



Cost-effectiveness of infusion pumps for reducing injectable dose errors in neonatal and pediatric ITU¹

Custo-efetividade de bombas de infusão para redução de erros de dose de injetáveis em UTI neonatal e pediátrica

Coste-eficacia de las bombas de infusión para reducir los errores de la dosis inyectables en la UIT neonatal y pediátrica

Roberto Carlos Lyra da Silva², Antônio Augusto de Freitas Peregrino³, Cristiano Bertolossi Marta⁴, Alexander Itria⁵

ABSTRACT

Objective: To analyze the cost-effectiveness of the use of infusion pumps with drug libraries to reduce dose errors in the administration of injectables in pediatric and neonatal patients in intensive care units. **Methodology:** Health technology assessment study, outlined as mathematical modeling for economic analysis, of the decision tree type. The base case was composed of reference and alternative scenarios. The cost estimate was based on the bottom-up and top-down approaches. The uncertainties of the model were treated by the Monte Carlo simulation. **Results:** Modeling showed that the infusion pump with drug library may be the best strategy to avoid dose errors. The incremental cost-effectiveness ratio (ICER) was R \$ 4,834.13, within the willingness to pay threshold defined in the base case. **Conclusion:** The reduction of drug adverse event due to dose error when using infusion pumps can represent a significant saving of resources and saved lives, considering the potential for death related to these events. In order to obtain an additional unit of effectiveness, ie, to avoid an AML due to a dose error in the base case, using an intelligent infusion pump, it is necessary to pay an additional R\$ 4,834.13.

Descriptors: Health technology assessment. Cost-Effectiveness. Medication. Adverse event.

RESUMO

Objetivo: Analisar o custo-efetividade do uso de bombas de infusão com biblioteca de fármacos para a reduzir erros de dose na administração de injetáveis em pacientes pediátricos e neonatais em unidades de terapia intensiva. **Metodologia:** Estudo de avaliação de tecnologias em saúde, delineado como modelagem matemática para análise econômica, do tipo árvore de decisão. O caso-base foi composto pelos cenários de referência e alternativo. A estimativa de custos foi baseada nas abordagens *bottom-up* e *top-down*. As incertezas do modelo foram tratadas pela simulação de Monte Carlo. **Resultados:** A modelagem mostrou que a bomba de infusão com biblioteca de fármacos pode ser a melhor estratégia para evitar erros de dose. A razão de custo-efetividade incremental (ICER) foi de R\$ 4.834,13, dentro do limiar de disposição de pagar definido no caso-base. **Conclusão:** A redução de evento adverso medicamentoso por erro de dose quando se utiliza bombas de infusão, pode representar uma economia significativa de recursos e vidas salvas, tendo em vista o potencial de morte relacionado a esses eventos. Para se obter mais uma unidade de efetividade adicional, ou seja, evitar um EAM por erro de dose no caso-base, utilizando bomba de infusão inteligente, é preciso desembolsar a mais, R\$ 4.834,13.

Descritores: Avaliação de tecnologias em saúde. Custo-Efetividade. Medicamento. Evento adverso.

RESUMÉN

Objetivo: Analizar la relación costo-efectividad del uso de bombas de infusión con bibliotecas de medicamentos para reducir los errores de dosis en la administración de inyectables en pacientes pediátricos y neonatales en unidades de cuidados intensivos. **Metodología:** Estudio de evaluación de la tecnología de la salud, delineado como modelo matemático para el análisis económico, del tipo de árbol de decisión. El caso base estaba compuesto por escenarios de referencia y alternativos. El cálculo del costo se basó en los enfoques de *bottom-up* y *top-down*. Las incertidumbres del modelo fueron tratadas por la simulación Monte Carlo. **Resultados:** El modelado mostró que la bomba de infusión con la biblioteca de medicamentos puede ser la mejor estrategia para evitar errores de dosis. La razón costo-efectividad incremental (ICER) fue de R \$ 4,834.13, dentro del umbral de disposición a pagar definido en el caso base. **Conclusión:** La reducción del efecto adverso del medicamento debido a un error de dosis al usar bombas de infusión puede representar un ahorro significativo de recursos y vidas perdidas, considerando el potencial de muerte relacionado con estos eventos. Con el fin de obtener una unidad adicional de efectividad, es decir, para evitar un IAM debido a un error de dosis en el caso base, utilizando una bomba de infusión inteligente, es necesario pagar R \$ 4,834.13 adicionales.

Descritores: Evaluación de tecnología de salud. Rentabilidad. Medicación. Acontecimiento adverso.

¹TCC MBA “Custo efetividade do uso de bombas de infusão com biblioteca de fármacos para infusão venosa de medicamentos em uti neonatal e pediátrica” defendida em dezembro de 2017, no Curso de MBA em Economia e Avaliação de Tecnologias em Saúde do Hospital Alemão Oswaldo Cruz e da Fundação Instituto de Pesquisa Econômica (FIPE).

²Doutor em Enfermagem. Enfermeiro. Professor Associado da UNIRIO. Coordenador do PPGENFBIO. Líder do Laboratório de Avaliação Econômica e de Tecnologias em Saúde. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

³Pós-Doutor em Biociências. Enfermeiro. Professor da UERJ. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

⁴Pós-Doutor em Enfermagem. Enfermeiro. Professor da UERJ. Coordenador de Pós-Graduação da Universidade Veiga de Almeida. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

⁵Doutor em Ciências e Saúde Pública. Economista. Professor Adjunto da UFG. Goiânia, Goiás, Brasil.

INTRODUÇÃO

A administração de medicamentos é uma das intervenções mais comumente utilizadas na prática clínica. Diariamente, milhões de doses de medicamentos são prescritas e administradas através das diferentes vias em hospitais brasileiros. Estudos publicados nos últimos anos têm evidenciado a ocorrência de erros associados a essa prática, que vão desde o não recebimento da terapêutica medicamentosa até lesões e morte causadas por erros na sua administração⁽¹⁻²⁾.

Cabe destacar que o processo de medicação é interdisciplinar e a enfermagem participa das fases de preparo, administração e monitoramento do paciente e, por este motivo, a enfermagem é apontada como a categoria que tem capacidade de interceptar até 80% dos erros⁽³⁾.

A administração de medicamentos injetáveis é uma das atividades de maior importância e uma das mais críticas em uma Unidade de Terapia Intensiva Pediátrica (UTIP), caracterizada como uma unidade que recebe pacientes de 29 dias a 18 anos de vida incompletos, motivo pelo qual, o volume administrado bem como a velocidade de infusão, variam bastante em função da idade e do peso dos pacientes.

Da mesma forma, o tipo de bomba utilizada para a infusão, também pode variar. Não raramente, para medicamentos injetáveis com volumes até 60ml, opta-se por bombas infusoras de seringa e para aqueles superiores a 60ml, a melhor opção é a utilização de bombas de infusão peristálticas lineares (dedilhamento).

Por isso, a administração de medicamentos injetáveis nessas unidades requer o envolvimento direto do enfermeiro e a utilização de bombas de infusão de alta precisão, o que pode aumentar a precisão da infusão.

Estima-se que os erros na administração de medicamentos representem 19,4% de todos os eventos adversos nos hospitais. Erros em infusões venosas costumam resultar em eventos adversos mais graves e estão associados, entre outras coisas, aos erros de configuração das bombas de infusão, com destaque para a entrada de decimais durante uma programação, que, quando não são interceptados, podem resultar em eventos adversos graves⁽⁴⁻⁶⁾.

Mesmo com todos esses cuidados, o uso de bombas de infusão e outras tecnologias, inúmeros riscos no processo de administração de medicação, que vai desde a prescrição até a administração do medicamento e o monitoramento do quadro clínico do paciente^(3,7-10).

Qualquer erro em uma parte ou em mais de uma parte do processo de administração de medicamentos pode acarretar o que chamamos de erro de medicamento. Em geral, a incidência de eventos adversos evitáveis, como aqueles relacionados aos erros de medicação, é alta e a gravidade destes são maiores que nos eventos adversos não evitáveis⁽¹¹⁻¹²⁾.

Pacientes internados em unidade de terapia intensiva pediátrica ou neonatal estão entre os pacientes mais vulneráveis. A prematuridade, gravidade da doença, os mecanismos compensatórios

limitados e o tempo prolongado de hospitalização aumentam o risco de morte, cuja taxa pode variar entre 6,94% e 17,6% e a exposição a erros de medicamentos, especialmente na administração⁽¹³⁻¹⁷⁾.

Pacientes pediátricos e neonatos podem receber de 15 até 20 medicações endovenosas através e bombas de infusão, por dia na UTIP e a gravidade poderia, inclusive, ser considerada uma justificativa para prescrever e usar medicamentos *off-label*, invocando a relação risco/benefício, reforçando, portanto, a necessidade de se avaliar essa condição considerando o potencial risco de sequelas associadas a administração desses medicamentos, cuja prevalência pode chegar a 40%⁽¹⁶⁻¹⁷⁾.

Nos últimos cinco anos, o *Emergency Care Research Institute* (ECRI) vem apontando os erros de administração de medicamentos envolvendo o uso de bombas de infusão, em sua lista de TOP 10 dos perigos das tecnologias em saúde. Para o ano de 2017, o ECRI alerta, no topo de sua lista, que os erros de infusão podem ser mortais se etapas simples de segurança forem ignoradas, em que pese o fato de se estar utilizando bombas de infusão⁽¹⁸⁾.

Estudos revelam dados alarmantes acerca dos problemas relacionados a administração de medicamentos em UTIP. Estima-se que 74% dos pacientes internados nessas unidades sofreram algum tipo de incidentes, 84% dos sofreram eventos adversos (EA) e, que, 66% dos erros ocorridos estavam relacionados a medicamentos, dos quais, 38% foram devidos a erros de dosagem, seguido de erros de omissão e administração⁽¹⁹⁻²²⁾.

A mortalidade associada aos eventos adversos medicamentosos ainda não está muito bem documentada na literatura. Não existem dados nacionais a esse respeito. A probabilidade de sequelas permanentes e mortes de pacientes em Unidade de Terapia Intensiva Neonatal (UTIN), provocadas por eventos adversos é de 0,6%. A UTIN pode ser caracterizada como uma unidade que recebe pacientes com menos de 29 dias de vida⁽¹⁹⁻²²⁾.

No que tange a magnitude financeira e tempo de internação referente ao evento adverso, outro estudo identificou que o valor gasto com as internações hospitalares é 200,5% maior na ocorrência de eventos do que nas internações sem eventos, além do tempo de internação ser em média, 28,3 dias a mais⁽²³⁾.

Por essas razões, ao longo da última década, uma série de ações tem sido propostas para reduzir os erros na administração venosa de medicamentos e os custos dos eventos adversos associados. Equipamentos estão sendo normatizados, a exemplo do que tem sido feito com as concentrações de drogas. No Brasil, bombas de infusão inteligentes (*smart pump*), com software de redução de erros de dose (biblioteca de fármacos) estão sendo disponibilizadas no mercado e recomendadas como uma alternativa para a redução dos erros na administração de medicamentos injetáveis nas unidades de terapia intensiva⁽²⁴⁻²⁵⁾.

Mas a incorporação desta tecnologia para infusão automatizada de medicamentos injetáveis nos serviços de saúde ainda tem esbarrado em dois grandes problemas: as incertezas quanto a sua efetividade na redução da taxa de eventos adversos

medicamentosos relacionados aos dos erros de dose durante as infusões, e o elevado custo de seus insumos.

Com base no exposto, a questão estruturada de pesquisa é: a bomba de infusão com biblioteca de fármacos comparada a bomba de infusão convencional é custo-efetiva para reduzir taxas de evento adverso medicamentoso (EAM) durante a administração de medicamentos intravenoso em pacientes pediátricos e neonatais em unidades de terapia intensiva?

Os objetivos são analisar o custo-efetividade e calcular a razão de custo-efetividade incremental (ICER) do uso de bombas de infusão com biblioteca de fármacos para a reduzir EAM durante a administração de medicamentos pela via intravenosa em pacientes pediátricos e neonatais em unidades de terapia intensiva.

A medida de efetividade de interesse nesse estudo é a taxa de EAM evitado relacionado aos erros de doses durante a infusão de medicamentos utilizando bombas de infusão.

METODOLOGIA

Trata-se de estudo de Avaliação Tecnológica em Saúde (ATS) que pode ser entendido como uma forma abrangente de pesquisar as consequências técnicas (quase sempre clínicas), econômicas e sociais, de curto e longo prazo, da utilização das tecnologias em saúde, bem como de seus efeitos diretos e indiretos, tanto desejáveis quanto indesejáveis⁽²⁶⁾.

Foi delineado como uma modelagem matemática para análise econômica, do tipo árvore de decisão e seguiu as recomendações da Diretriz Metodológica de Avaliação Econômica, do Ministério da Saúde⁽²⁷⁾.

O caso-base foi composto por dois cenários hipotéticos, o de referência, utilizando bombas de infusão convencionais, sem biblioteca de fármacos, e um alternativo, utilizando bombas de infusão com bibliotecas de fármacos. Na concepção do modelo, a problemática do estudo tem início com a possibilidade de evitar EAM durante a administração de medicações injetáveis pela via intravenosa com volumes superiores a 60ml, utilizando bombas de infusão volumétricas peristálticas.

No cenário de referência é utilizada bomba de infusão do tipo peristáltica volumétrica e no cenário alternativo, bombas de infusão com bibliotecas de fármacos, substituindo as bombas de infusão convencionais.

Consideramos na modelagem que a bomba de infusão utilizada no cenário de referência é um modelo mono canal, cujos equipos para infusão são substituídos a cada 72 horas de uso e, no cenário alternativo, bomba de infusão, cujos equipos para infusão são substituídos a cada 96 horas de uso segundo recomendação do próprio fabricante.

Em ambos os cenários, diferentes probabilidades de interceptar erros e evitar EAM são esperadas. Quando esses erros não são interceptados e os EAM ocorrem, podem resultar, dependendo de sua gravidade, ou no prolongamento do tempo de internação ou na morte do paciente.

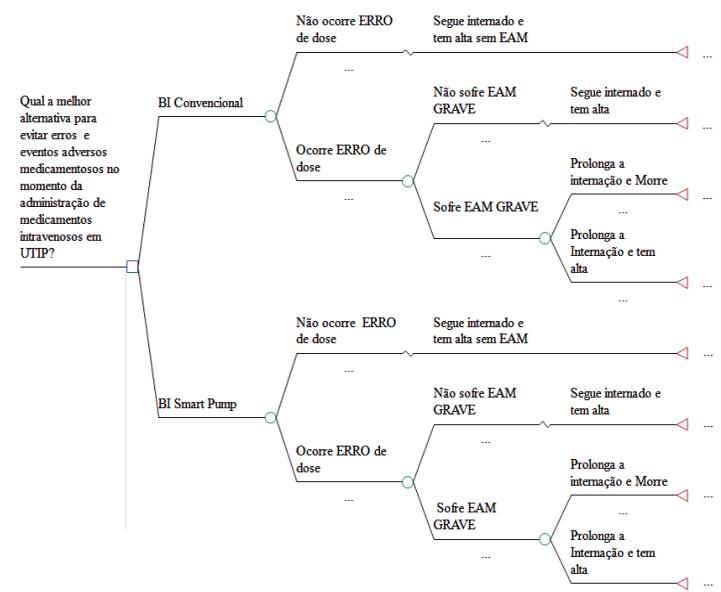
A população alvo são pacientes neonatos e pediátricos internados em unidades de terapia intensiva pediátrica e neonatal. A população foi estimada pelo método epidemiológico, considerando o número de pacientes internados nos hospitais da rede pública de saúde, vinculados a Secretaria Estadual de Saúde (SES) do estado do Rio de Janeiro, no ano de 2015, compondo uma coorte de 15.034 pacientes.

A perspectiva da análise de custo-efetividade foi na perspectiva do SUS. O tempo médio de permanência desses pacientes internados na unidade de terapia intensiva (19.61 dias) foi o horizonte temporal do estudo. O método utilizado para a estimativa de custos foi baseado nas abordagens *botton-up* ou microcusteio e *top-down* ou macrocusteio. Não foram aplicadas taxas de desconto ou de inflação, considerando o curto horizonte temporal.

As incertezas do modelo foram tratadas pela análise de sensibilidade probabilística, a partir da realização de simulações de Monte Carlo, considerando as variáveis de custo, para as quais foram atribuídas distribuições Gama e as variáveis de probabilidade, incluindo efetividade, para as quais foram atribuídas distribuições Beta. O α (alfa) e o β (beta) das distribuições Beta e o α e o λ (lambda) das distribuições Gama, foram estimados a partir das médias e dos desvios padrões das variáveis utilizadas nas análises.

O Software TreeAge® foi utilizado para a construção do modelo de árvore de decisão para a análise de custo-efetividade, conforme a Figura 1. Optamos pela árvore de decisão considerando o curto horizonte temporal da análise (19,61 dias); que o modelo funcionará adequadamente com o grupo da população do estudo (pacientes pediátricos e neonatos internados em unidade de terapia intensiva), expostos a erros e EAM durante a administração de medicamentos pela via intravenosa por bombas de infusão) e o tempo disponível para a análise e conclusão do estudo.

Figura 1 - Estrutura do Modelo da Árvore de Decisão.



Os seguintes pressupostos foram assumidos e incorporados ao modelo:

1. Média de permanência na unidade de terapia intensiva é de 19,61 dias, variando entre 18,88 a 20,92 dias de internação;
2. Que os equipos para infusões utilizando bombas convencionais são trocados a cada 72h e utilizando bombas com biblioteca de fármacos, a cada 96h (Recomendação do fabricante das bombas);
3. A quantidade média de bombas de infusão necessárias para atender a demanda de medicamentos injetáveis na unidade é de 03 bombas para cada paciente/dia (arbitrário);
4. A disposição de pagar (*Willingness to Pay* - WTP) foi estimada em 01 PIB *Per capita* R\$ 28.105,41, considerando o ano de 2016 (PIB *Per capita* de USD 8.649,95) e a cotação do dólar em 29/12/2016 que foi de R\$ 3,2492;
5. Que 14 a 38% dos pacientes internados em unidade sofrerão eventos adversos relacionados a erros de

- dose de medicamentos que resultaram no prolongamento do tempo de internação⁽¹⁹⁻²¹⁾;
6. Que a taxa média de eventos adversos graves de medicação é de 0,023, variando entre 0,022 e 0,024⁽²⁸⁻²⁹⁾;
7. Que na ocorrência de eventos adversos medicamentos graves, a internação na unidade pode se prolongar por mais 17 a 28,3 dias^(9,23);
8. Que probabilidade de morte de pacientes na unidade de terapia intensiva, provocadas por eventos adversos medicamentosos é de 0,6%⁽¹⁹⁻²²⁾;
9. Que a utilização de bomba de infusão convencional pode evitar eventos adverso medicamento relacionado ao erro de dose em 62% a 86% das infusões de medicamentos injetáveis pela via intravenosa em unidade de terapia intensiva, e as bombas de infusão com biblioteca de fármacos, 79% a 90%^(19-21,28,29).

Quadro 1 - Distribuições e seus respectivos parâmetros imputados no modelo.

TIPO	NOME (Distribuição)	DESCRIÇÃO	ALFA	LAMBDA BETA
Gama	DIST_SP_CUST_INT	Distribuição do custo da internação com <i>Smart Pump</i>	$(7186,28^2)/(4165,544^2)$	$7186,28/(4165,544^2)$
Beta	DIST_EFE_SP	Distribuição da Efetividade da Alta com BC sem EAM	$((0,9064^2)*(1-0,9064)/(0,04044^2))$	$(0,9064*(1-0,9064)/(0,04044^2))-((0,9064^2)*(1-0,9064)/(0,04044^2))$
Beta	DIST_EFE_BC	Distribuição da efetividade da BC	$((0,74^2)*(1-0,74)/(0,1697^2))$	$(0,74*(1-0,74)/(0,1697^2))-((0,74^2)*(1-0,74)/(0,1697^2))$
Gama	DIST_BC_CUST_INT	Distribuição do custo da internação utilizando bomba convencional	$(6381,88^2)/(4165,544^2)$	$6381,88/(4165,544^2)$
Gama	DIS_CUSTOS_EAM	Distribuição dos Custos com EAM	$(72480,00^2)/(25568,981^2)$	$72480,00/(25568,981^2)$
Beta	DIST_PROB_ERRO_DOSE	Distribuição da probabilidade de erro de dose	$((0,26^2)*(1-0,26)/(0,1697^2))$	$(0,26*(1-0,26)/(0,1697^2))-((0,26^2)*(1-0,26)/(0,1697^2))$
Beta	DIST_PROB_EAM_GRAVE	Distribuição da probabilidade de ocorrência de EAM grave	$((0,023^2)*(1-0,023)/(0,001414^2))$	$(0,023*(1-0,023)/(0,001414^2))-((0,023^2)*(1-0,023)/(0,001414^2))$
Beta	DIST_PROB_MORTE_EAM	Distribuição da probabilidade de morte por EAM grave	$((0,03^2)*(1-0,03)/(0,04242^2))$	$(0,03*(1-0,03)/(0,04242^2))-((0,03^2)*(1-0,03)/(0,04242^2))$

Fonte: *Text Report* de distribuições imputados no Modelo e criado pelo autor com uso do software Treeage®, 2017.

Os custos anuais por cenários foram estimados a partir de uma revisão de literatura. Foram considerados somente os custos médicos diretos, referentes ao “pacote terapêutico”, constituído pelos custos com as diárias de internação no leito de terapia intensiva (macrocusteio); os custos referentes aos equipos necessários para cada uma das bombas de infusão (microcusteio); os custos com os eventos adversos resultantes dos erros com a administração de medicamentos pela via intravenosa (macrocusteio) e os custos com as diárias extras resultantes dos eventos adversos que provocaram a postergação da alta da unidade (macrocusteio).

O custo com a internação no cenário de referência foi estimado entre R\$ 3002,4 - R\$ 8893,37 com uma média de R\$ 5.947,885, para uma média de 20 dias de permanência (internação). Foram consideradas o valor médio por internação em UTI Infantil I, UTI

Infantil II, UTI Infantil III, UTI Neonatal I, UTI Neonatal II, UTI Neonatal III, nas Internações hospitalares (aprovadas) efetuadas no estado do Rio de Janeiro no ano de 2016. No pacote terapêutico foram acrescentados mais R\$ 434,00, referentes ao custo com 20 equipos de bombas de infusão convencional, necessários para atender a demanda de infusões durante o período de internação.

No cenário alternativo, utilizando bombas de infusão com bibliotecas de fármacos, os custos com a internação forma acrescentados em mais R\$ 1.238,40, relativo a custo de 15 equipos de bombas de infusão com biblioteca de fármacos, necessários para atender a demanda de infusões durante o período de internação.

O custo médio dos equipos foi estimado em R\$ 82,56, podendo variar entre R\$76,80 e R\$ 88,32, para o equipo da bomba de infusão inteligente. Para o

equipo de bomba convencional, o custo médio foi estimado em R\$ 21.70, podendo variar entre R\$ 18,80 e R\$ 24,60. Esses são os valores praticados para a venda, diretamente pela empresa fornecedora das bombas, referentes aos equipos das bombas *smart pump* e convencional, respectivamente.

O custo com eventos adversos evitáveis foi estimado em R\$ 3.200,00 por dia de internação. Para fins de estimativa de custos evitados, foram considerados tão somente aqueles decorrentes de erros relacionados a infusão de medicamentos intravenosos com potencial para eventos adversos graves, tendo como fontes de informações, a literatura científica^(23,30). As distribuições para a análise de sensibilidade probabilística estão apresentadas, conforme o Quadro 1.

RESULTADOS

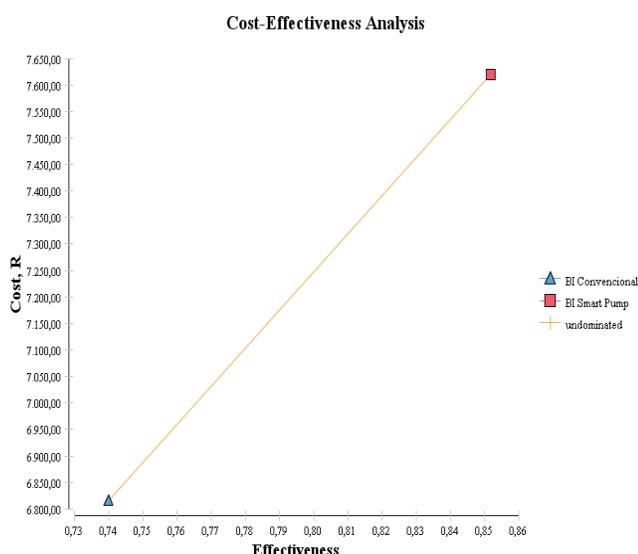
A árvore de decisão, após *Roll Back* mostrou que a bomba de infusão com biblioteca de fármacos pode ser a melhor estratégia para evitar EAM durante a administração de medicamentos intravenosos.

Como não houve uma estratégia dominante e outra dominada, como pode ser constatado no gráfico de custo-efetividade, conforme a Figura 2, qualquer uma das estratégias pode ser custo-efetiva, dependendo da disposição de pagar.

O gráfico de custo-efetividade demonstrou que é possível, no caso base, obter uma efetividade média de até 0.86, o que corresponde evitar EAM relacionado a dose, em 86% das infusões de medicamentos pela via intravenosa, utilizando bombas de infusão com biblioteca de fármacos, a um custo que pode variar de R\$ 7.600,00 a R\$ 7.650,00. Utilizando bombas de infusão convencionais, uma efetividade de até 0.74 pode ser obtida, a um custo que pode variar entre R\$ 6.800,00 a R\$ 6.850,00.

A análise revelou que a bomba convencional, embora tenha o menor custo, tem também menor efetividade. Diferentemente, a bomba de infusão com biblioteca de fármacos, apresentou maior custo e maior efetividade.

Figura 2 - Gráfico de Custo-Efetividade.



Fonte: Modelo de Arvore de Decisão proposto pelo autor e criado com uso do software Treeage®, 2017.

Considerando a análise determinística e a disposição de pagar (WTP) que no caso base é de R\$

28.105, 41, a melhor estratégia para evitar EAM relacionado a dose, durante as infusões de medicamentos pela via intravenosa é a bomba de infusão com biblioteca de fármacos.

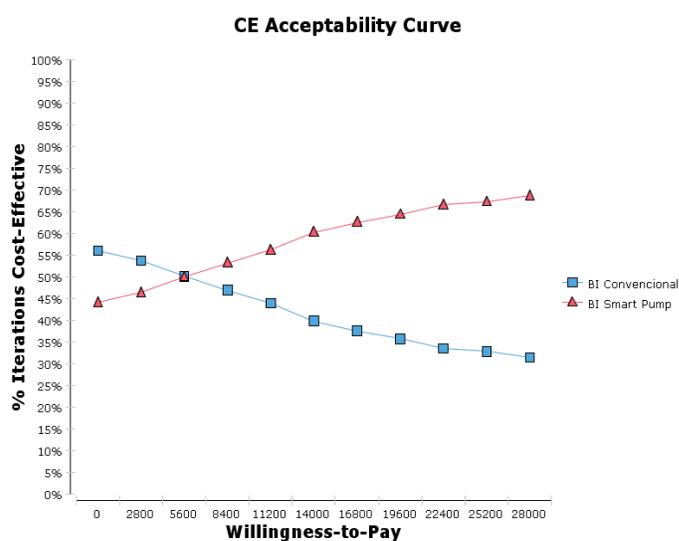
A redução de evento adverso medicamentoso por erro de dose quando se utiliza bombas de infusão, pode representar uma economia significativa de recursos e vidas salvas, tendo em vista o potencial de morte relacionado a esses eventos. Nesse sentido, a análise de custo-efetividade revelou uma razão de custo-efetividade incremental (ICER) de R\$ 4.834,13, dentro do limiar de disposição de pagar definido no caso-base.

Esse ICER significa dizer que, para se obter mais uma unidade de efetividade adicional, ou seja, evitar um EAM por erro de dose no caso-base, utilizando bomba de infusão inteligente, é preciso desembolsar a mais, R\$ 4.834,13.

A curva de aceitabilidade, conforme a Figura 3, mostra que a probabilidade de a bomba de infusão com biblioteca de fármacos ser mais custo-efetiva que a bomba de infusão convencional, passa a ser maior, a partir de um limiar de disposição de pagar de pouco mais de R\$ 6.000,00. Considerando o limiar de disposição de pagar de R\$ 28.105,41, a probabilidade de a bomba de infusão com biblioteca de fármacos ser custo-efetiva é de 75%.

Com o desembolso de R\$ 28.000,00 existe a probabilidade de 75% da bomba de infusão com biblioteca de fármacos ser custo-efetiva, caso seja utilizada para reduzir a taxa de EAM por erro de dose em infusões venosas de medicamentos na unidade de terapia intensiva. A maior probabilidade de a bomba convencional ser custo-efetiva é de 55% e esse percentual de probabilidade pode ser alcançado se o limiar de disposição de pagar for de R\$ 6.000,00.

Figura 3 - Gráfico de Curva de Aceitabilidade de Custo-Efetividade.



Fonte: Análise de Custo-Efetividade do Modelo de Arvore de Decisão proposto pelo autor e criado com uso do software Treeage®, 2017.

Na análise probabilística foram realizadas 10.000 simulações de Monte Carlo de segunda ordem para tratar das incertezas relacionadas a variabilidade dos parâmetros imputados no modelo. Foram gerados gráficos do tipo dispersão (Scatterplot) de custo-efetividade conforme a Figura 4.

Podemos constatar que a efetividade da bomba de infusão com biblioteca de fármacos variou entre

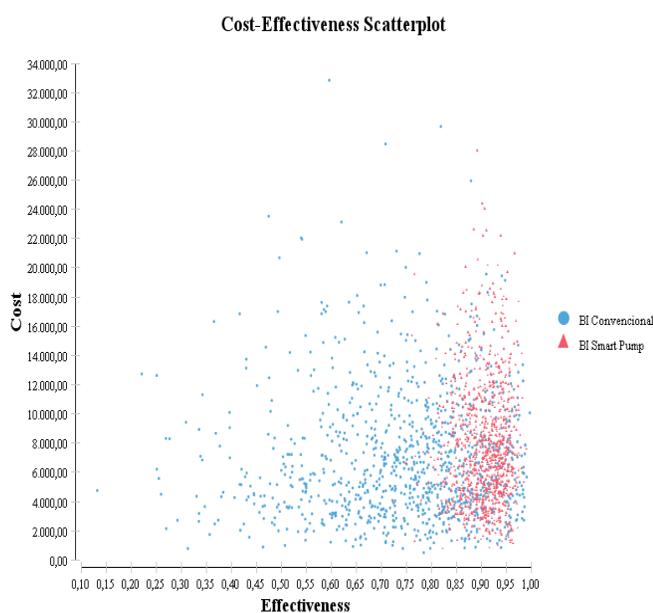
75 e 99% (triângulo vermelho no gráfico), com pouca dispersão. Com relação aos custos, a dispersão foi um pouco maior, com maior concentração das simulações entre as faixas de R 2.000,00 a R\$ 10.000,00.

O Scatterplot revela ainda uma grande dispersão em relação a efetividade da bomba de infusão convencional (círculo azul), variando entre 15% e 99%, com maior concentração das simulações na faixa de 70% a 90%. Em relação aos custos, a dispersão foi bem parecida com a dispersão observada na bomba de infusão com biblioteca de fármacos, porém com uma variabilidade discretamente maior.

Em todas as 10 mil simulações, apenas 04 ultrapassaram o limiar de disposição de pagar de pouco mais de R\$ 28.000,00, o que diminui a incerteza do modelo no que se refere a opção pela incorporação da bomba de infusão com biblioteca de fármacos, considerando esse limiar de disposição para pagar.

A análise probabilística demonstrou ser muito grande a probabilidade de a bomba de infusão com biblioteca de fármacos ser realmente mais custo-efetiva que a convencional, ratificando o que já havia sido revelado pela curva de aceitabilidade, que demonstrou que a bomba de infusão com biblioteca de fármacos passa a ter maior probabilidade de ser custo-efetiva comparada a bomba de infusão convencional, a partir de um limiar de aproximadamente R\$ 6.000,00.

Figura 4 - Scatterplot do Custo-Efetividade.



Fonte: Análise de sensibilidade probabilística (Monte Carlo) do Modelo de Arvore de Decisão proposto pelo autor e criado com uso do software Treeage®, 2017.

DISCUSSÃO

Os resultados do estudo estimaram a razão de custo-efetividade da utilização de bombas de infusão com bibliotecas de fármacos para redução de eventos adversos relacionados a erros de dose, na administração de medicamentos injetáveis, pela via intravenosa em unidades de terapia intensiva pediátrica e neonatal.

Os estudos realizados são inconclusivos em relação a efetividade das bombas de infusão inteligentes na redução de evento adverso

medicamentoso, demonstrou não haver redução de risco associada à implantação de bombas inteligentes⁽³¹⁾.

Entretanto, até a finalização desse estudo, nenhum outro, que tivesse avaliado o custo-efetividade desta tecnologia, demonstrando se a infusão de medicamentos pela via intravenosa na população de pacientes pediátrico e neonatal internados em UTI é uma alternativa mais custo-efetiva que a utilização de bomba de infusão convencional, foi encontrado.

O estudo apresentou uma breve revisão da literatura sobre a efetividade do uso, uso de bombas de infusão convencional e com biblioteca de fármacos, utilizando as informações derivadas desta revisão para fundamentar os pressupostos assumidos e imputados no modelo de árvore decisão apresentado. Nota-se, como característica da literatura pesquisada o predomínio de estudos observacionais.

Considerando uma escala de valoração da confiabilidade das evidências científicas, muito embora o valor dos estudos observacionais possa ser reduzido, na ausência de dados mais consistentes, e para fins de avaliação de efetividade, sua contribuição pode ser bastante útil para compreensão da problemática deste estudo.

Convém ressaltar as dificuldades encontradas para estimar a efetividade das bombas de infusão analisados no estudo, diante da escassez dos estudos abordando essa temática, sobretudo, desenvolvidos no Brasil.

A estimativa dos custos da utilização de bombas de infusão com e sem a biblioteca de fármacos em indivíduos que necessitam de infusão de medicamentos pela via intravenosa em UTIP e UTIN, bem como os custos relacionados aos eventos adversos medicamentoso também foi realizada. Tomou-se como referência as tabelas de reembolso do SUS para internações em unidades de terapia intensiva neonatal e infantil no estado do Rio de Janeiro (Sistema de Informações Ambulatoriais e Hospitalares).

Convém ressaltar as dificuldades encontradas para estimar os custos relacionados aos eventos adversos e aos equipos necessários para cada uma das bombas de infusão, cuja a busca de informações nas bases de dados do SUS (Sistema de Informações Ambulatoriais e Hospitalares) mostrou-se infrutífera.

Outra estratégia utilizada na apuração dos custos, foi estimar o consumo diário de equipos de bombas de infusão, a partir do que recomenda a fabricante das bombas analisadas. Como as informações disponíveis sobre os custos desses insumos se deu a partir do BRASINDICE® 2017 e como esse não representa o real valor pago pelo SUS, na aquisição dos equipos das bombas de infusão, acredita-se que estes custos estejam fortemente superestimados.

Esta condição não invalida os resultados obtidos. Ao contrário, pode reforçar, na medida que, mesmo superestimados os custos dos equipos, sobretudo, o da bomba de infusão com biblioteca de fármacos, a opção por esse tipo de bomba para evitar evento adverso medicamentoso relacionado ao erro de dose em UTIP e UTIN, permanece custo-efetivo.

Uma análise de sensibilidade do modelo incorporando variações nos valores utilizados, tanto para custos, quanto para efetividade, foi realizada, não existindo impacto tão significativo de tais variações nos resultados finais obtidos. O modelo proposto foi avaliado de forma a testar sua sensibilidade diante de possíveis variações nos parâmetros imputados a sua construção, percebendo-se que as alterações no custo da internação utilizando bombas de infusão com biblioteca de fármacos (C_INTER_SP) e efetividade da bomba de infusão convencional (E_BC) poderiam alterar o resultado.

CONCLUSÃO

Os resultados desta análise econômica podem representar uma nova perspectiva para a abordagem da problemática dos EAM relacionados aos erros de dose em infusões de medicamentos na UTIP e na UTIN, quase sempre abordada na literatura científica, a partir de dois enfoques não raramente dissociados um do outro.

O primeiro enfoque está baseado na preocupação com o aumento das taxas de EAM nessas unidades, o que tem concorrido para o avanço do conhecimento científico acerca da melhor estratégia para reduzi-los. O segundo enfoque está relacionado ao aumento dos custos hospitalares associados a incorporação de tecnologias e ao próprio evento adverso, tornando-se explícito no crescente número de estudos publicados sobre o tema, ainda que seus resultados não tenham robustez e força de recomendação para oferecer suporte sólido para condutas sobre essa situação.

A nova perspectiva apontada pelos resultados desta análise de custo-efetividade expande a discussão para além dos horizontes das análises isoladas de efetividade e dos custos das estratégias para a redução de EAM em UTIP e UTIN, considerando em um mesmo estudo, os custos e os benefícios da adoção de uma ou outra estratégia, chamando atenção para a efetividade obtida com a estratégia em termos de EAM evitados, relacionados ao erro de dose de medicamentos.

Assim, como ao evitarmos evento adverso medicamentoso, estamos proporcionando ganhos de benefícios para a população estudada, e este benefício é tão maior quanto maior for à efetividade da estratégia utilizada, o estudo demonstrou que utilizar bombas de infusão com bibliotecas de fármacos é mais custo-efetivo do que utilizar bombas de infusão convencionais.

Portanto, uma vez que utilizar bombas de infusão com bibliotecas de fármacos é mais custo-efetivo, o possível constrangimento para adotar esta estratégia poderia ser tão somente de ordem orçamentária. Assim, como complemento necessário ao estudo, sugere-se que seja realizada uma análise de impacto orçamentário da adoção da estratégia mais custo-efetiva para a população-alvo, o que não foi possível nessa análise econômica, por conta do pouco tempo disponível para a sua realização.

REFERÊNCIAS

1. LEAPE, L. L. et al. Reducing adverse drug events: lessons from a breakthroughs series collaborative. *Jt. Comm. J. Qual. Improv.*, v. 26, n. 6 p. 321-331, 2000.
2. TAXIS, K.; BARBER, N. Ethnographic study of incidence and severity of intravenous drug errors. *BMJ*, v. 326, n. 7391, p. 684-687, mar. 2003.
3. CASSIANI B. Segurança do paciente e o paradoxo no uso de medicamentos. *Rev Bras Enferm* 2005; 58(1): 95-9.
4. TRBOVICH PL, PINKNEY S, CAFAZZO JA, et al. The impact of traditional and smart pump infusion technology on nurse medication administration performance in a simulated inpatient unit *Quality and Safety in Health Care* 2010;19:430-434. Disponível em <<http://qualitysafety.bmj.com/content/19/5/430>>. Acesso em: 07 mar 2017.
5. ANDERSON, J. G. et al. Evaluating the capability of information technology to prevent adverse drug events: a computer simulation approach. *J. Am. Med. Inform Assoc.*, v. 9, n. 5, p. 479-490, 2002.
6. ROYAL COLLEGE OF NURSING. Standards for infusion therapy. 3rd. edition. Royal College of Nursing, London, 2010.
7. BALAS MC, SCOTT LD, ROGERS AE. Frequency and type of errors and near errors reported by critical care nurses. *Can J Nurs Res*. 2006 Jun; 38(2): 24-4.
8. CAMERINI, F. G. Preparo e administração de medicamentos intravenoso pela enfermagem: garantindo a segurança junto aos pacientes críticos. [dissertação] Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2010. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2010.
9. CASSIANI S.H., GIMENES F.R., MONZANI A.A. O uso da tecnologia para a segurança do paciente. *Revista Eletrônica de Enfermagem [Internet]*, 2009, 11(2):413-417.
10. COIMBRA, J. Prevenção e detecção de erros de medicação. *Ciência, Cuidado e Saúde*, Brasil, 5 set. 2006. Disponível em <<http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/CienCuidSaude/article/view/5181/3352>>. Acesso em: 25 Ago 2016.
11. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (BRASIL). Glossário Brasília (DF); c 2005-2009 Erro de medicação [acesso em 12 abr. 2010]. Disponível em: <<http://websphere.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/anvisa/posuso/farmacovigilancia/>>. Acesso em: 14 de abr 2017.
12. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Glossário Brasília (DF); c 2005-2009. Erro de medicação Disponível em: <<http://websphere.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/anvisa/posuso/farmacovigilancia/>>. Acesso em 12 nov. 2016.
13. TOSO L.A.R, ALVES M.V.M.F.F, BISSIGUINI P.O. et al . Perfil dos pacientes internados em uma unidade de terapia intensiva pediátrica de um hospital escola do interior de São Paulo. *Cienc Cuid Saude* 2014 Abr/Jun; 13(2):294-301. Disponível em < >. Acesso em: 07 mar 2017.

14. MORAES A. G., BUSTAMANTE T. F., GONÇALVES T. A., FERREIRA G. Estudo Sobre a Mortalidade em UTI Neonatal de um Hospital Escola no Sul de Minas. *Revista Ciências em Saúde* v4, n 2, abr-jun 2014.
15. SAMRA, H. A., MCGRATH, J. M., & ROLLINS, W. 2011. Patient safety in the NICU. *The Journal of Perinatal & Neonatal Nursing*, 25(2), 123-132. Disponível em <[http://nwhjournal.org/article/S1751-4851\(15\)30649-8/fulltext](http://nwhjournal.org/article/S1751-4851(15)30649-8/fulltext)>. Acesso em: 20 ago 2017.
16. KALIKSTAD B., SKJERDAL A., HANSEN T.W. Compatibility of drug infusions in the NICU. *Arch Dis Child*. 2010;95:745-8.
17. MENESES, J. A., VENTURA C.M. ALVES J.G.B. Eventos adversos em Unidade de Terapia Intensiva Neonatal. *Rev Bras Enferm*, Brasília 2012 jan-fev; 65(1): 49-55.
18. ECRI INSTITUTE. Top 10 Technology Health Hazards For 2017. *Health Devices*. 2016. Disponível em: <www.ecri.org/2017hazards>. Acesso em 2 de dez 2016.
19. ESQUÉ RUIZ MT, et al. Los errores de tratamiento en una unidad neonatal, uno de los principales acontecimientos adversos. *An Pediatr (Barc)*. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.anpedi.2015.09.009>>. Acesso em 2 de dez 2016.
20. LANZILLOTTI L.da S., SETA M.H., ANDRADE C.L, MENDES JUNIOR W.V. Adverse events and other incidents in neonatal intensive care units. *Cien Saude Colet*. 2015;20:937-46.
21. SHAREK, P. L. et al. Adverse events in the neonatal intensive care unit: development, testing, and finding of a NICU-focused trigger tool to identify harm in North American NICUs. *Pediatrics*, Washington, v. 118, no. 4, p. 1332-1340, Oct 2006.
22. VENTURA, C. M.U. Eventos Adversos em Recém-Nascidos Admitidos na Unidade de Terapia Intensiva Neonatal do Instituto de Medicina Integral Prof. Fernando Figueira-Imip. 2009. 61f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Medicina Integral Prof. Fernando Figueira- Recife. 2009.
23. VALENTIN A et al. Errors in administration of parenteral drugs in intensive care units: multinational prospective study. *BMJ* 2009;338:b814. Disponível em <<http://www.bmj.com/content/338/bmj.b814.full>>. Acesso em:20 jun 2017.
24. PORTO S et al. A magnitude financeira dos eventos adversos em hospitais no Brasil. *Rev Port Saúde Pública*. 2010; Vol Temat(10):74-80 Disponível em : <<http://www.elsevier.pt/pt/revistas/revista-portuguesa-saude-publica-323/artigo/a-magnitude-financeira-dos-eventos-adversos-em-hospitais-X0870902510898606>> Acesso em: 18 de ago 2016.
25. QUINN C; GLENSTER H; STEPHENSON E. NPSA infusion device toolkit: a cost a way to improve patient safety. *Clinical Governance: An international Journal*, v. 9, n. 3, p. 195-7, 2004. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3876189/pdf/milq0091-0738.pdf>>. Acesso em: 07 mar 2017.
26. BORTHWICK M, WOODS J, KEELING S, KEELING P, WALDMANN C. A survey to inform standardisation of intravenous medication concentrations in critical care, *The Journal of the Intensive Care Society*. 2007; 8: 92-96
27. INSTITUTE OF MEDICINE. (2011). *Health IT and Patient Safety: Building Safer Systems for Better Care*. Washington, DC: The National Academies Press.
28. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. Diretrizes metodológicas: elaboração de estudos para avaliação de equipamentos médicos assistenciais / Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Ciência e Tecnologia. - Brasília: Ministério da Saúde, 2013. 96 p.: il.
29. ROTHSCCHILD JM et al. "A controlled trial of smart infusion pumps to improve medication safety in critically ill patients." *Critical care medicine* 33 3 (2005): 533-40. Disponível em <https://pdfs.semanticscholar.org/2989/b40232702bab36237519772175889922c2a3.pdf?_ga=2.187768687.679575299.1499161663-1275925309.1499161663> Acesso em: 07 mar 2017.
30. KELIAN ARO. Erros de administração de medicamentos e consequências financeiras. Disponível em: <<http://www.opuspac.com/arquivo/erros-de-medicacao-andrea-righi-v2.pdf>>. Acesso em 10 de mai e 2017.
31. GUÉRIN, A., TOUREL, J., DELAGE, E. et al. *Drug Saf* (2015) 38: 729. doi:10.1007/s40264-015-0308-6. Disponível em <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40264-015-0308-6>>. Acesso em 07 mar 2017.

Sources of funding: No

Conflict of interest: No

Publishing: 2018/12/08

Corresponding Address

Roberto Carlos Lyra da Silva

Endereço: Rua Dr. Xavier Sigaud, 290 - Urca, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. CEP 22290-180.

Telefone: 21 - 98118-3764.

E-mail: proflyra@gmail.com

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO, Rio de Janeiro.