

Strategic Decision Making in the 3D Printing Industry: A Robust Decision Making (RDM) Analysis
Pedro Nascimento de Lima, Daniel Pacheco Lacerda, Maria I. W. M. Morandi

2





#### Incerteza no Contexto da Impressão 3D

#### Indícios "Positivos"

- Indústria da Impressão 3D cresceu à uma taxa anual de 26,2 % ao ano;
- reconfigurar cadeias de suprimentos, reduzir tempo de desenvolvimento de produtos e permitir a manufatura de componentes alta complexidade.

#### Indícios "Negativos"

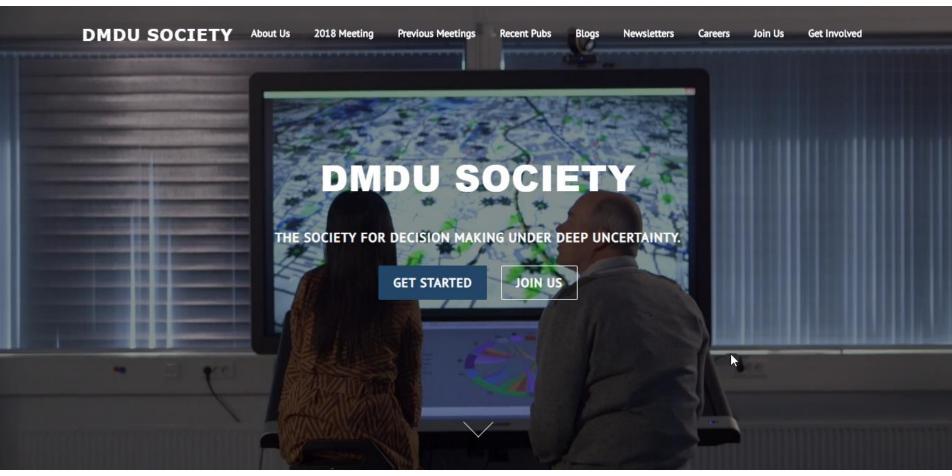
- Estimativas sobre o impacto econômico da manufatura aditiva variam entre 21 bilhões de USD em 2020 a 550 bilhões em 2025;
- Houve uma bolha financeira da impressão 3D em 2014, ações de empresas caíram mais do que 70%;
- Lucratividade dos Fabricantes de Sistemas de Impressão 3D caiu entre 2011 e 2015 para patamares negativos.

JESUÍTAS BRASIL

## Decisões Estratégicas sob Incerteza

- A empresa deve considerar o ambiente interno e externo para suportar suas decisões estratégicas, mas...
- O mundo é dinâmico, e a empresa precisa se antecipar à eventos futuros;
- Decisões relacionadas à difusão de novos produtos são especialmente vulneráveis;
- Quando há informação suficiente para estimar modelos de previsão com precisão, é tarde para tomar decisões.

#### **Existem Novas Alternativas**



http://deepuncertainty.org





#### Incerteza Profunda

**Deep Uncertainty** ("Incerteza Profunda")

"Situações nas quais as partes de uma decisão não conhecem ou não concordam sobre (i) os modelos apropriados para descrever as interações entre as variáveis de um sistema; (ii) as distribuições de probabilidade que representam a incerteza sobre parâmetros chave do modelo, e/ou; (iii) como valorizar a utilidade de diferentes resultados."

(LEMPERT; POPPER; BANKES, 2003).

### Gaps de Pesquisa

- Avaliação de Decisões Estratégicas no Contexto Empresarial: Ignora o RDM para suporte à decisão sob incerteza. Este trabalho explora o potencial do RDM para avaliação de decisões sob incerteza.
- Difusão de Novos Produtos: Utiliza modelos para representar a evolução da demanda, porém seu uso para fins preditivos é limitado pela ausência de dados.

# Fontes de Incerteza no Contexto da Difusão de Novos Produtos

#### Demanda:

- Tamanho do mercado potencial;
- Resposta dos clientes à Precificação;
- Velocidade de Difusão do Novo Produto;

#### • Oferta:

- Planos de expansão dos concorrentes;
- Resposta dos concorrentes às decisões da empresa.

### Questão de Pesquisa

"Que estratégias que suportam a difusão de novos produtos na indústria da manufatura aditiva são mais robustas, e em que condições estas estratégias robustas falham?"



# 2. Fundamentação Teórica

- Avaliação de Decisões Estratégicas e Incerteza Profunda.
- Modelos de Difusão de Novos Produtos. Principal Referência:
   Sterman (2007)
- 3. RDM Robust Decision Making. Principal Referência: Lempert et. al (2006)

#### MANAGEMENT SCIENCE

Vol. 52, No. 4, April 2006, pp. 514-528 ISSN 0025-1909 | EISSN 1526-5501 | 06 | 5204 | 0514



DOI 10.1287/mnsc.1050.0472 © 2006 INFORMS

#### A General, Analytic Method for Generating Robust Strategies and Narrative Scenarios

Robert J. Lempert, David G. Groves, Steven W. Popper, Steve C. Bankes RAND Corporation, 1776 Main Street, P.O. Box 2138, Santa Monica, California 90407 [[empert@rand.org.] david.groves@gmail.com, swpopper@rand.org.]

Robustness is a key criterion for evaluating alternative decisions under conditions of deep uncertainty. However, no systematic, general approach exists for finding robust strategies using the broad range of models and data often available to decision makers. This study demonstrates robust decision making (RDM), an analytic method that helps design robust strategies through an iterative process that first suggests candidate robust strategies, identifies clusters of future states of the world to which they are vulnerable, and then evaluates the trade-offs in hedging against these vulnerabilities. This approach can help decision makers design robust strategies while also systematically generating clusters of key futures interpretable as narrative scenarios. Our study demonstrates the approach by identifying robust, adaptive, near-term pollution-control strategies to help ensure economic growth and environmental quality throughout the 21st century.

Key words: decision making under uncertainty; robust decision making; deep uncertainty; adaptive planning;

History: Accepted by Detlof von Winterfeldt, decision analysis; received May 6, 2004. This paper was with the authors 3 months for 2 revisions.

#### MANAGEMENT SCIENCE

Vol. 53, No. 4, April 2007, pp. 683-696 ISSN 0025-1909 | EISSN 1526-5501 | 07 | 5304 | 0683



DOI 10.1287/mnsc.1060.0673

#### Getting Big Too Fast: Strategic Dynamics with Increasing Returns and Bounded Rationality

John D. Sterman, Rebecca Henderson

Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, 30 Wadsworth Street, Cambridge, Massachusetts 02142 {jsterman@mit.edu, rhenders@mit.edu}

#### Eric D. Beinhocker

McKinsey Global Institute, 30 Kensington Church Street, London W8 4HA, United Kingdom, eric.beinhocker@mckinsey.com

#### Lee I. Newman

Department of Psychology, University of Michigan, 530 Church Street, Ann Arbor, Michigan 48109, leenewm@umich.edu

Neclassical models of strategic behavior have yielded many insights into competitive behavior, despite the fact that they often rely on a number of assumptions—including instantaneous market clearing and perfect foresight—that have been called into question by a broad range of research. Researchers generally argue that these assumptions are "good enough" to predict an industry's probable equilibria, and that disequilibrium adjustments and bounded rationality have limited competitive implications. Here we focus on the case of strategy in the presence of increasing returns to highlight how relaxing these two assumptions can lead to outcomes quite different from those predicted by standard neoclassical models. Prior research suggests that in the presence of increasing returns, tight appropriability, and accommodating rivals, in some circumstances early entrants can achieve sustained competitive advantage by pursuing "get big fast" (GBF) strategies: Rapidly and the contraction of the contra

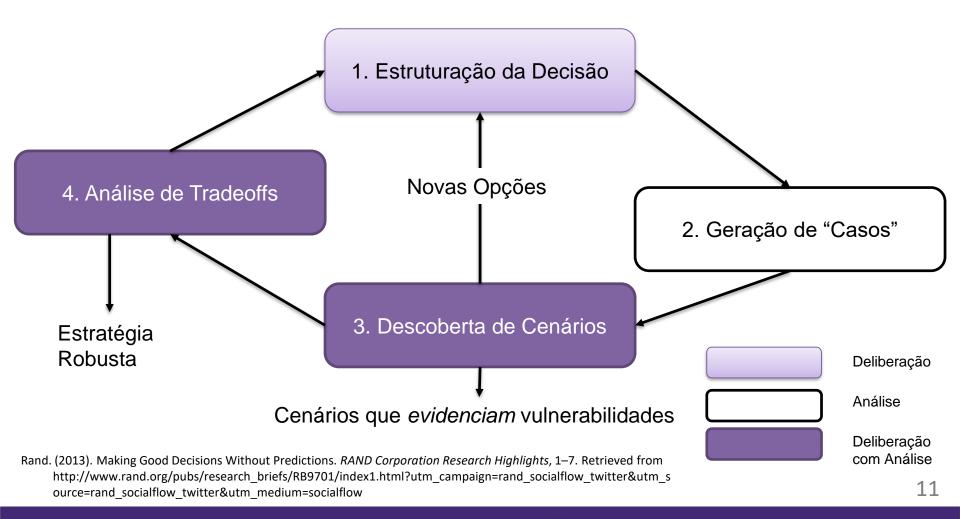








## RDM - Robust Decision Making

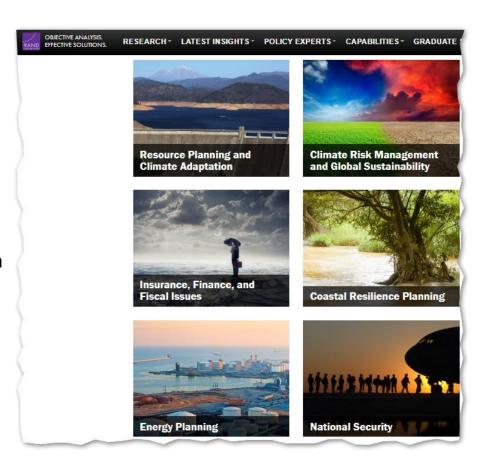






# RDM – Áreas de Aplicação

- Ter ou n\u00e3o ter um seguro nacional contra ataques terroristas? (TRIA) (Dixon 2007);
- Que estratégia de expansão da capacidade energética é robusta para Israel? (Popper 2009)
- Como tornar uma cidade do Vietnam Robusta contra enchentes? (Lempert 2013);
- Como melhorar a Resiliência da Infraestrutura Africana (Energia e Água) à mudanças climáticas? (Cervigni 2013);
- Em que Tecnologias de Armamento o Exército americano deveria Investir? (Lempert 2016)
- Permitir a circulação de carros autônomos é uma estratégia robusta? (Kalra e Groves 2017)

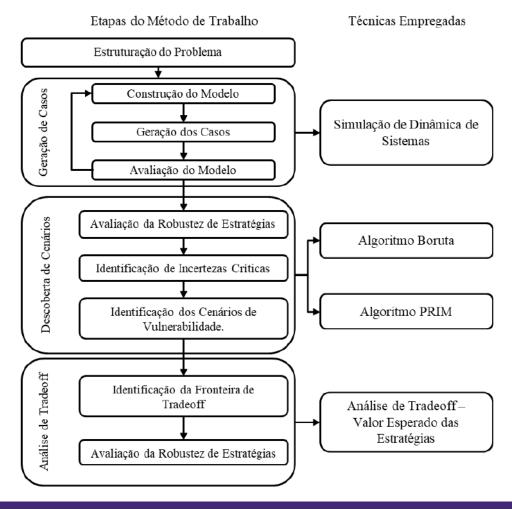


https://www.rand.org/methods/rdmlab.html

### Procedimentos Metodológicos

- Método de Pesquisa: Modelagem e Simulação Computacional.
- Classificação de Bertrand e Fransoo (2002):
  - Pesquisa Axiomática (e não empírica): produz conhecimento de certas variáveis do modelo baseadas em pressupostos sobre outras variáveis do modelo.
  - Pesquisa Normativa (e não descritiva): o interesse é comparar diversas estratégias para solucionar um problema específico.

#### Método de Trabalho





# Modelo de Dinâmica Competitiva

- Modelo de Sterman et al. (2007) foi utilizado como ponto de partida;
- Modificações foram realizadas para permitir que o modelo:
  - Considerasse a performance dos produtos;
  - Considerasse mais do que dois players do mercado;
  - Considerasse a dinâmica de emissão de patentes.

$$\begin{split} A_t &= A_{t_0} + \int_{t_0}^t MAX \bigg( 0, N \bigg( \alpha + \beta \frac{A}{POP} \bigg) \bigg) \\ A^* &= MIN \bigg( POP, POP^r * MAX \bigg( 0, 1 + \frac{\sigma(P^{min} - P^r)}{POP^r} \bigg) \bigg) \\ Y_i &= exp \bigg( \varepsilon_p \frac{P_i}{P^r} \bigg) * exp(\varepsilon_a * \tau_i / \tau^r) * exp \bigg( \varepsilon_x \frac{X^r}{X_i} \bigg) \\ s_i^* &= \begin{cases} MAX(s_i^{min}, s_i^u), & \text{if } Str_i = Agress. \\ MIN(s_i^{max}, s_i^u), & \text{if } Str_i = Conserv. \end{cases} \\ P_i^* &= MAX \bigg[ u_i^v, P_i \bigg( 1 + \alpha^c \bigg( \frac{P_i^c}{P_i} - 1 \bigg) \bigg) \bigg( 1 + \alpha^d \bigg( \frac{Q_i^*}{u_i^* K_i} - 1 \bigg) \bigg) (1 + \alpha^s (s_i^* - s_i)) \bigg] \\ dT^o / dt &= \sum_i [\kappa_i * (1 - \psi) * T_i^r / v^a] - T^o / v^e \end{split}$$



# Simulação de Estratégias

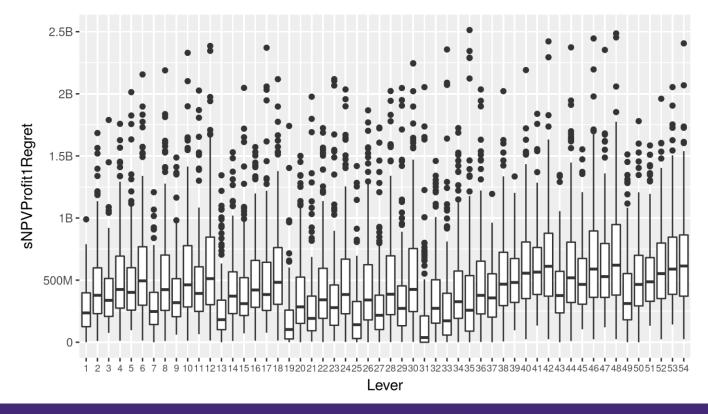
• Decisões Simuladas para um Fabricante de Impressoras 3D profissionais:

Variável	Decisão Estratégica	Níveis Testados		
$Str_i$	Apropriação do Market Share (Estr. Mkt. Share)	Agressiva (1) Conservadora (2)		
$S_i^{max}, S_i^{min}$	Market Share Desejado (Mkt. Des.)  Para a estratégia conservadora, $S_i^{max}$ Para a estratégia agressiva, $S_i^{min}$	20% 30% 40%		
$\eta_i$	% da Receita Dedicado a Pesquisa e Desenvolvimento (Orc. P&D)	5% 10% 15%		
$\kappa_i$	% Orçamento de P&D dedicado a Patentes Open Source (Perc. P&D Ab.)	0% 50% 90%		



### Avaliação de Robustez das Estratégias

- Custo de Oportunidade das 54 estratégias simuladas (quanto menor, melhor):
  - Estratégias agressivas foram, em geral, mais robustas.



### Avaliação de Robustez das Estratégias

- Estratégias Agressivas Dominaram Estratégias Conservadoras;
- Não há suporte para publicação de patentes open source;
- Primeiras estratégias do ranking investem menos em P&D.
- Estratégia 31
   identificada como a
   mais robusta dentre as
   testadas.

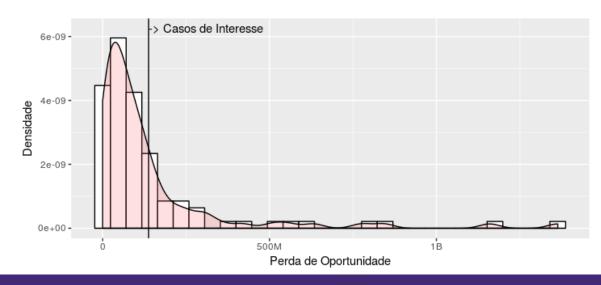
	Decisões						
#	Estratégia	Estr. CAP	Perc. P&D Ab.	Mkt Des.	Orc. P&D	CO Perc 75%	CO % Perc 75%
1	31	AGR	0%	40%	5%	\$211.920.013	32,41%
2	19	AGR	0%	30%	5%	\$258.564.861	25,41%
3	25	AGR	0%	20%	5%	\$328.221.015	37,79%
4	13	AGR	0%	40%	10%	\$338.723.235	39,13%
5	21	AGR	50%	30%	5%	\$371.287.014	37,63%
6	27	AGR	50%	20%	5%	\$378.755.033	47,23%
7	33	AGR	50%	40%	5%	\$394.291.939	51,24%
8	1	AGR	0%	30%	10%	\$397.669.159	40,21%
9	7	AGR	0%	20%	10%	\$401.770.486	49,69%
TU	30			2070	J /0	φι J4. J4. J-	00, 10/0
41	18	CON	90%	40%	10%	\$761.918.524	82,30%
42	41	AGR	90%	30%	15%	\$762.670.284	79,22%
43	6	CON	90%	30%	10%	\$768.576.893	84,78%
44	10	CON	50%	20%	10%	\$777.519.137	85,03%
45	47	AGR	90%	20%	15%	\$795.049.983	86,22%
46	52	CON	50%	40%	15%	\$798.592.893	90,82%
47	44	CON	0%	20%	15%	\$805.859.927	93,25%
48	40	CON	50%	30%	15%	\$806.799.092	91,05%
49	53	AGR	90%	40%	15%	\$846.136.461	100,00%
50	12	CON	90%	20%	10%	\$846.287.996	91,04%
51	54	CON	90%	40%	15%	\$863.780.237	96,36%
52	42	CON	90%	30%	15%	\$877.290.790	96,46%
53	46	CON	50%	20%	15%	\$895.893.334	97,33%
54	48	CON	90%	20%	15%	\$947.271.829	100,00%





#### Descoberta de Cenários

- O modelo empregado contém 35 variáveis incertas;
- Em que condições a estratégia 31 falha?
- Algoritmos Empregados:
  - Boruta: Algoritmo Baseado em Random Forests. Utiliza uma Random Forest para determinar que variáveis são mais relevantes para a predição de um problema de classificação;
  - PRIM: Obtém regiões de um espaço multi-dimensional que com alta concentração de casos de interesse.

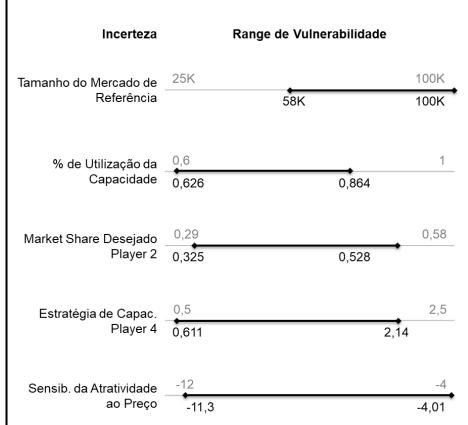


# Resultados do Algoritmo PRIM

(Patient Rule Induction Method)

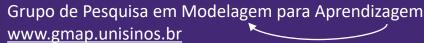
- Identificou uma região de vulnerabilidade na qual a estratégia 31 falha 82,1 % das vezes, quando:
- Os players de porte semelhante possuem estratégias agressivas;
- Tamanho do Mercado é maior do que 60 mil compradores.
- Eficiência em utilização da capacidade é baixa.

#### Resultados do Algoritmo PRIM Definição de Condições onde a Estratégia 31 falha



Estatística	Valor	Significado
Cobertura (Coverage)	46 %	As condições especificadas acima contém 46 % dos casos onde a estratégia falha.
Densidade (Density)	82,1 %	Dentro das condições especificadas, a estratégia falha em 82,1 % das simulações.
Abrangência (Mass)	14 %	As condições especificadas contém 14 % de todos os casos simulados.

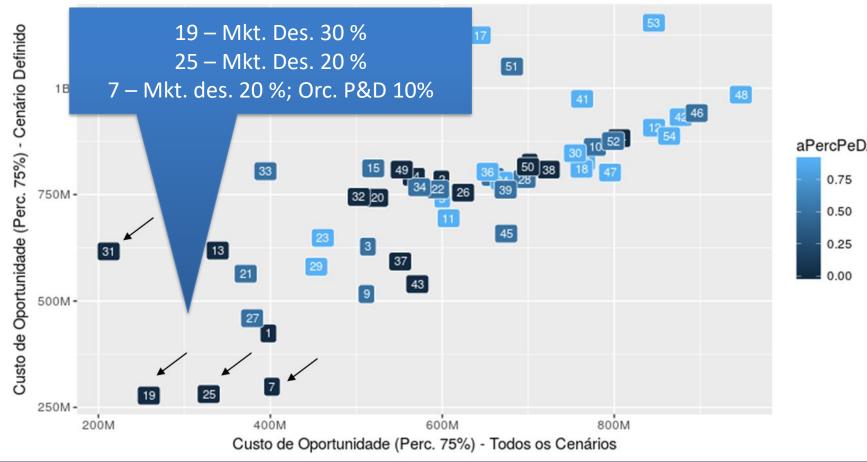


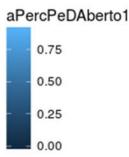






### Identificação de Estratégias **Alternativas**

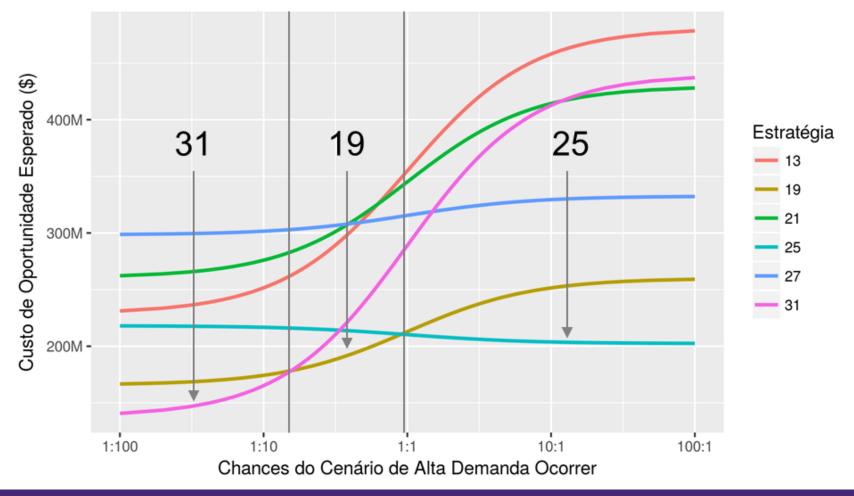








## Identificação de Estratégias Alternativas





23

# Conclusões e Contribuições

- Para a Indústria da Manufatura Aditiva:
  - Estratégias agressivas, sem investimento em P&D Aberto foram mais robustas do que as demais;
  - A difusão das impressoras 3D pode ter menor velocidade em função do seu preço e não apenas performance, logo investir mais em P&D não necessariamente é a melhor estratégia;
- Para a Avaliação de Decisões Estratégicas:
  - O trabalho é inovador ao empregar o RDM à avaliação de um problema de dinâmica competitiva;
- Futuros Trabalhos podem:
  - Expandir o modelo para considerar outros aspectos da indústria de manufatura aditiva;
  - Adaptar o modelo empregado e realizar a análise em outros contextos;
  - Considerar outras abordagens de decisão sob incerteza (ex.: DAAP, MORDM, Info-Gap).



# **Obrigado!**



