastic\\_processes\\_for\\_analyzing\\_risks\\_in\\_highway\\_projects](https://www.researchgate.net/publication/276672619_An_application_of_stochastic_processes_for_analyzing_risks_in_highway_projects)>. Acesso em: 10 jan. 2018.

POLITO, G; **Gerenciamento de Obras. Boas Práticas Para a Melhoria da Qualidade e da Produtividade.** São Paulo. Editora PINI LTDA. 2015.

PELLEGRINI, J; WAINER, J. **Processos de Decisão de Markov: um tutorial. Instituto de computação.** UNICAMP, Campinas. RITA. v.7. p. 2. 2007. Disponível em: <[http://www.seer.ufrgs.br/rita/article/viewFile/rita\\_v14\\_n2\\_p133-179/3544](http://www.seer.ufrgs.br/rita/article/viewFile/rita_v14_n2_p133-179/3544)>. Acesso em: 5 jan. 2018.

VANESSA. F. S. B. **Metodologia de avaliação de riscos em equipamentos de energias renováveis: Solar e Biomassa.** Dissertação (Mestrado em Segurança e Higiene do Trabalho) – Instituto Politécnico de Setúbal. 2014, 148 p. Disponível em: <<https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/6497/1/TESE.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2017.