

Temperaturas durante transporte entre Europa, China, África e EUA: Dados reais e Modelos Preditivos

*Autor: Florian Dramas
PhD MOM Group – Materne North America*

*Traduzido por: Mauricio Bordin
Pesquisador Científico – Cetea*

Este artigo foi apresentado no ISTA's 2017 TransPack Forum

INTRODUÇÃO

Lançar uma inovação significa ser o primeiro a trazer valor agregado a uma determinada área ou mercado. Para isso, o tempo de lançamento (*time-to-market*) é fundamental para oferecer uma inovação e a simulação torna-se um ativo para mitigar os riscos (comercial, estrutural, regulatório, organoléptico). Produtos estáveis à temperatura ambiente (*Shelf stable*) são produtos que podem ser armazenados em temperatura ambiente, ou "na prateleira" pelo site do Usda. No âmbito do lançamento do seu ambiente GoGo SqueeZ Yogurtz, o MOM Group conduziu uma série de estudos e medições para avaliar as temperaturas às quais o produto estará exposto a partir da Europa para os EUA (terrestre e marítimo). Depois de uma apresentação do protocolo e dos resultados, este artigo irá propor um modelo preditivo e discutir como tal modelo pode acelerar o tempo de colocação no mercado e reduzir os riscos do lançamento do produto, simulando em laboratório as condições que o produto enfrentará.

PROTOCOLO

Para monitorar as temperaturas ao longo da cadeia de distribuição, sensores de temperatura foram instalados em unidades de carga e recuperados em diferentes estágios da cadeia de distribuição.



FIGURA 1 – Ciclo de distribuição do produto de nossa fábrica na França para as lojas da América do Norte.

Dois experimentos diferentes foram realizados no verão de 2014 e 2016.

1. O primeiro protocolo consistiu em monitorar as condições de transporte marítimo, colocando um sensor “Logtag” em uma caixa partindo de nossa fábrica na França para Montreal, entre Abril e Outubro. Trinta sensores foram monitorados da fábrica para as lojas e 22 foram realmente devolvidos para análise.
2. O segundo protocolo consistiu em monitorar as condições de transporte terrestre, colocando um sensor “Logtag” em dois locais de uma unidade de carga, em duas remessas LTL (*Less than a Truck*) diferentes no Arizona, em Agosto – Setembro de 2015 (19 dias de registro – 3000 milhas). O primeiro sensor foi colocado em uma caixa na parte superior do palete e o segundo no meio do palete (Figura 2).

Os resultados desses dois experimentos serão usados para confirmar resultados anteriores de literatura (LEINBERGER, 2006; ISTA, 2002) e construir um modelo preditivo da temperatura dentro de um caminhão.



FIGURA 2 - Carga do caminhão com 2 sensores de registro de temperatura. Um deles foi colocado em uma caixa no topo do palete, o outro foi colocado em uma caixa no meio do palete.

RESULTADOS

No primeiro experimento, as temperaturas dos produtos no interior do contêiner registradas confirmaram o que já tinha sido observado por diferentes estudos: os ciclos de 24 horas têm uma pequena amplitude (± 3 °C) e as temperaturas médias em um dia estão entre 7 °C e 26 °C de Abril a Outubro. Diferenças de 10 °C podem ser observadas mês a mês de Abril a Outubro. Estes resultados mostram que a amplitude de variação da temperatura ao longo do oceano não é tão alta quanto a amplitude observada durante o transporte terrestre. De fato, (LEINBERGER, 2006) mostrou que as temperaturas nos Oceanos Pacífico ou Atlântico seguem a mesma tendência: as temperaturas estão compreendidas na faixa entre 7 °C e 30 °C. Não há nenhum registro de temperaturas extremas que pudessem degradar um produto estável à temperatura ambiente em qualquer um dos nossos dados gravados ou na literatura (LEINBERGER, 2006).

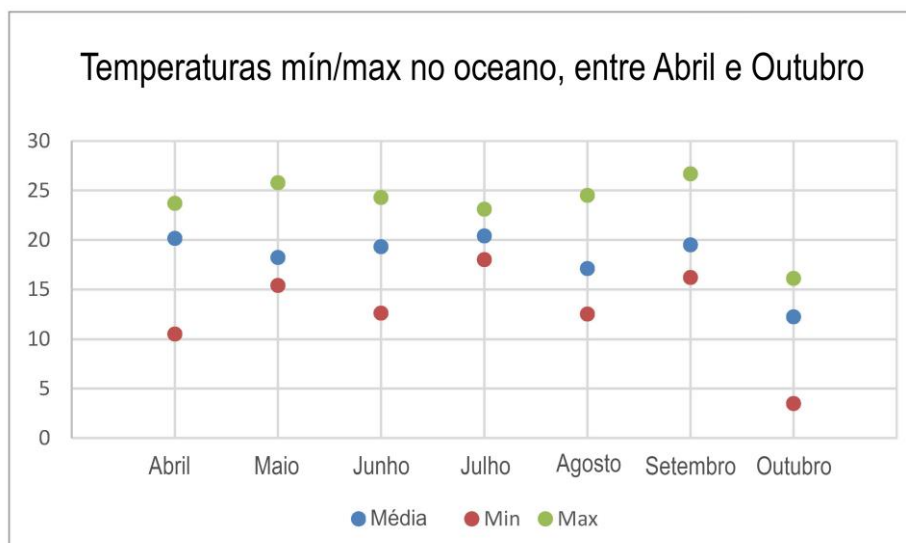


FIGURA 3 - Esta figura mostra as temperaturas mínima, média e máxima, em graus Celsius, no oceano, por mês de Abril a Outubro.

Ao contrário do que foi observado no oceano, sabe-se que a amplitude das temperaturas durante um período de 24 horas é maior no solo. A Figura 4 mostra que quase não há exposição do produto a altas amplitudes de temperatura no centro dos paletes. De fato, o meio do patele é cercado por outros produtos que desempenham o papel de “buffer” térmico.

(LEINBERGER, 2006) fez a mesma observação entre as temperaturas medidas em contêineres no oceano com até 20 °C de diferença de temperatura entre os sensores dos contêineres inferiores e os sensores dos contêineres superiores para uma temperatura externa do ar de 19 °C. Além disso, a temperatura medida no volume vazio de um contêiner parcialmente cheio foi menos moderada do que o volume preenchido.

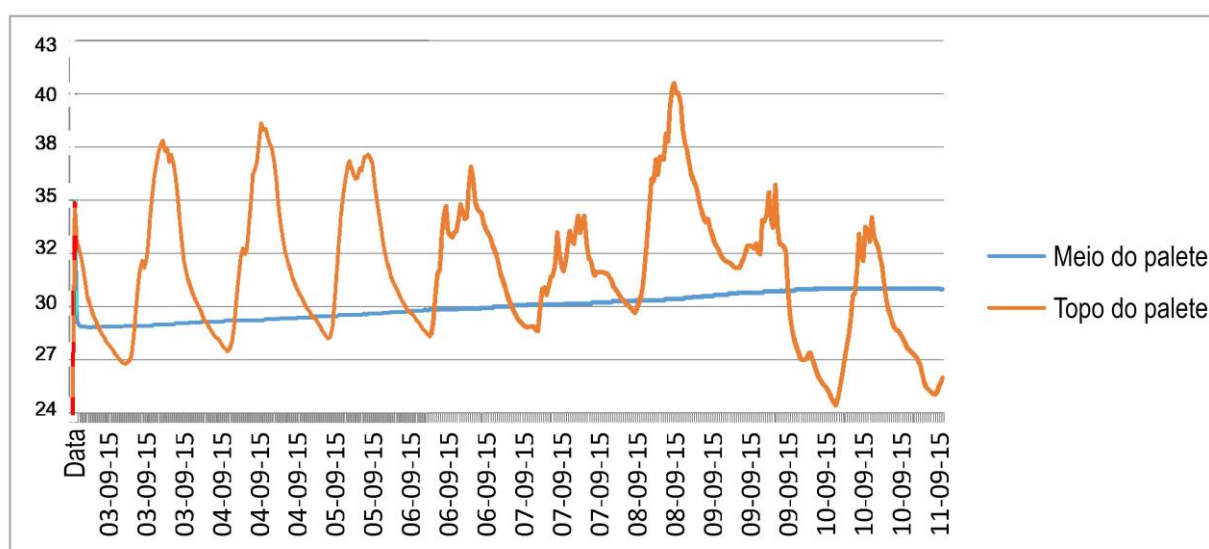


FIGURA 4 - Temperaturas registradas (°C) pelos sensores em um patele (topo e meio de um patele). As observações mostram que os sensores na parte superior do patele seguem os ciclos de 24 horas da temperatura externa, enquanto que quase não há variação no centro do patele durante 9 dias.

Entendendo as diferenças descritas entre os perfis de temperatura interna e externa de paletes, este estudo concentrou-se em analisar em detalhes os piores casos para o produto. De fato, as camadas externas de um palete são expostas a temperaturas mais altas e a intervalos mínima/máxima mais altos de temperatura. A diferença entre a temperatura mínima e máxima foi de até 13 °C entre a noite e o dia, e até 7 °C mais alta que a temperatura externa durante o dia (Figura 5: Perfil de temperatura no topo de um palete comparado à temperatura do ar externo durante o transporte). No próximo parágrafo deste artigo, descreveremos em detalhes como as medições foram analisadas e cruzadas com a literatura para construir um modelo de temperatura preditiva do cenário “pior caso” durante o transporte.

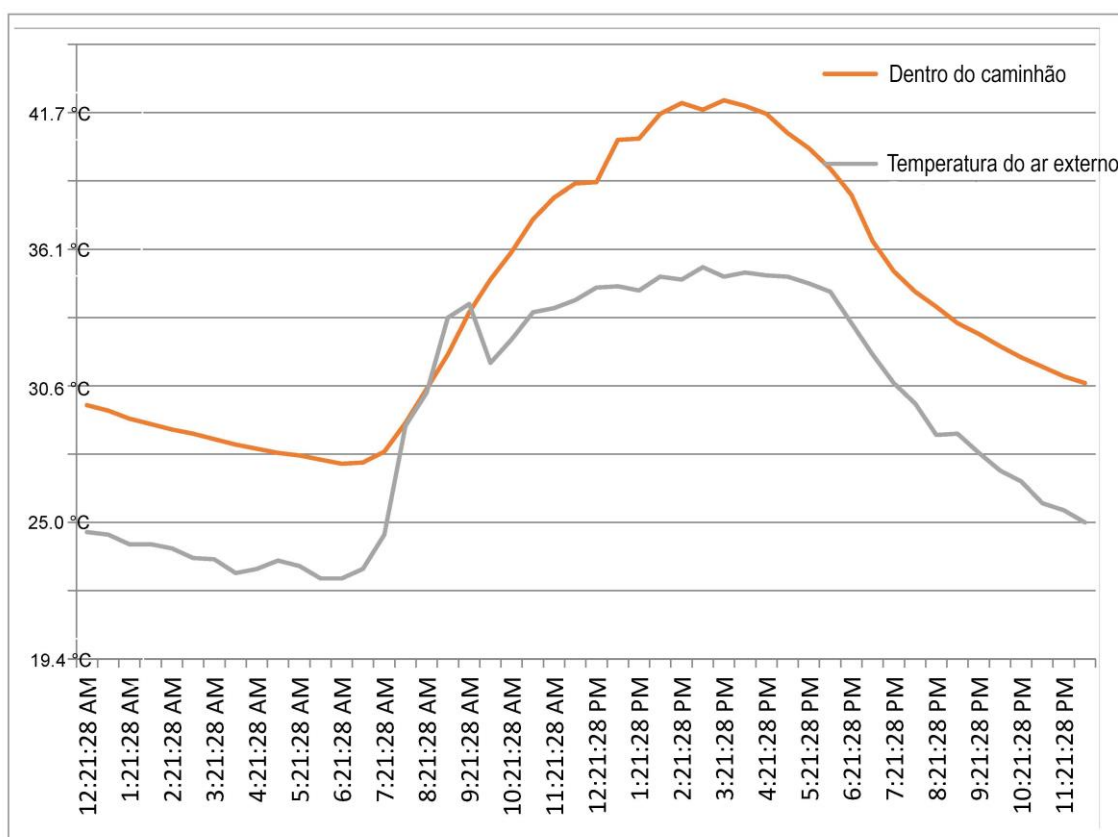


FIGURA 5 - Perfil de temperatura no topo de um palete comparado com a temperatura do ar externo durante o transporte em um dia quente no Arizona.

MODELO PREDITIVO

Com base nas medições anteriores, um estudo foi realizado para prever o perfil de temperatura interna do caminhão, em função do perfil da temperatura do ar externo.

$$\text{Perfil de temperatura interna do caminhão} = f(\text{perfil de temperatura externa})$$

O perfil da temperatura do ar exterior é uma função do tempo, clima e geografia. Na mesma latitude, as temperaturas mínima e máxima externas são atingidas na mesma hora todos os dias. Para simplificar o modelo, o perfil de temperatura externa de um dia foi descrito pelas temperaturas mínima e máxima atingidas durante o dia.

O perfil de temperatura interna do caminhão é uma função da temperatura externa do ar, do local da medição no caminhão, da quantidade de produto, do tipo de produto, da hora do dia, do isolamento do caminhão, etc. Para simplificar o modelo, o perfil interno da temperatura do caminhão para 24 horas foi descrito como uma função do horário e das temperaturas mínima e máxima do ar exterior do dia.

$$\text{Temp}_{\text{Cam}} = f(t, \text{Min}_{\text{ar}}, \text{Max}_{\text{ar}})$$

Onde:

t = hora do dia

Min_{ar} = Temperatura mínima do ar externo no dia

Max_{ar} = Temperatura máxima do ar externo no dia

Temp_{Cam} = Temperatura no interior do caminhão no horário t

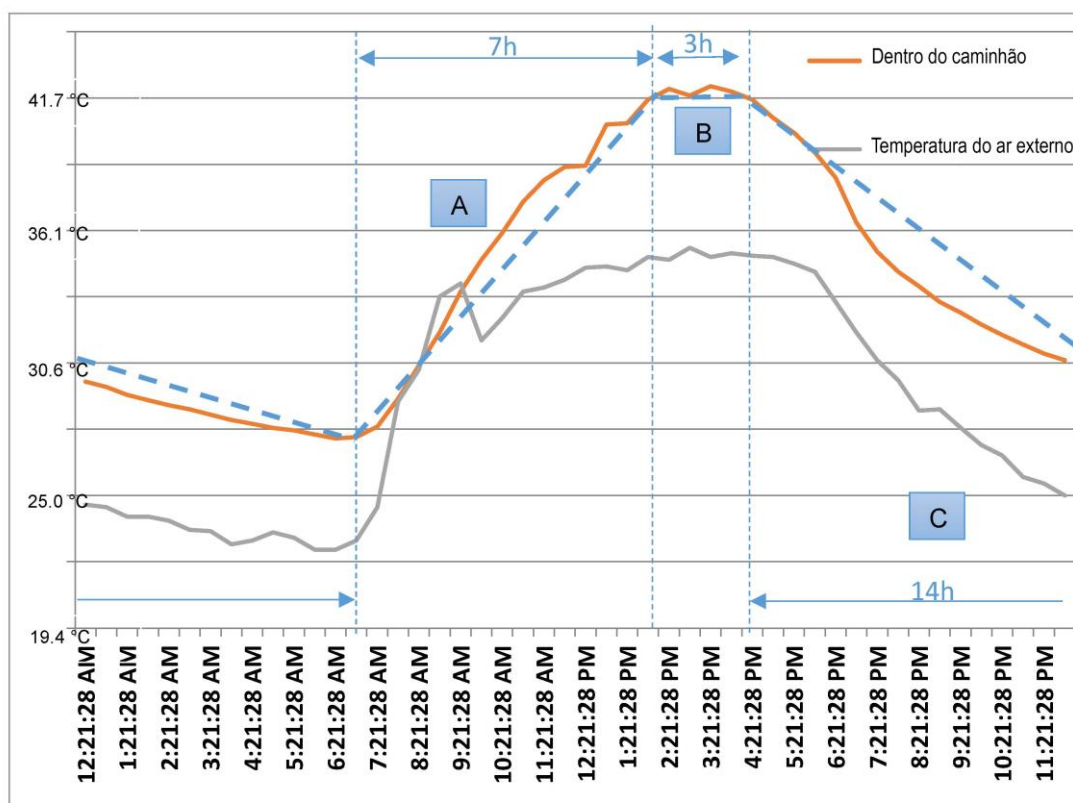


FIGURA 6 - Descrição do perfil de temperatura interna em função do perfil da temperatura do ar exterior. Três áreas principais podem ser identificadas no padrão: A (aumento da temperatura do mínimo ao máximo); B (a temperatura estável no máximo); C (temperatura diminui para o mínimo).

No exemplo da Figura 6, um padrão de temperatura dentro do caminhão pode ser observado. Das 7h às 14h, a temperatura dentro do caminhão aumenta de seu mínimo diário para seu máximo diário. Então, a temperatura fica estável por 3 horas e depois diminui por 14 horas para o mínimo. Esse padrão foi

observado a cada dia ensolarado em nosso conjunto de dados. As temperaturas mínima e máxima dentro do caminhão foram as únicas variações do dia a dia e foram dependentes das temperaturas mínima e máxima do ar externo. Uma correlação entre a temperatura mínima (ar e caminhão) e máxima (ar e caminhão) foi estabelecida usando uma interpolação linear nos 19 dias registrados.

$$\text{Min}_{\text{cam}}(\text{Min}_{\text{ar}}) = 0,72 * \text{Min}_{\text{ar}} + 11$$

$$\text{Max}_{\text{cam}}(\text{Max}_{\text{ar}}) = 0,91 * \text{Max}_{\text{ar}} + 16$$

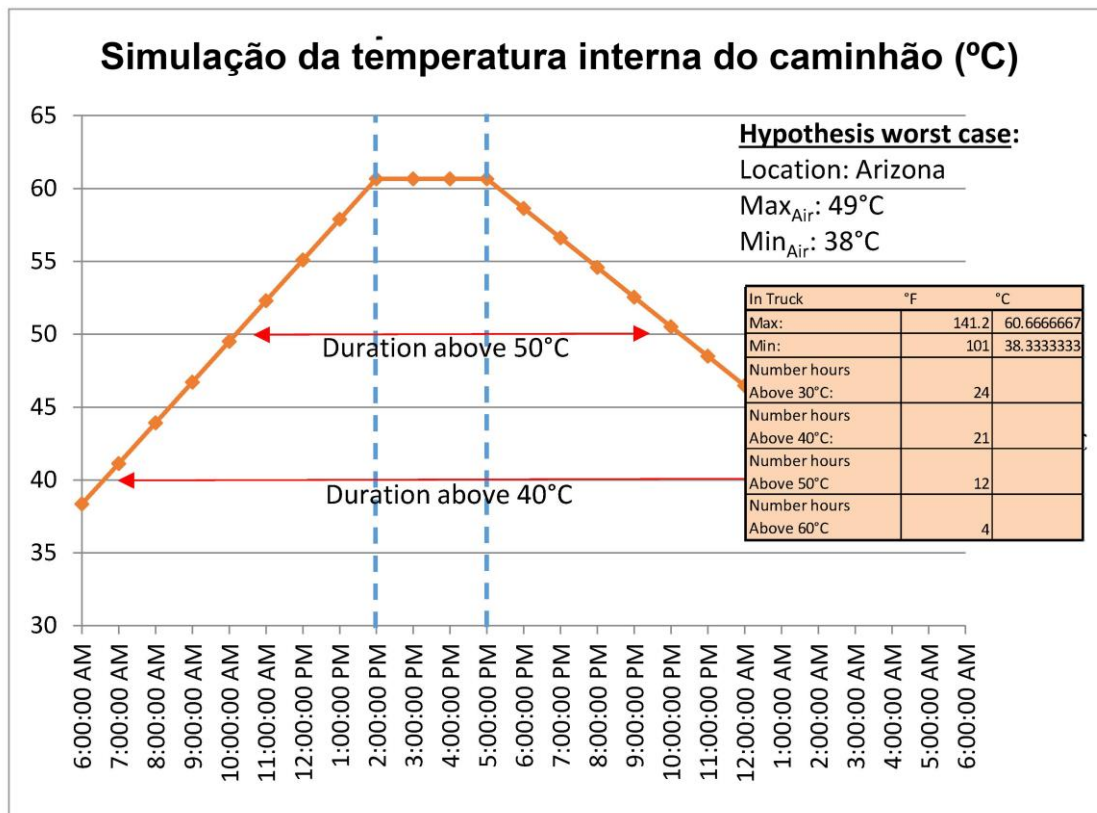


FIGURA 7 - Simulação da temperatura interna do caminhão através do modelo em condições históricas extremas em Junho de 1990 (Min_{ar} = 38 °C; Max_{ar} = 49 °C; Fonte: site Intellicast). O modelo pode nos dizer quantas horas o produto será exposto a temperaturas acima de 30 °C (24 horas), 40 °C (21 horas), 50 °C (4 horas) ao longo de um dia.

O modelo foi cruzado com dados da literatura (LEINBERGER, 2006; 2002) na Europa e EUA, e aplicado para a China e Norte da África.

TABELA 1 - A tabela abaixo apresenta o resultado do modelo nas diferentes áreas-alvo. Na Argélia, a maior densidade populacional está localizada no norte, onde as temperaturas são moderadas. A temperatura dentro do caminhão pode subir até 45 °C, incluindo 9 horas acima de 40 °C, 20 horas acima de 30 °C. Na China foram consideradas duas principais áreas: 1- Os locais mais quentes onde a temperatura pode subir até 44 °C (Ex. Xangai) e 2- áreas quentes (maior parte da China) onde a temperatura pode subir até 36 °C.

	Norte da Argélia	China
Min _{cam}	29,5 °C	
Max _{cam}	45 °C	49 °C (áreas quentes) / 55 °C (áreas mais quentes)
Número de horas > 20 °C por dia	24	24
Número de horas > 30 °C por dia	20	20
Número de horas > 40 °C por dia	9	14
Número de horas > 50 °C por dia	0	7 (áreas quentes) / 12(áreas mais quentes)

A Tabela 1 mostra a saída do modelo considerando as temperaturas Min_{ar} e Max_{ar} de duas áreas de mercado alvo (China e Argélia). A análise dos mapas de temperatura para esses dois locais nos permitiu fazer uma hipótese do perfil de temperatura do ar e estimar o perfil de temperatura que alguns dos nossos produtos (camadas externas do palete) serão expostos. Podemos então simular em laboratório o impacto dessas temperaturas no produto.

DISCUSSÃO

O modelo foi projetado para prever o perfil de temperatura em um caminhão durante o transporte terrestre em função das temperaturas Min_{ar} / Max_{ar} em áreas quentes. Foi encontrada uma correlação para o modelo com os resultados da literatura (Europa, EUA) e nossos próprios registros (EUA). Esses resultados nos permitiram simular em laboratório os diferentes ciclos de temperatura da França para os países-alvo (não apenas quão alto e baixo ele poderia ir, mas o perfil detalhado da temperatura e seus efeitos cumulativos no tempo). Para esse propósito, uma câmara ambiental foi configurada para simular a viagem completa do produto. Os riscos relacionados com a alta temperatura cumulativa que o produto pode enfrentar durante o transporte foram simulados no pior dos casos (camada superior externa). Graças a esses resultados, diferentes estratégias de transporte podem ser implementadas para locais específicos, tais como a duração do transporte (solo e oceano) e a quantidade de produto exposto a altas temperaturas.

O modelo trabalha na faixa de 18 °C a 45 °C de temperatura externa, no entanto, existem algumas limitações. O foco foi colocado em simular as temperaturas no verão e sabemos que nosso modelo pode não ser preciso abaixo de uma temperatura externa de 18 °C e durante vento forte ou tempo nublado. Alguns testes adicionais durante o inverno serão realizados para consolidar este modelo com temperaturas abaixo de 18 °C.

CONCLUSÃO

Um modelo foi descrito com o objetivo de reduzir os riscos e o tempo de lançamento (*time-to-market*) ao lançar uma inovação estável à temperatura ambiente. Uma ferramenta estará disponível mediante solicitação em florian.dramas@momgroup.com como um material de apoio para auxiliar as empresas que desejem lançar um produto estável à temperatura ambiente. Essa ferramenta permitirá que qualquer desenvolvedor de produto integre durante a fase de projeto as restrições de temperatura de transporte sem fazer testes reais antes de ir às prateleiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Leinberger, D. (2006). Ocean Container Temperature and Humidity Study in ocean containers (Xerox).
- (2002). ISTA Temperature report (ISTA).