7
Bibliographic References

ALONSO-AYUSO, A.; ESCUDERO, L. F.; ORTUÑO, M. T. Modeling production planning and scheduling under uncertainty. In: **Applications of Stochastic Programming**. Eds. Wallace, S.; Ziembra, W. Philadelphia: MPS-SIAM Series on Optimization, 2005. p. 217–252.

ANUPINDI, R.; BASSOK, Y. Approximation for multiproduct contracts with stochastic demand and business volume discounts: Single supplier case. **IIE Transactions**, v. 30, n. 8, p. 723–734. 1998.

ANUPINDI R.; BASSOK, Y. Supply contracts with quantity commitments and stochastic demand. In: **Quantitative Models for Supply Chain Management**. Eds. Tayur, S.; Ganeshan, R.; Magazine, M. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 197–232.

ARANEDA-FUENTES, C.; LUSTOSA, L. Flexibility and efficiency through coordinated planning among autonomous companies: A literature review. Presentation in **Workshop on Operations and Management Science**, Santiago - Chile. 2005a.

ARANEDA-FUENTES, C.; LUSTOSA, L. Desenvolvimento da gestão da cadeia de fornecedores e as relações entre os níveis de gerenciamento: Perspectivas e proposta. **XXXVII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, artigo N°12299, São João do Rei. 2005b.

ARANEDA-FUENTES, C.; LUSTOSA L. Coordinating two manufacturing companies by means of a supply contract with capacity reserve. **ORP3 Meeting - Guimares**, Proceedings, p. 145–160. 2007.

ARNS, M.; FISCHER, M.; KEMPER, P.; TEPPER, C. Supply chain modelling and its analytical evaluation. **Journal of the Operational Research Society**, v. 53, p. 885–894. 2002.

BASSOK, Y.; ANUPINDI, R. Analysis of supply contract with total minimum commitment. **IIE Transactions**, v. 29, n. 5, p. 373–381. 1997.

BASSOK, Y.; BIXBY, A.; SRINIVASAN, R.; WIESEL, H. Z. Design of component-supply contract with commitment-revision flexibility. **IBM Jour-**

nal of Research and Development. 41, n. 6, p. 693–702. 1997.

BISSCHOP, J.; ROELOFS, M. The User's Guide, AIMMS - Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software. Haarlem: Paragon Decision Technology BV, 1999. 232 p.

BISSCHOP, J.; ROELOFS, M. The Language Reference, AIMMS - Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software. Haarlem: Paragon Decision Technology BV, 1999. 376 p.

BITRAN, G.; YANASSE, H. Deterministic approximations to stochastic production problems. **Operations Research**, v. 32,n. 5, p.999–1018. 1984.

BOER, H. Guest editorial, New challenges in operations management. **Intern. Journal of Operations & Production Management**, v. 23, n. 10, p. 1108–1113. 2003.

CACHON G. P. Supply chain coordination with contracts. In: **Handbooks in Operations Research and Management Science (HORMS)**. Eds. de Koc, A. G.; Graves, S. C. Elsevier, 2003. p. 229–340.

CACHON G. The allocation of inventory risk in a supply chain: Push, pull, and advance-purchase discount contracts. **Management Science**, v. 20, n. 2, p. 222–238. 2004.

CACHON G.; LARIVIERE, M. A. Contracting to assure supply: How to share demand forecasts in a supply chain. **Management Science**, v. 47, n. 5, p. 629–646. 2001.

CACHON G.; LARIVIERE, M. A. Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: Strengths and limitations. **Management Science**, v. 51, n. 1, p. 30–44. 2005.

CAKRAVASTIA, A; TOHA, I.; NAKAMURA, N. A two-stage model for the design of supply chain networks. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 80, p. 231–248. 2002.

CIARALLO, F.; AKELLA, R.; MORTON, T. A periodic review, production planning model with uncertain capacity and uncertain demand - Optimality of extended myopic policies. **Management Science**, v. 40, n. 3, p. 320–332. 1994.

COOPER, M.; LAMBERT, D.; PAGH, J. Supply chain management: More than a new name for logistics. **The Intern. Journal of Logistics Management**, v. 8, n. 1, p. 1–14. 1997.

COSTA, D.; SILVER, E. A. Exact and approximate algorithms for the multiperiod procurement problem where dedicated supplier capacity can be reserved. **OR Spektrum** v. 18, p.197–207. 1996.

CROXTON, K.; GARCÍA-DASTUGUE, S.; LAMBERT, D.; ROGERS, D. The supply chain management processes. **The Intern. Journal of Logistics Management**, v. 12, n. 2, p. 13–36. 2001.

DE TONI, A.; TONCHIA, S. Performance measurement systems - Models, characteristics and measures. **Intern. Journal of Operations Production Management** v. 21, Issue 1/2, p. 46–71. 2001.

DUDEK, G.; STADTLER, H. Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners. **European Journal of Operational Research**, v. 163, p. 668–687. 2005.

ERKOC, M.; WU S. D. Managing high-tech capacity expansion via reservation contracts. **btxdoc.pdf**. http://www.lehigh.edu. 2005.

ESCUDERO, L.; KAMESAN P.; KING, A.; WETS, R. Production planning via scenario modelling. **Annals of Operations Research**, v. 43, p. 311–335. 1993.

FANDEL, G.; STAMMEN, M. A general model for extended strategic supply chain management with emphasis on product life cycles including development and recycling. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 89, p. 293–308. 2004.

GANESHAN R.; JACK, E.; MAGAZINE M.J.; STEPHENS, P. A taxonomic review of supply chain management research. In: **Quantitative Models for Supply Chain Management** Eds. Tayur, S.; Ganeshan, R.; Magazine, M. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 839–879.

GUNASEKARAN, A.; CHUNG, W. Editorial, Special issue on supply chain management for the 21st century organizational competitiveness. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 87, p. 209–212. 2004.

GUNASEKARAN, A.; PATEL, C.; TIRTIROGLU, E. Performance measures and metrics in a supply chain environment. **Intern. Journal of Operations & Production Management**, v. 21, Issue 1/2, p. 71–87. 2001.

GUNASEKARAN, A.; PATEL, C.; MCGAUGHEY, R. A framework for supply chain performance measurement. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 87, p. 333–347. 2004.

HART, O.; MOORE, J. Property rights and the nature of the firm. **The Journal of Political Economy**, v. 98, n. 6, p. 1119–1158. 1990.

HOPPE, R. Outlining a future of supply chain management - Coordinated supply networks. Thesis (Master of Science). Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology. 2001.

JAIN, K.; SILVER E. A. The single period procurement problem where dedicated supplier capacity can be reserved. **Naval Research Logistics**, v. 42, p. 915–934. 1995.

JIN, M.; WU S. D. Capacity reservation contracts for high-tech industry. **European Journal of Operations Research**, v. 176, p. 1659–1677. 2007.

KERBACHE, L.; SMITH, J.M. Queuing networks and the topological design of supply chain systems. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 91, p. 251–272. 2004.

LAMBERT, D.; EMMELHAINZ, M.; GARDNER, J. Developing and implementing supply chain partnerships. **The Intern. Journal of Logistics Management**, v. 7, n. 2, p. 1–17. 1996.

LAMBERT, D.; COOPER, M. Issues in supply chain management. **Industrial Marketing Management**, v. 29, p. 65–83. 2000.

LAMBERT, D.; POHLEN, T. Supply chain metrics. **The Intern. Journal of Logistics Management**, v. 12, n. 1, p. 1–19. 2001.

LAMMING, R.; JOHNSEN, T.; ZHENG, J.; HARLAND, Ch. An initial classification of supply networks. **Intern. Journal of Operations & Production Management**, v. 20, n. 6, p. 675–691. 2000.

LEE, H. L.; PADMANABHAN, V.; WHANG S. Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. **Management Science**, v. 43, n. 4, p. 546–558. 1997.

LEWIS, R. M.; TORCZON, V. Pattern search algorithms for bound constrained minimization. **SIAM Journal on Optimization**, v. 9, n. 4, p. 1082–1099. 1999.

LI, D.; O'BRIEN, C. Integrated decision modelling of supply chain efficiency. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 59, p. 147-157. 1999.

LI, D.; O'BRIEN, C. A quantitative analysis between product types and supply chain strategies. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 73, p. 29–39. 2001.

LODISH, L. M.; CURTIS, E.; NESS, M.; SIMPSON, M. K. Sales force sizing and development using a decision calculus model at syntex laboratories. Interfaces, v. 18, Issue 1, p. 5–20. 1988.

MALONI, M.; BENTON, W.C. Invited review, Supply chain partnerships: Opportunities for operations research. **European Journal of Operational Research**, v. 101, p. 419–429. 1997.

MILES, R.; SNOW, CH. Causes of failure in network organizations. **California Management Review**, v. 34, n. 4, p. 53–72. 1992.

MINNER, S. Dynamic programming algorithms for multi-stage safety stock optimization. **OR Spektrum**, v. 19, p. 261–271. 1997.

MINNER, S. Multiple supplier inventory models in supply chain management: A review. **International Journal of Production Economics**, v. 81-82, p. 265–279. 2003.

MINNER, S. Bargaining for cooperative economic ordering. **Decision Support Systems**, v. 43, i.2, p. 569–583. 2007.

MINNER, S.; SILVER, E. A. Multi-product batch replenishment strategies under stochastic demand and a joint capacity constraint. **IIE Transactions on Scheduling and Logistics**, v. 37, p. 469-479. 2005.

MULA, J.; POLER, R.; GARCÍA-SABATER J. P.; LARIO, F. C. Models for production planning under uncertainty: A review. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 103, p. 271–285. 2006.

OTTO, A.; KOTZAB, H. Does supply chain management really pay? Six perspectives to measure the performance of managing a supply chain. **European Journal of Operational Research**, v. 144, p. 306–320. 2003.

ÖZER, Ö.; WEI, W. Strategics commitments for an optimal capacity decision under asymmetric forecast information. **Management Science**, v. 52, n. 8, p. 1238–1257. 2006.

RICE, J.; HOPPE, R. Supply chain versus supply chain: The hype & the reality. **Supply Chain Management Review**, September/October, p. 47–54. 2001.

RICE, J.; HOPPE, R. Network master & three dimensions of supply network coordination: An introductory essay. http://web.mit.edu/supplychain/repository/networkv25.pdf. 2002.

ROCKAFELLER, R.; WETS, R. Scenarios and policy aggregation in optimization under uncertainty. **Mathematics of Operations Research**, v. 16, n. 1, p. 119–147. 1991.

SCHNEEWEISS, CH. Hierarchical structures in organizations: A conceptual framework. **European Journal of Operational Research**, v. 86, p. 4–31.

1995.

SCHNEEWEISS, CH. Hierarchical planning in organizations: Elements of a general theory. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 56-57, p. 547–556. 1998.

SCHNEEWEISS, CH. Distributed decision making in supply chain management. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 84, p. 71–83. 2003.

SCHNEEWEISS, CH.; ZIMMER, K.; ZIMMERMANN, M. The design of contracts to coordinate operational interdependencies within the supply chain. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 92, p. 43–59. 2004.

SCHNEEWEISS, CH.; ZIMMER, K. Hierarchical coordination mechanisms within the supply chain. **European Journal of Operational Research**, v. 153, p. 687–703. 2004.

SEREL D.; DADA, M.; MOSKOWITZ, H. Sourcing decisions with capacity reservation contracts. **European Journal of Operational Research**, v. 131, p. 635–648. 2001.

SILVER, E. A.; PYKE, D. F.; PETERSON, R. Inventory management and production planning and scheduling. Third Edition. New York: John Wiley Sons, 1998. 754 p.

SPENGLER, J. J. Vertical integration and antitrust policy. **The Journal of Political Economy**, v. 58, n. 4, p. 347–352. 1950.

TAN, K. C. A framework of supply chain management literature. **European Journal of Purchasing Supply Management**, v. 7, p. 39–48. 2001.

TSAY, A. The quantity flexibility contract and supplier-customer incentives. **Management Science**, v. 45, n. 10, p. 1339–1358. 1999.

TSAY, A. A.; NAHMIAS, S.; AGRAWAL, N. Modeling supply chain contracts: A Review. In: **Quantitative Models for Supply Chain Management**. Eds. Tayur, S.; Ganeshan, R.; Magazine, M. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2002. p. 299–336.

VAN DELFT, CH.; VIAL, J. PH. A practical implementation of stochastic programming: An application to the evaluation of options contracts in supply chains. **Automatica**, v. 40, p. 743–756. 2004.

YILDIRIM, I. ET AL. A multiperiodic stochastic production planning and sourcing problem with service level constraints. **OR Spektrum**, v. 27, p. 471–489. 2005.

A
Notation

X	product market demand known by Buyer
Y	material order from the Buyer informed to Supplier
Z	material market demand known by Supplier
$f(\cdot)$	probability density function for X
$F(\cdot)$	cumulative function for X
$g(\cdot)$	probability density function for Y
$G(\cdot)$	cumulative function for Y
$h(\cdot)$	probability density function for Z
$H(\cdot)$	cumulative function for Z
$\Psi_B(\cdot)$	Buyer's capacity cost-function, which known by context
$\Psi_S(\cdot)$	Supplier's capacity cost-function, which known by context
p_p	market price for the product
p_m	market price for the material
p_{rm}	market price for the raw material
v_p	variable cost for producing of product
v_m	variable cost for producing of material
π_B	Buyer's production margin (material bought from the market)
π_S	Supplier's production margin
$\zeta = (R, d, t)$	an instance of the contract proposed
R	capacity commitment/reservation level
d	fractional discount over the material market price
t	monetary penalty over the capacity units reserved but not ordered

$E_X\left[\Pi_{B\|\zeta}(\cdot, x)\right]$	Buyer's expected operational profit under ζ
$E_{Y,Z}\left[\Pi_{S\|\zeta}(\cdot, y, z)\right]$	Supplier's expected operational profit under ζ
EP_k	company k's expected profit acting independently, $k \in \{B, S\}$
$EP_{k\|\zeta}$	company k's expected profit under ζ, $k \in \{B, S\}$
$EP_{D\|\zeta}$	dyad's expected profit under contract ζ
EP_{IP}	dyad's expected profit by independent planning
EP^*_{CP}	dyad's expected profit under central planning
Ω	continuous parameter space
$\Omega_\circ$	discrete set of initial contracts in the search algorithm
Ω_{VOC}	set of viable and optimal contracts
$\delta_{k\|\zeta}$	company k's surplus by the contract ζ, $k \in \{B, S\}$
$\eta_{D\|\zeta}$	dyad's improvement by the contract ζ
$\xi_{D\|\zeta}$	dyad's efficiency by the contract ζ

B
Lemmas

The formulas given in the following propositions are used in the calculations involved in the capacity problems for the continuous analysis, which are treated in Appendix C.

Lemma 1 Let K be a real constant and V a continuous variable, whose probability density function and cumulated distribution are given, respectively, by $f_V(\cdot)$ and $F_V(\cdot)$. Then:

$$
\begin{array}{ll}
(i) & \displaystyle\int_0^K (K-v) f_V(v)dv = \int_0^K F_V(v)dv \\
(ii) & \displaystyle\int_0^K v \cdot f_V(v)dv + \int_K^\infty K \cdot f_V(v)dv = K - \int_0^K F_V(v)dv
\end{array}
$$

Proof: Let K be a real constant, V a continuous variable, and $f_V(\cdot)$ and $F_V(\cdot)$, respectively, the probability density function and cumulated distribution for V.

$$
\begin{aligned}
(i)\ \int_0^K (K-v) f_V(v)dv &= K \int_0^K f_V(v)dv - \int_0^K v \cdot f_V(v)dv \\
&= K \cdot F_V(K) - \left[\Big(v \cdot F_V(v) \Big)_0^K - \int_0^K F_V(v)dv \right] \\
&= K \cdot F_V(K) - \left[K \cdot F_V(K) - 0 \cdot F_V(0) - \int_0^K F_V(v)dv \right] \\
&= \int_0^K F_V(v)dv
\end{aligned}
$$

$$\textit{(ii)}\ \int_0^K v \cdot f(v)dv + \int_K^\infty K \cdot f(v)dv = \int_0^K v \cdot f(v)dv + K\left(1 - \int_0^K f(v)dv\right)$$
$$= K - \int_0^K (K - v)f(v)dv$$
$$= K - \int_0^K F(v)dv$$

Lemma 2 Let K be a real constant, C a continuous variable, V_1 and V_2 continuous variables with probability density functions, respectively, $f_{V_1}(\cdot)$ and $f_{V_2}(\cdot)$, and cumulated distributions, respectively, $F_{V_1}(\cdot)$ and $F_{V_2}(\cdot)$. Then:

$$(i) \quad \frac{\partial}{\partial C}\left(\int_0^{\pm(C-K)} F_{V_1}(v_1)dv_1\right) = \pm F_{V_1}(\pm(C-K))$$
$$(ii) \quad \frac{\partial}{\partial C}\left(\int_0^{C} F_{V_2}(C-v_1)f_{V_1}(v_1)dv_1\right) = \int_0^C f_{V_2}(C-v_1)f_{V_1}(v_1)dv_1$$
$$(iii) \quad \frac{\partial}{\partial C}\left(\int_0^{C}\int_0^{C-V_1} F_{V_2}(v_2)f_{V_1}(v_1)dv_2dv_1\right) = \int_0^C F_{V_2}(C-v_1)f_{V_1}(v_1)dv_1$$
$$(iv) \quad \frac{\partial}{\partial C}\left(\int_0^{K}\int_0^{C-V_1} F_{V_2}(v_2)f_{V_1}(v_1)dv_2dv_1\right) = \int_0^K F_{V_2}(C-v_1)f_{V_1}(v_1)dv_1$$
$$(v) \quad \frac{\partial}{\partial C}\left(\int_0^{C}\int_0^{K-V_1} F_{V_2}(v_2)f_{V_1}(v_1)dv_2dv_1\right) = \left(\int_0^{K-C} F_{V_2}(v_2)dv_2\right)f_{V_1}(C)$$

Proof: Let K be a real constant, V_1, V_2 and C continuous variables, $f_{V_1}(\cdot)$ and $F_{V_1}(\cdot)$, respectively, the probability density function and cumulated distribution for V_1, and $f_{V_2}(\cdot)$ and $F_{V_2}(\cdot)$, respectively, the probability density function and cumulated distribution for V_2.

Let be $k(C, v_1)$, $k_1(C)$ and $k_2(C)$ continuous functions. The Leibnitz's Rule for the differentiation of integrals is given by the following equation.

$$\frac{\partial}{\partial C}\int_{k_1(C)}^{k_2(C)} k(C,v_1)dv_1 = k(C,k_2(C))\frac{\partial k_2(C)}{\partial C} - k(C,k_1(C))\frac{\partial k_1(C)}{\partial C} +$$
$$+ \int_{k_1(C)}^{k_2(C)} \frac{\partial}{\partial C}k(C,v_1)dv_1$$

That rule will be used to proof the formulas in this lemma. In particular, to consider $k(C, v_1) = \int_0^{C-v_1} F_{V_2}(v_2)f_{V_1}(v_1)dv_2$.

$$\textit{(i)}\ \frac{\partial}{\partial C}\left(\int_0^{\pm(C-K)} F_{V_1}(v_1)dv_1\right) = F_{V_1}(\pm(C-K))\cdot(\pm 1) - 0 + 0 = \pm F_{V_1}(\pm(C-K))$$

$$\begin{aligned}\textit{(ii)}\ \frac{\partial}{\partial C}\left(\int_0^{C} F_{V_2}(C-v_1)f_{V_1}(v_1)dv_1\right) &= F_{V_2}(0)\cdot f_{V_1}(C)\cdot 1 - 0 + \\ &+ \int_0^C \frac{\partial}{\partial C}\Big(F_{V_2}(C-v_1)f_{V_1}(v_1)\Big)dv_1 \\ &= \int_0^C f_{V_2}(C-y)f_{V_1}(v_1)dv_1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\textit{(iii)}\ \frac{\partial}{\partial C}\left(\int_0^{C} k(C,v_1)dv_1\right) &= k(C,C)\cdot 1 - 0 + \int_0^C \left[\frac{\partial}{\partial C}\left(\int_0^{C-v_1} F_{V_2}(v_2)dv_2\right)\right]\cdot \\ &\cdot f_{V_1}(v_1)dv_1 \\ &= \int_0^C \left[F_{V_2}(C-v_1)\cdot 1 - 0 + 0\right] f_{V_1}(v_1)dv_1 \\ &= \int_0^C F_{V_2}(C-v_1)f_{V_1}(v_1)dv_1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\textit{(iv)}\ \frac{\partial}{\partial C}\left(\int_0^{K} k(C,v_1)dv_1\right) &= \int_0^K \left(\frac{\partial}{\partial C}\int_0^{C-v_1} F_{V_2}(v_2)dv_2\right) f_{V_1}(v_1)dv_1 \\ &= \int_0^K F_{V_2}(C-v_1)f_{V_1}(v_1)dv_1\end{aligned}$$

$$\textit{(v)}\ \frac{\partial}{\partial C}\left(\int_0^{C}\int_0^{K-v_1} F_{V_2}(v_2)f_{V_1}(v_1)dv_2dv_1\right) = \left(\int_0^{K-C} F_{V_2}(v_2)dv_2\right) g(C)$$

<u>Lemma 3</u> Let be V the market demand variable, with probability density function and cumulated distribution given, respectively, by $f_V(\cdot)$ and $F_V(\cdot)$. Also, let be K the medium-term production capacity and Q the quantity to be produced. The following expression defined the expected production given medium-term production capacity.

$$E[Q|K] = K - \int_0^K F_V(v)dv$$

Proof: Let be K the available capacity in the short-term, which is considered fixed due to it is decided in the medium-term, and Q the variable that represents to the quantity to be produced. Also, to consider the market demand variable denoted by V, whose probability density function and cumulated distribution are denoted, respectively, by $f_V(\cdot)$ and $F_V(\cdot)$.

$$E[Q|K] = \int_0^K v \cdot f_V(v)dv + K \int_K^{+\infty} f_V(v)dv = K - \int_0^K F_V(v)dv$$

Thus, the expression $K - \int_0^K F_V(v)dv$ represents the expected production when the available capacity is K, while that $\int_0^K F_V(v)dv$ represents the expected remaining production.

C
Proofs

Proof Proposition 1

For the Buyer, first, to consider x° any value for the product market demand variable and C° the medium-term production capacity. In the short-term, considering x° as if it were the demand realization, the product quantity to be produced by the Buyer is constrainted upperly by x° and C°. Since the input consumption factor is considered unitary and the production margin π_B is positive, the Buyer's operational profit is an increasing linear function in the quantity to be produced. Then, the optimal product quantity corresponds to $min\{C^\circ, x^\circ\}$ and, consequently, the Buyer's operational profit is given by $\Pi_{B|C^\circ,x^\circ} = \pi_B \ min\{C^\circ, x^\circ\}$.

In the medium-term, the Buyer's expected operational profit can be defined in terms of C by the Equation (C-1), according to the expectance definition and Lemma 1 presented in the Appendix B.

$$E_X \left[\Pi_B(C,x)\right] = \pi_B \left(\int_0^C x \ f(x)dx + \int_C^\infty C \ f(x)dx\right) = \pi_B \left[C - \int_0^C F(x)dx\right] \tag{C-1}$$

The demonstration for the Supplier is analogous to the Buyer's one, considering that she knows her random market demand Z, whose probability density function is $h(\cdot)$, and the production margin is π_S, which too is positive.

Proof Proposition 2

The first and second partial derivate for the objective function ($EP_B(C)$) in the Buyer's capacity problem are given by Equations (C-2) and (C-3).

$$\frac{d}{dC}(EP_B(C)) = -2a_B \cdot C + \pi_B\Big[1 - F(C)\Big] \tag{C-2}$$

$$\frac{d^2}{dC^2}(EP_B(C)) = -2a_B - \pi_B \ f(C) \tag{C-3}$$

The Buyer's expected profit is a concave funtion, due to the second partial derivate is negative. Therefore, the Buyer's capacity problem has unique optimal solution, which is obtained from the first order condition.

Again, the demonstration for the Supplier is analogous to the Buyer's one.

Proof Proposition 3

Let be $\zeta = (R, d, t)$ a given contract. Analogously to the Buyer's case under independent planning, the optimal product quantity to be produced by him is given by $min\{C^{\circ}, x^{\circ}\}$, where x° is any possible value x° for the product market demand variable, which is considered as the "demand realization", and C° represents the production capacity, which is decided in the medium-term.

According to the terms of the contract ζ, if the Buyer's material order ($min\{C^{\circ}, x^{\circ}\}$), due to the unitary input consumption factor assumption, is less or equal than the capacity commitment level (R), the Buyer will buy his entire material requirement with the Supplier. Consequently, his base profit $\pi_B\ min\{C^{\circ}, x^{\circ}\}$ is increasing in $d \cdot p_m min\{C^{\circ}, x^{\circ}\}$, due to he buys at the contract price, and diminishing in $t(R - min\{C^{\circ}, x^{\circ}\})$, since he must pay a penalty for each one of the remaining units in relation to the capacity commitment level. In the opposite, if the Buyer's material order is more than the capacity commitment level, then the discount is over all the reserved capacity and the Buyer's base profit is increasing in $d \cdot p_m \cdot R$, while he does not pay a penalty.

Therefore, the Buyer's operational profit, given ζ, C° and x°, is given by Equation (C-4) that, considering the relative values among x°, C° and R, leads the equivalent Expression (C-5).

$$\Pi_{B|\zeta,C^{\circ},x^{\circ}} = \pi_B\, min\{C^{\circ}, x^{\circ}\} + d \cdot p_m\, min\{min\{C^{\circ}, x^{\circ}\}, R\} - t\, (min\{C^{\circ}, x^{\circ}\} - R)^{+} \tag{C-4}$$

$$\Pi_{B|\zeta,C^{\circ},x^{\circ}} = \begin{cases} \begin{cases} (\pi_B + d \cdot p_m + t)\ x^{\circ} - t \cdot R & , 0 \leq x^{\circ} < C^{\circ} \\ (\pi_B + d \cdot p_m + t)\ C^{\circ} - t \cdot R & , C^{\circ} \leq x^{\circ} \end{cases} & , C^{\circ} \leq R \\ \begin{cases} (\pi_B + d \cdot p_m + t)\ x^{\circ} - t \cdot R & , 0 \leq x^{\circ} < R \\ \pi_B \cdot x^{\circ} + d \cdot p_m \cdot R & , R \leq x^{\circ} < C^{\circ} \\ \pi_B \cdot C^{\circ} + d \cdot p_m \cdot R & , C^{\circ} \leq x^{\circ} \end{cases} & , C^{\circ} > R \end{cases} \tag{C-5}$$

Now, to consider X and C as variables. For determining the expected operational profit in terms of C, it is taken the expectation over X in the Equation(C-5) and, in the calculations, Lemma 1 is considered (see the Appendix B).

First, to consider $C \leq R$.

$$\begin{aligned}
E_X\left[\Pi_{B|\zeta}(C,x)\right] &= (\pi_B + d\cdot p_m + t)\left[\int_0^C x\ f(x)dx + C\int_C^\infty f(x)dx\right] - t\cdot R \\
&= \pi_B\left[C - \int_0^C F(x)dx\right] + (d\cdot p_m + t)\left[C - \int_0^C F(x)dx\right] - \\
&\quad - t\cdot R
\end{aligned} \tag{C-6}$$

Now, to consider $C > R$.

$$\begin{aligned}
E_X\left[\Pi_{B|\zeta}(C,x)\right] &= \pi_B\left[\int_0^C x\ f(x)dx + \int_C^\infty C\ f(x)dx\right] + \\
&\quad + d\cdot p_m\left[\int_0^R x\ f(x)dx + \int_R^\infty R\ f(x)dx\right] - \\
&\quad - t\int_0^R (R-x)f(x)dx \\
&= \pi_B\left[C - \int_0^C F(x)dx\right] + d\cdot p_m\left[R - \int_0^R F(x)dx\right] - \\
&\quad - t\int_0^R F(x)dx
\end{aligned} \tag{C-7}$$

Thus, defining $I_1(C) = (d\cdot p_m + t)\left[C - \int_0^C F(x)dx\right] - t\cdot R$ and $I_2 = (d\cdot p_m + t)\left[R - \int_0^R F(x)dx\right] - t\cdot R$, the Buyer's expected operational profit is given by the next expressions.

$$E_X\left[\Pi_{B|\zeta}(C,x)\right] = \begin{cases} \pi_B\left[C - \int_0^C F(x)dx\right] + I_1(C) & , \ C \leq R \\ \pi_B\left[C - \int_0^C F(x)dx\right] + I_2 & , \ C > R \end{cases}$$

with $I_1(C) = (d\cdot p_m + t)\left[C - \int_0^C F(x)dx\right] - t\cdot R$, and $I_2 = (d\cdot p_m + t)\left[R - \int_0^R F(x)dx\right] - t\cdot R$.

Finally, since each one of those expressions is a continuous function, the Buyer's expected operational profit is a continuous function in $[0,R)$ and (R,∞). Also, $\lim_{C\to R^+} E_X\left[\Pi_{B|\zeta}(C,x)\right] = E_X\left[\Pi_{B|\zeta}(R,x)\right]$, then that profit is continuous in R. Therefore, the Buyer's expected operational profit is a continuous function in all its domain.

Proof Proposition 4

The first and second partial derivates for the objective function in the Buyer's capacity problem ($EP_{B|\varsigma}(C)$) are given by Equation (C-8) and Equation (C-9), which are obtained considering the formulas in the Lemma 2 (see the Appendix B).

$$\frac{d}{dC}\Big(EP_{B|\varsigma}(C)\Big) = \begin{cases} -2a_B \cdot C + (\pi_B + d \cdot p_m + t)\Big[1 - F(C)\Big] & , C \leq R \\ -2a_B \cdot C + \pi_B\Big[1 - F(C)\Big] & , C > R \end{cases} \tag{C-8}$$

$$\frac{d^2}{dC^2}\Big(EP_{B|\varsigma}(C)\Big) = \begin{cases} -2a_B - (\pi_B + d \cdot p_m + t) \cdot f(C) & , C \leq R \\ -2a_B - \pi_B \cdot f(C) & , C > R \end{cases} \tag{C-9}$$

The Buyer's expected profit is a concave piecewise function, due to the second partial derivative is negative for each part in its definition, then there is unique optimal solution that can be determined taking the maximum *maximorum* between the local optimal ones.

Let C_1 be the capacity that annuls to the first derivate for the expression that defines $EP_{B|\varsigma}(C)$ for $C \leq R$, that is, C_1 satisfies $-2a_B \cdot C + (\pi_B + d \cdot p_m + t)\Big[1 - F(C)\Big] = 0$. If also $C_1 \in [0, R)$, then it is the local optimal solution C_1^* for the Buyer's expected profit in the interval $[0, R)$. In other case, that is, if $C_1 \in (R, \infty)$, then the function $EP_{B|\varsigma}(C)$ is increasing in the interval $[0, R)$ and, consequently, $C_1^* = R$.

Analogously, considering C_2 as the capacity that annuls to the first derivate for the expression that defines $EP_{B|\varsigma}(C)$ for $C > R$, that is, C_2 that satisfies $-2a_B \cdot C + \pi_B\Big[1 - F(C)\Big] = 0$. In particular, if $C_2 \in (R, \infty)$, then it is the local optimal solution C_2^* for the Buyer's expected profit in the interval $[R, \infty)$. But, if $C_2 \in (0, R)$, then the function $EP_{B|\varsigma}(C)$ is decreasing in the interval $[R, \infty)$ and, thus, $C_2^* = R$.

Therefore, the global optimal capacity corresponds to the local optimal capacity, C_1^* or C_2^*, that leads to the most value for the Buyer's expected profit.

Proof Proposition 5

Given the contract $\varsigma = (R, d, t)$, to consider y° any value for the Buyer's material order variable, z° any value for the material market demand variable and C° the medium-term production capacity. Due to the unitary input consumption factor assumption and the production margin π_S is positive, the

Supplier's operational profit is an increasing linear function in the material quantity to be produced.

Considering the contract conditions, the Supplier will satisfy the Buyer's material order up to the commitment capacity level, that is, $min\{y^\circ, R\}$ and will use the remaining capacity, that is, $C^\circ - min\{y^\circ, R\}$ (if it there is) to serve the realization for the market demand (z°) total or partially, respectively. So, the material quantity to be produced by the Supplier is given by $min\{y^\circ, R\} + min\{C^\circ - min\{y^\circ, R\}, z^\circ\}$.

Initially, the Supplier's base profit is given by π_S for each unit produced. But, according to the terms of the contract ζ, she will reimburse $d \cdot p_m$ for each unit delivered to the Buyer and, eventually, will receive the penalty t for each one of the units non-ordered by the Buyer in relation to the capacity level committed. Note that if the Buyer's material order (y°) is more than the capacity commitment level (R), the Supplier will reimburse for the entire capacity level committed and won't receive payment by penalty.

Therefore, the Supplier's operational profit can be expressed by Equation (C-10) from which, considering the relative values among y°, z°, C° and R, the equivalent Expression (C-11) is obtained.

$$\Pi_{S|\zeta,C^\circ,y^\circ,z^\circ} = (\pi_S - (d \cdot p_m + t))\, min\{y^\circ, R\} + \pi_S\, min\{C^\circ - min\{y^\circ, R\}, z^\circ\} + t \cdot R \tag{C-10}$$

$$\Pi_{S|\zeta,C^\circ,y^\circ,z^\circ} = \begin{cases} \begin{cases} \pi_S\,(y^\circ + z^\circ) - (d \cdot p_m + t)\, y^\circ + t \cdot R & , 0 \le z^\circ \le C^\circ - y^\circ \\ \pi_S\, C^\circ - (d \cdot p_m + t)\, y^\circ + t \cdot R & , C^\circ - y^\circ \le z^\circ \end{cases} & , y^\circ \le R \\ \begin{cases} \pi_S\,(R + z^\circ) - (d \cdot p_m + t)\, R & , 0 \le z^\circ \le C^\circ - R \\ \pi_S\, C^\circ - (d \cdot p_m + t)\, R & , C^\circ - R \le z^\circ \end{cases} & , y^\circ > R \end{cases} \tag{C-11}$$

For treating the medium-term, to consider Y, Z and C as variables. Since that the Supplier's operational profit depends initially on the Buyer's material order (y°) and R, two cases will be considered to determine the expected operational profit from the Equation(C-11), namely $y_{max} \le R$ and $y_{max} > R$. In the developments, the definition for $g(y)$ given by the Definition (7) in the Chapter 4 and the Lemma 1 (see the Appendix B) are considered.

Assuming $y_{max} \le R$, then $y \le R, \forall y \in Dom(g)$. Then, Supplier's expected operational profit is obtained from the calculations given in (C-12).

$$
\begin{aligned}
&E_{Y,Z}\Big[\Pi_{S|\varsigma}(C,y,z)\Big] = \\
&\quad = \pi_S\left[\int_0^{y_{max}}\Big(\int_0^{C-y}(y+z)\ h(z)dz + \int_{C-y}^{\infty} C\ h(z)dz\Big)g(y)dy\right] - \\
&\qquad - (d\cdot p_m + t)\int_0^{y_{max}} y\cdot g(y)dy + t\cdot R \\
&\quad = \pi_S\left[C - \int_0^{y_{max}}\int_0^{C-y} H(z)g(y)dzdy\right] - (d\cdot p_m + t)\cdot E[Y] + t\cdot R \\
&\quad = \pi_S\Big[C - \int_0^{y_{max}}\int_0^{C-x} H(z)f(x)dzdx - (1 - F(y_{max}))\cdot \\
&\qquad \cdot\int_0^{C-y_{max}} H(z)dz\Big] - (d\cdot p_m + t)\cdot E[Y] + t\cdot R
\end{aligned}
\tag{C-12}
$$

Defining by $D_x(C) = \int_0^{C-x} H(z)dz$, $D_{y_{max}}(C) = \int_0^{C-y_{max}} H(z)dz$ and $J_{y_{max}} = -(d\cdot p_m + t)\ E[Y] + t\cdot R$, the Supplier's expected operational profit can be expressed by the Equation (C-13).

$$
\pi_S\left[C - \int_0^{y_{max}} D_x(C)f(x)dx - D_{y_{max}}(C)\ (1 - F(y_{max}))\right] + J_{y_{max}} \tag{C-13}
$$

Now, considering $y_{max} > R$, the Supplier's expected operational profit is determined according to the expressions in (C-14).

$$
\begin{aligned}
&E_{Y,Z}\Big[\Pi_{S|\varsigma}(C,y,z)\Big] = \\
&= \pi_S\left[\int_0^{R}\Big(\int_0^{C-y}(y+z)\ h(z)dz + \int_{C-y}^{\infty} C\ h(z)dz\Big)g(y)dy\right] + \\
&\quad + \pi_S\left[\int_R^{y_{max}}\Big(\int_0^{C-R}(y+z)\ h(z)dz + \int_{C-R}^{\infty} C\ h(z)dz\Big)g(y)dy\right] - \\
&\quad - \left[\int_0^{R}(d\cdot p_m + t)y\ g(y)dy + \int_R^{y_{max}} d\cdot p_m\cdot R\ g(y)dy\right] + t\cdot R\int_0^R g(y)dy \\
&=\ \pi_S\left[\int_0^{R}\Big(C - \int_0^{C-y} H(z)dz\Big)g(y)dy + \int_R^{y_{max}}\Big(C - \int_0^{C-R} H(z)dz\Big)g(y)dy\right] - \\
&\quad - d\cdot p_m\left[R - \int_0^R G(y)dy\right] + t\cdot R\int_0^R G(y)dy
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&= \pi_S \left[C - \int_0^R \int_0^{C-y} H(z)g(y)dzdy - \int_R^{y_{max}} \int_0^{C-R} H(z)g(y)dzdy \right] - \\
&\quad - (d \cdot p_m + t) \cdot \left[R - \int_0^R G(y)dy \right] + t \cdot R \\
&= \pi_S \left[C - \int_0^R \int_0^{C-x} H(z)f(x)dzdx - \left(\int_0^{C-R} H(z)dz \right) \Big(1 - G(R) \Big) \right] - \\
&\quad - (d \cdot p_m + t) \cdot \left[R - \int_0^R G(y)dy \right] + t \cdot R
\end{aligned} \tag{C-14}
$$

Considering, again, $D_x(C) = \int_0^{C-x} H(z)dz$, and defining $D_R(C) = \int_0^{C-R} H(z)dz$ and $J_R = -(d \cdot p_m + t) \left[R - \int_0^R F(x)dx \right] + t \cdot R$, the Supplier's expected operational profit definition can be reduced to the following Equation (C-15). Note that $G(R) = F(R)$ when $y_{max} > R$, since that $g(y) = f(x), \forall y < y_{max}$.

$$
\pi_S \left[C - \int_0^R D_x(C)f(x)dx - D_R(C)\ (1 - F(R)) \right] + J_R \tag{C-15}
$$

In both cases, when $y_{max} \leq R$ and $y_{max} > R$, the function $E_{Y,Z}\Big[\Pi_{S|\zeta}(C, y, z)\Big]$ is continuous, due to it is comprised by terms that are linear, integral of a continuous function or constant.

<u>Proof Proposition 6</u>

First, to consider $y_{max} \leq R$. The first and second partial derivate for the objective function in the Supplier's capacity problem $(EP_{S|\zeta}(C))$ are given by the Equation (C-16) and Equation (C-17), which are determined using the formulas presented in the Lemma 2 (see Appendix B).

$$
\begin{aligned}
\frac{d}{dC}\Big(EP_{S|\zeta}(C) \Big) = -2a_S \cdot C + \pi_S \Bigg[1 - \int_0^{y_{max}} H(C-x)f(x)dx - \\
- H(C - y_{max})\ (1 - F(y_{max}))
\end{aligned} \tag{C-16}
$$

$$\frac{d^2}{dC^2}\Big(EP_{S|\varsigma}(C)\Big) = -2a_S - \pi_S \left[\int_0^{y_{max}} h(C-x)f(x)dx + \right. \\ \left. + h(C - y_{max})\ (1 - F(y_{max}))\right] \tag{C-17}$$

Now, to consider $y_{max} > R$. The first and second partial derivate for the capacity problem's objective function $(EP_{S|\varsigma}(C))$ are given by the Equation (C-18) and the Equation(C-19), for whose determination is too used the Lemma 2 (see Appendix B).

$$\frac{d}{dC}\Big(EP_{S|\varsigma}(C)\Big) = -2a_S \cdot C + \pi_S\Big[1 - \int_0^R H(C-x)f(x)dx - \\ - H(C-R)\ (1 - F(R))\Big] \tag{C-18}$$

$$\frac{d^2}{dC^2}\Big(EP_{S|\varsigma}(C)\Big) = -2a_S - \pi_S\Big[\int_0^R h(C-x)f(x)dx + \\ + h(C-R)\ (1 - F(R))\Big] \tag{C-19}$$

In both cases, when $y_{max} \leq R$ and $y_{max} > R$, the Supplier's expected profit is a concave function, due to the second partial derivate is negative, then there is unique optimal solution. For any case, let be C° the capacity such that $\frac{d}{dC}\Big(EP_{S|\varsigma}(C^\circ)\Big) = 0$. Due to the force compliance assumption, if $C^\circ > R$, then C° is the optimal solution for the Supplier's capacity problem. If it is not, $EP_{S|\varsigma}(C)$ is decreasing in $[R, \infty)$ and, then, the optimal solution for that problem is R.

Proof Proposition 7

To consider any pair of possible values x° and z°, as well as any pair of capacities C_B° and C_S° fixed but arbitrary, in that order, for the market demand and capacity for the product and material. Let be q_p and q_m the production quantity variables, respectively, for the product and material, where q_p is upperly bounded by x° and C_B°, while q_m is upperly bounded by the sum of the total demand (internal and external) and C_S°.

The centralized system can use the material capacity to produce material as for internal demand (which will be used to produce the product) as the external demand. The profit for material sale to the market, which is produced internally, is given by $\pi_S = p_m - p_{rm} - v_m$. While the profits for product sale to the market are given by $\pi_B = p_p - p_m - v_p$ and $p_p - p_{rm} - v_m - v_p$, respectively, if the material is bought in the market or produced internally. Note that the last profit is equivalent to $\pi_B + \pi_S$. Thus, to use material capacity to satisfy internal demand and the remaining capacity to be used to serve the external demand is equivalent to satisfy the external demand and with the remaining capacity to serve to the internal demand and, if it is necessary, to buy material in the market to complete the product production.

To determine the operational profit expression, the first description about the use of the material capacity will be used. Since that $0 \leq q_p \leq min\{C_B^\circ, x^\circ\}$ and $0 \leq q_m = q_p + min\{C_S^\circ - q_p, z^\circ\}$, considering the unitary input consumption factor assumption, the operational profit is given by $(\pi_B+\pi_S)q_p + \pi_S(q_m - q_p) = (\pi_B+\pi_S)q_p + \pi_S \cdot min\{C_S^\circ - q_p, z^\circ\}$. So, that profit is given by $(\pi_B+\pi_S)q_p + \pi_S \cdot z^\circ$, if $z^\circ \leq C_S^\circ - q_p$, or $(\pi_B+\pi_S)q_p + \pi_S \cdot (C_S^\circ - q_p) = \pi_B \cdot q_p + \pi_S \cdot C_S^\circ$ if $z^\circ > C_S^\circ - q_p$. Due to both expressions to be increasing in q_p, the optimal product quantity to be produced corresponds to the possible maximum value, that is $min\{C_B^\circ, x^\circ\}$. Therefore, the centralized system's operational profit, given C_B°, C_S°, x° and z°, is given by Equation (C-20) that, considering the relative values between x° and C_B°, as well as between z° and $C_S^\circ - x$, or z° and $C_S^\circ - C_B^\circ$, leads the equivalent Expression (C-21).

$$\Pi_{CP|C_B^\circ, C_S^\circ, x^\circ, z^\circ} = \begin{cases} (\pi_B + \pi_S) min\{C_B^\circ, x^\circ\} + \pi_S \cdot z^\circ & , z^\circ \leq C_S^\circ - min\{C_B^\circ, x^\circ\} \\ \pi_B \cdot min\{C_B^\circ, x^\circ\} + \pi_S \cdot C_S^\circ & , z^\circ > C_S^\circ - min\{C_B^\circ, x^\circ\} \end{cases} \tag{C-20}$$

$$\Pi_{CP|C_B^\circ, C_S^\circ, x^\circ, z^\circ} = \begin{cases} \begin{cases} (\pi_B + \pi_S) \cdot x^\circ + \pi_S \cdot z^\circ & , \ z^\circ \leq C_S^\circ - x \\ \pi_B \cdot x^\circ + \pi_S \cdot C_S^\circ & , \ z^\circ > C_S^\circ - x \end{cases} & , \ x \leq C_B^\circ \\ \begin{cases} (\pi_B + \pi_S) \cdot C_B^\circ + \pi_S \cdot z^\circ & , \ z^\circ \leq C_S^\circ - C_B^\circ \\ \pi_B \cdot C_B^\circ + \pi_S \cdot C_S^\circ & , \ z^\circ > C_S^\circ - C_B^\circ \end{cases} & , \ x > C_B^\circ \end{cases} \tag{C-21}$$

Now, to consider X, Z, C_B and C_S as variables. For determining the expected operational profit in terms of C_B and C_S, it is taken the expectance over X and Z in the Equation(C-21) and, in the calculations, the Lemma 1 is considered (see the Appendix B). Since that centralized system's expected operational profit is given by the Equations (C) or (C), depending of the relative values for C_B and C_S.

First, to consider $C_S \leq C_B$.

$$E_{X,Z}[\Pi_{CP}(C_B, C_S, x, z)] =$$

$$\begin{aligned}
&= \pi_B \left[\int_0^{C_B} x \cdot f(x)dx + \int_{C_B}^{\infty} C_B \cdot f(x)dx \right] + \\
&\quad + \pi_S \left[\int_0^{C_S} \left(\int_0^{C_S - x} (x+z)h(z)dz + \int_{C_S - x}^{\infty} C_S \cdot h(z)dz \right) f(x)dx + \right. \\
&\quad + \int_{C_S}^{\infty} C_S \cdot f(x)dx \\
&= \pi_B \left[C_B - \int_0^{C_B} F(x)dx \right] + \\
&\quad + \pi_S \left[\int_0^{C_S} \left(x + \left(C_S - x - \int_0^{C_S - x} H(z)dz \right) \right) f(x)dx + \int_{C_S}^{\infty} C_S \cdot f(x)dx \right] \\
&= \pi_B \left[C_B - \int_0^{C_B} F(x)dx \right] + \pi_S \left[C_S - \int_0^{C_S} \int_0^{C_S - x} H(z)f(x)dzdx \right]
\end{aligned} \tag{C-22}$$

Now, to consider $C_S > C_B$.

$$E_{X,Z}[\Pi_{CP}(C_B, C_S, x, z)] =$$

$$\begin{aligned}
&= \pi_B \left[\int_0^{C_B} x \cdot f(x)dx + \int_{C_B}^{\infty} C_B \cdot f(x)dx \right] + \\
&\quad + \pi_S \Big[\int_0^{C_B} \left(\int_0^{C_S - x} (x+z)h(z)dz + \int_{C_S - x}^{\infty} C_S \cdot h(z)dz \right) f(x)dx + \\
&\quad + \int_{C_B}^{\infty} \left(\int_0^{C_S - C_B} (C_B + z)h(z)dz + \int_{C_S - C_B}^{\infty} C_S \cdot h(z)dz \right) f(x)dx \Big] \\
&= \pi_B \left[C_B - \int_0^{C_B} F(x)dx \right] + \\
&\quad + \pi_S \Big[\int_0^{C_B} \left(x + C_S - x - \int_0^{C_S - x} H(z)dz \right) f(x)dx + \\
&\quad + \int_{C_B}^{\infty} \left(C_B + C_S - C_B - \int_0^{C_S - C_B} H(z)dz \right) f(x)dx \Big] \\
&= \pi_B \left[C_B - \int_0^{C_B} F(x)dx \right] + \\
&\quad + \pi_S \left[C_S - \int_0^{C_B} \int_0^{C_S - x} H(z)f(x)dzdx - \Big(1 - F(C_B) \Big) \int_0^{C_S - C_B} H(z)dz \right]
\end{aligned} \tag{C-23}$$

Since the expressions above are comprise by terms that are linear, constant or expectance of a continuous function continuous functions, then the centralized system's expected operational profit is continuous function for $C_S < C_B$ and $C_{mt} > C_p$. Also, $\lim_{C_{mt} \to C_p^+} EOP_{TBC}(C_p, C_{mt}) = EOP_{CP}(C_B, C_S)|_{(C_B, C_B)}$, then the $EOP_{CP}(C_B, C_S)$ is too continuous for $C_B = C_S$. Therefore, the centralized system's expected operational profit is continuous in all its domain.

Defining $D_x(C) = \int_0^{C-x} H(z)dz$, the centralized system's expected operational profit is reduced to the Equation C-24.

$$E_{X,Z}\left[\Pi_{CP}\right](C_B, C_S, x, z) = \pi_B \left[C_B - \int_0^{C_B} F(x)dx\right] +$$
$$+ \pi_S \begin{cases} \left[C_S - \int_0^{C_S} D_x(C_S) f(x)dx\right] & , C_S \leq C_B \\ \left[C_S - \int_0^{C_B} D_x(C_S) f(x)dx - (1 - F(C_B)) \int_0^{C_S - C_B} H(z)dz\right] & , C_S > C_B \end{cases} \tag{C-24}$$

As $-(a_B \cdot C_B^2 + a_S \cdot C_S^2)$ is continuous function and $E_{X,Z}\left[\Pi_{CP}(C_B, C_S, x, z)\right]$ is a piecewise continuous function, then the expected profit is a piecewise continuous function. Also, the centralized system's expected profit $(EP_{CP}(C_B, C_S))$ is two-time differenciable and their first partial derivatives are continuous functions. In the calculations developed below, the expressions given in the Lemma 2 will be used.

First, to consider $C_S \leq C_B$.

$$\frac{\partial}{\partial C_B}\Big(EP_{CP}(C_B, C_S)\Big) = -2a_B \cdot C_B + \pi_B \left[1 - F(C_B)\right] \tag{C-25}$$

$$\frac{\partial}{\partial C_S}\Big(EP_{CP}(C_B, C_S)\Big) = -2a_S \cdot C_S + \pi_S \left[1 - \int_0^{C_S} H(C_S - x) f(x)dx\right] \tag{C-26}$$

Now, to consider $C_S > C_B$.

$$\frac{\partial}{\partial C_B}\Big(EP_{CP}(C_B,C_S)\Big) =$$

$$\begin{aligned}
&= -2a_B \cdot C_B + \pi_B\left[1 - F(C_B)\right] - \pi_S\Big[f(C_B)\int_0^{C_S-C_B} H(z)dz + \\
&\quad + \left((1-F(C_B))H(C_S-C_B)\cdot(-1) - f(C_B)\int_0^{C_S-C_B} H(z)dz\right)\Big] \\
&= -2a_B \cdot C_B + \pi_B\left[1 - F(C_B)\right] + \pi_S(1-F(C_B))H(C_S-C_B)
\end{aligned} \tag{C-27}$$

$$\frac{\partial}{\partial C_S}\Big(EP_{CP}(C_B,C_S)\Big) =$$

$$= -2a_S \cdot C_S + \pi_S\left[1 - \int_0^{C_B} H(C_S-x)f(x)dx - (1-F(C_B))H(C_S-C_B)\right] \tag{C-28}$$

From the expressions above, the first order derivative of the function $EP_{CP}(C_B,C_S)$ is continuous in the set $\{(C_B,C_S) : C_S \neq C_B\}, C_B, C_S \geq 0$. But,

$$\begin{aligned}
\lim_{C_S \to C_B^+} \frac{\partial}{\partial C_B}\Big(EP_{CP}(C_B,C_S)\Big) &= \left(\frac{\partial}{\partial C_B}\left(EP_{CP}(C_B,C_S)\right)\right)|(C_B,C_B) \\
\lim_{C_S \to C_B^+} \frac{\partial}{\partial C_S}\Big(EP_{CP}(C_B,C_S)\Big) &= \left(\frac{\partial}{\partial C_B}\left(EP_{CP}(C_B,C_S)\right)\right)|(C_B,C_B)
\end{aligned}$$

Therefore, the first partial derivates are continuous too in the set $\{(C_B,C_S) : C_S = C_B,\ C_B, C_S \geq 0\}$ and, consequently, in all its domain.

To proof the concavity for the the centralized system's expected profit, which is the objective function for the centralized system's capacity problem, to consider the following functions:

$$T_1(C_B) = 2a_B + \pi_B \cdot f(C_B)$$

$$T_2(C_B,C_S) = \pi_S(1-F(C_B))h(C_S-C_B)$$

$$T_3(C_B,C_S) = \pi_S \cdot f(C_B)H(C_S-C_B)$$

$T_4(C_S) = 2a_S + \pi_S \int_0^{C_S} f(x)h(C_S - x)dx$

$T_5(C_B, C_S) = 2a_S + \pi_S \int_0^{C_B} f(x)h(C_S - x)dx$

Note that $T_1(C_B) > 0$, $\forall C_B \geq 0$, $T_4(C_B, C_S) > 0$, $\forall C_S \geq 0$, and $T_2(C_B, C_S) \geq 0$, $T_3(C_B, C_S) \geq 0$, $T_5(C_B, C_S) > 0$, $\forall C_S > C_B \geq 0$. To simplify the notation, those functions will be called by their name, without their arguments.

First, to consider $C_S \leq C_B$. The second partial derivatives and the determinant for the Hessiana matrix for $EP_{CP}(C_B, C_S)$, which is denoted by $|M_1|$, are determined below.

$$\frac{\partial^2}{\partial C_B^2}\Big(EP_{CP}(C_B, C_S)\Big) = -2a_B - \pi_B \cdot f(C_B) = -T_1$$

$$\frac{\partial^2}{\partial C_S^2}\Big(EP_{CP}(C_B, C_S)\Big) = -2a_S - \pi_S \int_0^{C_S} h(C_S - x)f(x)dx = -T_4$$

$$\frac{\partial^2}{\partial C_S \partial C_B}\Big(EP_{CP}(C_B, C_S)\Big) = \frac{\partial^2}{\partial C_B \partial C_S} EP_{CP}(C_B, C_S) = 0$$

$$|M_1| = (-T_1) \cdot (-T_4) = T_1 \cdot T_4 \tag{C-29}$$

Now, to consider $C_S > C_B$. The second partial derivatives and the determinant for the Hessiana matrix for $EP_{CP}(C_B, C_S)$, which is denoted by $|M_2|$, are calculated to follow.

$$\frac{\partial^2}{\partial C_B^2}\Big(EP_{CP}(C_B, C_S)\Big) =$$

$$\begin{aligned}
&= -2a_B - \pi_B \cdot f(C_B) + \pi_S\Big[(1 - F(C_B)) \cdot h(C_S - C_B) \cdot (-1) + \\
&\quad + (-f(C_B)) \cdot H(C_S - C_B)\Big] \\
&= -2a_B - \pi_B \cdot f(C_B) - \pi_S\Big[(1 - F(C_B)) \cdot h(C_S - C_B) + \\
&\quad f(C_B) \cdot H(C_S - C_B)\Big] \\
&= -(T_1 + T_2 + T_3)
\end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial C_S^2}\Big(EP_{CP}(C_B, C_S)\Big) =$$

$$= -2a_S - \pi_S\left[\int_0^{C_B} h(C_S - x)f(x)dx + (1 - F(C_B))h(C_S - C_B)\right]$$
$$= -(T_5 + T_2)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial C_S \partial C_B}\Big(EP_{CP}(C_B, C_S)\Big) = \pi_S(1 - F(C_B))h(C_S - C_B) = T_2$$

$$\frac{\partial^2}{\partial C_B \partial C_S}\Big(EP_{CP}(C_B, C_S)\Big) = \pi_S(1 - F(C_B))h(C_S - C_B) = T_2$$

$$\begin{aligned} |M_2| &= (T_1 + T_2 + T_3)\cdot(T_5 + T_2) - T_2^2 \\ &= (T_1 + T_2 + T_3)\cdot(T_5 + T_2) - T_2^2 \\ &= (T_1 + T_3)\cdot(T_5 + T_2) + T_2 \cdot T_5 \\ &= (T_1 + T_3)\cdot(T_5 + T_2) + T_2 \cdot T_5 \end{aligned} \tag{C-30}$$

From the second order condition, as $\frac{\partial^2}{\partial C_B^2}\Big(EP_{CP}(C_B, C_S)\Big) < 0$ and $\frac{\partial^2}{\partial C_S^2}\Big(EP_{CP}(C_B, C_S)\Big) < 0$, $\forall C_B, C_S \geq 0$), and, also, $|M_1| > 0$ and $|M_2| > 0$, respectively, for $C_S \leq C_B$ and $C_S > C_B$, the function $EP_{CP}(C_B, C_S)$ is strictly concave piecewise.

Proof Proposition 8

Since that the companies' expected profit, when they are coordinated by the central planning, is a strictly concave and continuous function, the centralized system's capacity problem has an unique optimal solution (C_B^*, C_S^*), which can be obtained taking the *maximorum* maximum between the stationary points for the function $EP_{CP}(C_B, C_S)$.

Defining $L_k(C) = 1 - \frac{2a_k}{\pi_k}\cdot C$, $k \in \{B, S\}$, and $A_x(C) = \int_0^C H(C - x)f(x)dx$, the first order condition for stationary point given by the Equations (C-25) and (C-26) can be reduced to the Equation (C-31), while the Equations (C-27) and (C-28), can be expressed by the Equation (C-32).

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial C_B}\left(EP_{CP}(C_B,C_S)\right)=0 &\Longleftrightarrow \pi_B\Big(L_B(C_p)-F(C_p)\Big)=0\\ \frac{\partial}{\partial C_S}\left(EP_{CP}(C_B,C_S)\right)=0 &\Longleftrightarrow \pi_S\Big(L_S(C_{mt})-A_x(C_{mt})\Big)=0\end{aligned} \tag{C-31}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial C_B}\left(EP_{CP}(C_B,C_S)\right)=0 \Longleftrightarrow &(1-F(C_B))H(C_S-C_B)=\\ &=\frac{2a_B\cdot C_B-\pi_B(1-F(C_B))}{\pi_S}\\ \frac{\partial}{\partial C_S}\left(EP_{CP}(C_B,C_S)\right)=0 \Longleftrightarrow &\pi_S\int_0^{C_B}H(C_S-x)f(x)dx=\\ &=-2a_B\cdot C_B-2a_S\cdot C_S+\pi_B(1-F(C_B))+\pi_S\end{aligned} \tag{C-32}$$

Let be (C_B^{a*},C_S^{a*}) the unique stationary point for the expression that defines to the expected profit when $C_S > C_B$, and (C_B^{b*},C_S^{b*}) the unique stationary point for the expression that defines to the expected profit when $C_S \leq C_B$. So, the components of those stationary points (C_B^{a*},C_S^{a*}) and (C_B^{b*},C_S^{b*}) satysfy the conditions given, respectively, by Equation(C-32) and Equation (C-31). Also, let be C_B^* the value that maximizes to the intersection line between those definitions, which is defined by $-(a_B+a_S)\cdot C_B^2+E_{X,Z}\left[\Pi_{CP}(C_B,C_B,x,z)\right]$. If $C_S^{a*} > C_B^{a*}$ and $C_S^{b*} \leq C_B^{b*}$, then both stationary points (C_B^{a*},C_S^{a*}) and (C_B^{b*},C_S^{b*}) are local minimum and, consequently, the global maximum corresponds to the point that maximizes to the expected profit function $EP_{CP}(C_B,C_S)$. But, if $C_S^{a*} > C_B^{a*}$ and $C_S^{b*} > C_B^{b*}$, or $C_S^{a*} \leq C_B^{a*}$ and $C_S^{b*} \leq C_B^{b*}$, then the expected profit function is strictly increasing for the region in which $C_S > C_B$, or strictly decreasing for the region in which $C_S \leq C_B$, then the global maximum corresponds to (C_B^{a*},C_S^{a*}), or (C_B^{b*},C_S^{b*}). Finally, if $C_S^{a*} \leq C_B^{a*}$ and $C_S^{b*} > C_B^{b*}$, then none stationary point, (C_B^{a*},C_S^{a*}) nor (C_B^{b*},C_S^{b*}), is local minimum and the function $EP_{CP}(C_B,C_S)$ is strictly increasing in all its domain and the global maximum is given by the point that maximizes to the intersection between the definitions of $EP_{CP}(C_B,C_S)$ for the both regions $C_S > C_B$ and $C_S \leq C_B$, which is a line defined by $EP_{CP}(C_B,C_B)$ due to the expected profit function is continuous.

Therefore, denoting by (C_B^*,C_S^*) to the unique optimal solution for the centralized system's capacity problem, it is defined by the Equation(4-16). Also, C_B^{a*} and C_S^{a*} satisfy the conditions in the Equation (4-17a), C_B^{b*} and C_S^{b*} satisfy the conditions in the Equation (4-17b), and C_B^* is defined by the

Equation (4-17c).

Proof Proposition 9

Let be $L_1(C) = 1 - \frac{2a_B}{\pi_B + d \cdot p_m + t} \cdot C$ and $L_2(C) = 1 - \frac{2a_B}{\pi_B} \cdot C$. Both lines, $L_1(\cdot)$ and $L_2(\cdot)$, are decreasing and the fisrt of them intersects to the axes in the points $(0,1)$ and $\left(\frac{\pi_B + d \cdot p_m + t}{2a_B}, 0\right)$, while that the second one intersects to the ones in $(0,1)$ and $\left(\frac{\pi_B}{2a_B}, 0\right)$. As $F(\cdot)$ is a inyective and strictely increasing function, which goes from the point $(0,0)$ and increases approaching a horizontal asymptote at 1, there is a unique intersection between $L_1(\cdot)$ and $F(\cdot)$, as well as between $L_2(\cdot)$ and $F(\cdot)$. Those intersections will be denoted, respectively, by C_1 and C_2. Note that, due to $\pi_B + d \cdot p_m + t > \pi_B$, $C_1 > C_2$ and, also, $C_2 \leq \frac{\pi_B}{2a_B}$.

The first derivate for the Buyer's expected profit, which is given by the Equation (C-8), can be write in terms of the lines $L_1(\cdot)$ and $L_2(\cdot)$ as in the ().

$$\frac{d}{dC}\Big(EP_{B|\zeta}(C)\Big) = \begin{cases} (\pi_B + d \cdot p_m + t)\Big(L_1(C) - F(C)\Big) & , C \leq R \\ \pi_B\Big(L_2(C) - F(C)\Big) & , C > R \end{cases} \tag{C-33}$$

Thus, C_1 and C_2 too represent to the capacities that annul to the first derivate for the expression that defines $EP_{B|\zeta}(C)$ for, respectively, $C \leq R$ and $C > R$. Also, C_2 satisfies the first order condition for the Buyer's capacity problem in the independent planning, that is, $C_2 = C_B$. Since $C_1 > C_2$ and $C_{B|\zeta}$ is equal to C_1, C_2 or R, where the last case is given when $C_1 \in (R, \infty)$ and $C_2 \in [0, R)$, it is concluded that $C_{B|\zeta} \geq C_B$.

In relation to the optimal capacity for the Buyer's capacity problem under the contract situation, note that the capacities C_1 and C_2 there are not simultaneously as local optimal solutions for the Buyer's capacity problem, due to $C_1 > C_2$. Also, R is the global solution when $C^{(1)} \notin [0, R)$ and $C^{(2)} \notin \left(R, \frac{\pi_B}{2a_B}\right]$. In fact, if $C_1 \in [0, R)$, then too $C_2 \in [0, R)$. Then, the function $EP_{B|\zeta}(C)$ is decreasing in the interval (R, ∞) and, consequently, the local optimal solution in that interval is R. As $EP_{B|\zeta}(C)$ is continuous piecewise, then C_1 is the global optimal solution. On the other hand, if $C_2 \in \left(R, \frac{\pi_B}{2a_B}\right]$, then too $C_1 \in \left(R, \frac{\pi_B}{2a_B}\right]$. Then, the function $EP_{B|\zeta}(C)$ is increasing in the interval $[0, R)$ and, consequently, the local optimal solution in that interval is R. And, due to the continuity of the function $EP_{B|\zeta}(C)$, C_2 is the global optimal solution.

Proof Proposition 10

To assume $C_S \geq R$, because in the opposite case (i.e. $C_S < R$) the relation $C_S < C_{S|\zeta}$ is clear due to the forced compliance assumption. Let be $L(\cdot)$ the lines defined by $L(C) = 1 - \frac{2a_S}{\pi_S} \cdot C$. The first partial derivate for the function $EP_S(C)$, which is given by the Equation (4) in the Chapter 4, can be expressed by $\frac{d}{dC}(EP_S(C)) = \pi_B \Big[L(C) - H(C)\Big]$. So, the Supplier's optimal capacity under the independent planning C_S is given for the intersection between $L(\cdot)$ and $H(\cdot)$.

In the contract situation, first, to consider $y_{max} \leq R$. Let be $A_1(C) = \int_0^{\bar{y_{max}}} H(C-y)f(y)dy + H(C-y_{max})\Big(1 - F(y_{max})\Big)$, $\forall C \in [y_{max}, \infty)$, which is increasing in C due to $H(\cdot)$ is increasing. The first partial derivate for the capacity problem's objective function $(EP_{S|\zeta}(C))$, which is given by the Equation (C-16), can be expressed by $\frac{d}{dC}\Big(EP_{S|\zeta}(C)\Big) = \pi_S\left[L(C) - A_1(C)\right]$. Then, the optimal solution for the non-bounded problem associated to the Supplier's capacity problem, C^*, corresponds to the intersection between $L(\cdot)$ and $A_1(\cdot)$. For $C \geq y_{max}$, the following equivalences are satisfied.

$$\begin{aligned}
H(C-y) < H(C) &\Leftrightarrow \int_0^{y_{max}} H(C-y)f(y)dy < H(C) \\
&\Leftrightarrow \int_0^{\bar{y_{max}}} H(C-y)f(y)dy + H(C-y_{max})(1-F(y_{max}) < \\
&\quad < H(C) \\
&\Leftrightarrow A_1(C) < H(C)
\end{aligned}$$

Since that $A_1(C) < H(C)$, the intersection between $L(\cdot)$ and $A_1(\cdot)$ given by C^* happens in a value more than C_S, when $C_S < \frac{\pi_S}{2a_S}$. As $C_S \geq R$, then too $C^* \geq R$ and, consequently, $C_{S|\zeta} = C^* > C_S$.

Now, to consider $y_{max} > R$. Let be $A_2(C) = \int_0^R H(C-y)f(y)dy + \int_R^{\bar{y_{max}}} H(C-R)f(y)dy + H(C-R)\Big(1 - F(y_{max})\Big)$, $\forall C \in [R, \infty)$, that is an increasing function because $H(\cdot)$ is increasing. The first partial derivate for the function $EP_{S|\zeta}(C)$, which is given by the Equation (C-18) can be written in terms of $L(\cdot)$ and $A_2(\cdot)$ by the expression $\frac{d}{dC}\Big(EP_{S|\zeta}(C)\Big) = \pi_S\left[L(C) - A_2(C)\right]$. So, C^* is given by the intersection between $L(\cdot)$ and $A_2(\cdot)$. For $C \geq R$, the following equivalences are satisfied.

$$\begin{aligned} H(C-y) < H(C) &\Leftrightarrow \int_0^R H(C-y)f(y)dy < H(C)\int_0^R f(y)dy \\ &\Leftrightarrow \int_0^R H(C-y)f(y)dy < H(C)\int_0^R f(y)dy \end{aligned} \tag{C-35a}$$

$$\begin{aligned} H(C-R) < H(C) &\Leftrightarrow \int_R^{y_{max}} H(C-y)f(y)dy < H(C)\int_R^{y_{max}} f(y)dy \\ &\Leftrightarrow \int_R^{\bar{y_{max}}} H(C-y)f(y)dy + H(C-y_{max})(1-F(y_{max}) < \\ &\quad < H(C)\int_R^{y_{max}} f(y)dy \end{aligned} \tag{C-35b}$$

Thus, adding the last expressions in (C-35a) and (C-35b), $A_2(C) < H(C)$. Similarly to the above case, it is concluded that $C_{S|\zeta} = C^* > C_S$.

D
Particularization to exponential distributions

Let be the market demands variables, X and Z, represented by instances of the exponential probability density functions, whose mean are given, respectively, by β_X and β_Z. Using the expressions in the Chapter 4, the following expressions involved in the terms of the objective functions for the capacity problems for the companies, under the different situations (independent planning, contract situation and central planning), are determined. In particular, to determine the expression for K, it is considered $G(y) = F(x)$, $\forall y \in [0, R]$.

$$f(x) = \frac{1}{\beta_X} \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}} \ , \ \forall x \geq 0$$
$$h(z) = \frac{1}{\beta_Z} \cdot e^{-\frac{z}{\beta_Z}} \ , \ \forall z \geq 0$$
$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\beta_X}} \ , \ \forall x \geq 0$$
$$H(z) = 1 - e^{-\frac{z}{\beta_Z}} \ , \ \forall z \geq 0$$
$$1 - F(K) = e^{-\frac{K}{\beta_X}} \ , \ K \in \{y_{max}, C\}$$
$$\int_0^C F(x)dx = \left(x + \beta_X \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}}\right)\Big|_0^C = C - \beta_X \left(1 - e^{-\frac{C}{\beta_X}}\right)$$
$$\int_{C_S}^{C_B} F(x)dx = \left(x + \beta_X \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}}\right)\Big|_{C_S}^{C_B} = C_B - C_S + \beta_X \left(e^{-\frac{C_B}{\beta_X}} - e^{-\frac{C_S}{\beta_X}}\right)$$
$$\int_0^C H(z)dz = C - \beta_Z \left(1 - e^{-\frac{C}{\beta_Z}}\right)$$
$$D_K(C) = \int_0^{C-K} H(z)dz = (C-K) - \beta_Z \left(1 - e^{-\frac{(C-K)}{\beta_Z}}\right) \ , \ K \in \{x, y_{max}, R\}$$
$$E[Y] = \int_0^{C_{B|\zeta}} x \cdot f(x)dx + C_{B|\zeta} \int_{C_{B|\zeta}}^{\infty} f(x)dx = C_{B|\zeta} - \int_0^{C_{B|\zeta}} F(x)dx$$
$$= \beta_X \left(1 - e^{-\frac{C_{B|\zeta}}{\beta_X}}\right)$$

$$
\begin{aligned}
I_1(C) &= (d \cdot p_m + t)\left[C - \int_0^C F(x)dx\right] - t \cdot R \\
&= (d \cdot p_m + t) \cdot \beta_X \left(1 - e^{-\frac{C}{\beta_X}}\right) - t \cdot R \\
I_2 &= (d \cdot p_m + t)\left[R - \int_0^R F(x)dx\right] - t \cdot R \\
&= (d \cdot p_m + t) \cdot \beta_X \left(1 - e^{-\frac{R}{\beta_X}}\right) - t \cdot R \\
J_{y_{max}} &= -(d \cdot p_m + t)\ E[Y] + t \cdot R \\
&= -(d \cdot p_m + t) \cdot \beta_X \left(1 - e^{-\frac{C}{\beta_X}}\right) + t \cdot R \\
J_R &= -(d \cdot p_m + t)\left[R - \int_0^R G_(y)dy\right] + t \cdot R \\
&= -(d \cdot p_m + t) \cdot \beta_X \left(1 - e^{-\frac{R}{\beta_X}}\right) + t \cdot R
\end{aligned}
$$

Considering the before expressions, the next integrals are involved in the terms of the objective function for the Supplier's capacity problem, $K \in \{y_{max}, R\}$.

$$
\begin{aligned}
\int_0^K D_x(C)f(x)dx &= \int_0^K \left(C - x - \beta_Z\left(1 - e^{-\frac{(C-x)}{\beta_Z}}\right)\right)\left(\frac{1}{\beta_X} \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}}\right)dx \\
&= \frac{1}{\beta_X}\int_0^K \left((C-\beta_Z) \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}} - x \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}} + \beta_Z \cdot e^{-\frac{C}{\beta_Z}+(\frac{1}{\beta_Z}-\frac{1}{\beta_X})x}\right)dx \\
&= \frac{1}{\beta_X}\Bigg(-\beta_X \cdot (C-\beta_Z) \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}}\Big|_0^K + \beta_X^2\left(e^{-\frac{x}{\beta_X}}\left(\frac{x}{\beta_X}+1\right)\right)\Big|_0^K + \\
&\quad + \beta_Z \cdot \frac{\beta_X \cdot \beta_Z}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C}{\beta_Z}+\left(\frac{1}{\beta_Z}-\frac{1}{\beta_X}\right)x}\Big|_0^K\Bigg) \\
&= -(C-\beta_Z)\left(e^{-\frac{K}{\beta_X}} - 1\right) + \beta_X\left(e^{-\frac{K}{\beta_X}}\left(\frac{K}{\beta_X}+1\right) - 1\right) + \\
&\quad + \frac{\beta_Z^2}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C}{\beta_Z}}\left(e^{\left(\frac{1}{\beta_Z}-\frac{1}{\beta_X}\right)K} - 1\right) \\
&= (C - \beta_X - \beta_Z) + (-C + \beta_Z + K + \beta_X)\, e^{-\frac{K}{\beta_X}} + \\
&\quad + \frac{\beta_Z^2}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C}{\beta_Z}}\left(e^{\left(\frac{1}{\beta_Z}-\frac{1}{\beta_X}\right)K} - 1\right)
\end{aligned}
$$

Now, considering the expression for $D_R(C)$:

$$
\begin{aligned}
\int_R^{y_{max}} D_R(C) f(x) dx &= \int_R^{y_{max}} \left(C - R - \beta_Z \left(1 - e^{-\frac{(C-R)}{\beta_Z}} \right) \right) \left(\frac{1}{\beta_X} \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}} \right) dx \\
&= \left(C - R - \beta_Z \left(1 - e^{-\frac{(C-R)}{\beta_Z}} \right) \right) \int_R^{y_{max}} \frac{1}{\beta_X} e^{-\frac{x}{\beta_X}} dx \\
&= -\left(C - R - \beta_Z \left(1 - e^{-\frac{(C-R)}{\beta_Z}} \right) \right) \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}} \Big|_R^{y_{max}} \\
&= -\left(C - R - \beta_Z \left(1 - e^{-\frac{(C-R)}{\beta_Z}} \right) \right) \cdot e^{-\frac{1}{\beta_X}(y_{max} - R)}
\end{aligned}
$$

The following integrals are involved in the terms of the objective function for the central planning's capacity problem. To consider $K \in \{C_B, y_{max}, R\}$ for the second one.

$$
\begin{aligned}
\int_0^{C_B} D_x(C_S) f(x) dx &= \int_0^{C_B} \left(C_S - x - \beta_Z \left(1 - e^{-\frac{(C_S - x)}{\beta_Z}} \right) \right) \left(\frac{1}{\beta_X} \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}} \right) dx \\
&= \frac{1}{\beta_X} \int_0^{C_B} \left((C_S - \beta_Z) \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}} - x \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}} + \beta_Z \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_Z} + (\frac{1}{\beta_Z} - \frac{1}{\beta_X}) x} \right) dx \\
&= \frac{1}{\beta_X} \Bigg(-\beta_X \cdot (C_S - \beta_Z) \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}} \Big|_0^{C_B} + \beta_X^2 \left(e^{-\frac{x}{\beta_X}} \left(\frac{x}{\beta_X} + 1 \right) \right) \Big|_0^{C_B} + \\
&\quad + \beta_Z \cdot \frac{\beta_X \cdot \beta_Z}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_Z} + \left(\frac{1}{\beta_Z} - \frac{1}{\beta_X} \right) x} \Big|_0^{C_B} \Bigg) \\
&= -(C_S - \beta_Z) \left(e^{-\frac{C_B}{\beta_X}} - 1 \right) + \beta_X \left(e^{-\frac{C_B}{\beta_X}} \left(\frac{C_B}{\beta_X} + 1 \right) - 1 \right) + \\
&\quad + \frac{\beta_Z^2}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_Z}} \left(e^{\left(\frac{1}{\beta_Z} - \frac{1}{\beta_X} \right) C_B} - 1 \right) \\
&= (C_S - \beta_X - \beta_Z) + (-C_S + \beta_Z + C_B + \beta_X) \, e^{-\frac{C_B}{\beta_X}} + \\
&\quad + \frac{\beta_Z^2}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_Z}} \left(e^{\left(\frac{1}{\beta_Z} - \frac{1}{\beta_X} \right) C_B} - 1 \right)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\int_0^{K} H(C_S - x) f(x) dx &= \int_0^{K} \left(1 - e^{-\frac{(C_S - x)}{\beta_Z}} \right) \frac{1}{\beta_X} \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}} dx \\
&= \int_0^{K} \frac{1}{\beta_X} \cdot e^{-\frac{x}{\beta_X}} - \frac{1}{\beta_X} \int_0^{K} e^{-\frac{C_S}{\beta_Z} + (\frac{1}{\beta_Z} - \frac{1}{\beta_X}) x} dx \\
&= -e^{-\frac{x}{\beta_X}} \Big|_0^{K} + \frac{1}{\beta_X} \cdot \frac{\beta_X \cdot \beta_Z}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_Z} + \left(\frac{1}{\beta_Z} - \frac{1}{\beta_X} \right) x} \Big|_0^{K} \Big) \\
&= 1 - e^{-\frac{K}{\beta_X}} - \frac{\beta_Z}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_Z}} \left(e^{\left(\frac{1}{\beta_Z} - \frac{1}{\beta_X} \right) K} - 1 \right)
\end{aligned}
$$

From the before two expressions, the following simplified expressions are obtained, respectively, for $C_B = C_S$ and $K = C_S$.

$$\begin{aligned}\int_0^{C_S} D_x(C_S)f(x)dx &= (C_S - \beta_X - \beta_Z) + (\beta_Z + \beta_X)\, e^{-\frac{C_S}{\beta_X}} + \frac{\beta_Z^2}{\beta_X - \beta_Z}\cdot \\ &\quad \cdot \left(e^{-\frac{C_S}{\beta_X}} - e^{-\frac{C_S}{\beta_Z}}\right) \\ &= (C_S - \beta_X - \beta_Z) + \left(\beta_Z + \beta_X + \frac{\beta_Z^2}{\beta_X - \beta_Z}\right) e^{-\frac{C_S}{\beta_X}} - \\ &\quad - \frac{\beta_Z^2}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_Z}} \\ &= (C_S - \beta_X - \beta_Z) + \frac{\beta_X^2}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_X}} - \\ &\quad - \frac{\beta_Z^2}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_Z}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\int_0^{C_S} H(C_S - x)f(x)dx &= 1 - e^{-\frac{C_S}{\beta_X}} - \frac{\beta_Z}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_Z}} \left(e^{\left(\frac{1}{\beta_Z} - \frac{1}{\beta_X}\right)C_S} - 1\right) \\ &= 1 - \frac{\beta_X}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_X}} + \frac{\beta_Z}{\beta_X - \beta_Z} \cdot e^{-\frac{C_S}{\beta_Z}}\end{aligned}$$

E
Computational code

CONTRACT PROBLEM

```
Clear_ContractSituation;
Clear_Iterations;

ALL_Benchmarks_Problems;

Set_Initial_Contracts;

AlgorithmInitialization;

for ( k ) do
   Search_Algorithm(k);
endfor;

Set_Viable_Optimal_Contracts;
```

Set Initial Contracts

```
SettingInitialization;
AlgorithmInitialization;
UpperBound_R := pi_S/(2*a_S);
UpperBound_d := 1;
UpperBound_t := p_m;

while (jR <= Card_Partition_Axis_R) do
   Partition_Axis_R(jR) := jR * (UpperBound_R/Card_Partition_Axis_R);
jR += 1;
endwhile;
jR :=1;
while (jd <= Card_Partition_Axis_d) do
   Partition_Axis_d(jd) := jd * (UpperBound_d/Card_Partition_Axis_d);
jd += 1;
endwhile;
jd :=1;
while (jt <= Card_Partition_Axis_t) do
   Partition_Axis_t(jt) := jt * (UpperBound_t/Card_Partition_Axis_t);
jt += 1;
endwhile;
jt :=1;
while (jdt <= Card_Partition_Axis_d * Card_Partition_Axis_t) do
   while (jR <= Card_Partition_Axis_R) do
   Initial_R(jR + (jdt-1) * Card_Partition_Axis_R) :=
Partition_Axis_R(jR);
   jR += 1;
   endwhile;
   jR :=1;
jdt += 1;
endwhile;
jdt := 1;
while (jd <= Card_Partition_Axis_d) do
   while (jt <= Card_Partition_Axis_t) do
      while (jR <= Card_Partition_Axis_R) do
      Initial_d(jR + (jd-1) * Card_Partition_Axis_R + (jt-1) *
Card_Partition_Axis_R * Card_Partition_Axis_d) := Partition_Axis_d(jd);
      jR += 1;
      endwhile;
      jR :=1;
   jt += 1;
   endwhile;
   jt := 1;
jd += 1;
endwhile;
jd := 1;
while (jt <= Card_Partition_Axis_t) do
   while (jRd <= (Card_Partition_Axis_R * Card_Partition_Axis_d *
Card_Partition_Axis_t)/Card_Partition_Axis_t) do
   Initial_t(jRd + (jt-1) * Card_Partition_Axis_R *
Card_Partition_Axis_d) := Partition_Axis_t(jt);
   jRd += 1;
   endwhile;
   jRd :=1;
jt += 1;
endwhile;
jt := 1;

!c=1 is the first contract for the iterations in the search algorithm
R(1,k) := Initial_R(k);
d(1,k) := Initial_d(k);
t(1,k) := Initial_t(k);
```

```
Search Algorithm(k)

for (c) do

   ! Definition of the trial points
   !------------------------------
   TrialPointsDefinition(c,k);

   ! Evaluation of EP_Dyad for the feasible trial points
   !---------------------------------------------------
   for (p) do
      if (lower_R <= R_trial(p,c,k) and R_trial(p,c,k) <= upper_R and
          lower_d <= d_trial(p,c,k) and d_trial(p,c,k) <= upper_d and
          lower_t <= t_trial(p,c,k))
         then
         RR := R_trial(p,c,k);
         dd := d_trial(p,c,k);
         tt := t_trial(p,c,k);

         ContractSituation_CapacityProblem;
         C_B_feasible(p,c,k)  := C_B_contract;
         C_S_feasible(p,c,k)  := C_S_contract;
         EP_B_feasible(p,c,k)  := EP_B_contract;
         EP_S_feasible(p,c,k)  := EP_S_contract;
         EP_D_feasible(p,c,k)  := EP_D_contract;
         Surplus_B_feasible(p,c,k)  := Surplus_B_contract;
         Surplus_S_feasible(p,c,k)  := Surplus_S_contract;
         Improvement_feasible(p,c,k)  := Improvement_contract;
         Efficiency_feasible(p,c,k)  := Efficiency_contract;
      endif;
   endfor;

   !---------------------------------------------------------------------
   ! Determination of the contract and trial step for the next iteration
   !---------------------------------------------------------------------
   p_mov(c,k)  := argmax (p | p <> 7, EP_D_feasible(p,c,k));
   if (EP_D_feasible(p_mov(c,k),c,k) > EP_D_feasible(7,c,k)) then
      R(c+1,k)  := R_trial(p_mov(c,k),c,k);
      d(c+1,k)  := d_trial(p_mov(c,k),c,k);
      t(c+1,k)  := t_trial(p_mov(c,k),c,k);
      delta_iter(c+1,k)  := lambda * delta_iter(c,k);
   else
      R(c+1,k)  := R(c,k);
      d(c+1,k)  := d(c,k);
      t(c+1,k)  := t(c,k);
      delta_iter(c+1,k)  := theta * delta_iter(c,k);
   endif;

   ! Evaluation for the current contract (R(c),d(c),t(c)) (p=7)
   !-----------------------------------------------------------
   C_B(c,k)  := C_B_feasible(7,c,k);
   C_S(c,k)  := C_S_feasible(7,c,k);
   EP_B(c,k)  := EP_B_feasible(7,c,k);
   EP_S(c,k)  := EP_S_feasible(7,c,k);
   EP_D(c,k)  := EP_D_feasible(7,c,k);
   Surplus_B(c,k)  := Surplus_B_feasible(7,c,k);
   Surplus_S(c,k)  := Surplus_S_feasible(7,c,k);
   Improvement(c,k)  := Improvement_feasible(7,c,k);
   Efficiency(c,k)  := Efficiency_feasible(7,c,k);

   ! Definition of the set of viable contracts
   !-----------------------------------------
   if (Surplus_B(c,k) > 0 and Surplus_S(c,k) > 0) then
      ViableContractSet += c;
   endif;

   Counter_Iters += 1;
```

```
   break when (EP_D_feasible(p_mov(c,k),c,k) - EP_D_feasible(7,c,k) <=
Gap_EP
                  or Counter_Iters >= Max_Iterations);
endfor;

ViableContracts_Iter(k) := card(ViableContractSet);
TestedContracts_Iter(k) := Counter_Iters;

! Optimal results in terms of the dyad's expected profit
!-------------------------------------------------------
Search_Iters(k) := argmax(c, EP_D(c,k));
Search_R(k) := R(Search_Iters(k),k);
Search_d(k) := d(Search_Iters(k),k);
Search_t(k) := t(Search_Iters(k),k);
Search_C_B(k) := C_B(Search_Iters(k),k);
Search_C_S(k) := C_S(Search_Iters(k),k);
Search_EP_B(k) := EP_B(Search_Iters(k),k);
Search_EP_S(k) := EP_S(Search_Iters(k),k);
Search_EP_D(k) := EP_D(Search_Iters(k),k);
Search_Surplus_B(k) := Surplus_B(Search_Iters(k),k);
Search_Surplus_S(k) := Surplus_S(Search_Iters(k),k);
Search_Improvement(k) := Improvement(Search_Iters(k),k);
Search_Efficiency(k) := Efficiency(Search_Iters(k),k);
```

```
TrialPointsDefinition(c,k)

R_trial(1,c,k) := R(c,k) + B(1,1) * delta_iter(c,k);
d_trial(1,c,k) := d(c,k);
t_trial(1,c,k) := t(c,k);
R_trial(2,c,k) := R(c,k);
d_trial(2,c,k) := d(c,k) + B(2,2) * delta_iter(c,k);
t_trial(2,c,k) := t(c,k);
R_trial(3,c,k) := R(c,k);
d_trial(3,c,k) := d(c,k);
t_trial(3,c,k) := t(c,k) + B(3,3) * delta_iter(c,k);
R_trial(4,c,k) := R(c,k) - B(1,1) * delta_iter(c,k);
d_trial(4,c,k) := d(c,k);
t_trial(4,c,k) := t(c,k);
R_trial(5,c,k) := R(c,k);
d_trial(5,c,k) := d(c,k) - B(2,2) * delta_iter(c,k);
t_trial(5,c,k) := t(c,k);
R_trial(6,c,k) := R(c,k);
d_trial(6,c,k) := d(c,k);
t_trial(6,c,k) := t(c,k) - B(3,3) * delta_iter(c,k);
R_trial(7,c,k) := R(c,k);
d_trial(7,c,k) := d(c,k);
t_trial(7,c,k) := t(c,k);
R_trial(8,c,k) := R(c,k) + B(1,1) * delta_iter(c,k);
d_trial(8,c,k) := d(c,k) + B(2,2) * delta_iter(c,k);
t_trial(8,c,k) := t(c,k) + B(3,3) * delta_iter(c,k);
R_trial(9,c,k) := R(c,k) - B(1,1) * delta_iter(c,k);
d_trial(9,c,k) := d(c,k) + B(2,2) * delta_iter(c,k);
t_trial(9,c,k) := t(c,k) + B(3,3) * delta_iter(c,k);
R_trial(10,c,k) := R(c,k) - B(1,1) * delta_iter(c,k);
d_trial(10,c,k) := d(c,k) - B(2,2) * delta_iter(c,k);
t_trial(10,c,k) := t(c,k) + B(3,3) * delta_iter(c,k);
R_trial(11,c,k) := R(c,k) + B(1,1) * delta_iter(c,k);
d_trial(11,c,k) := d(c,k) - B(2,2) * delta_iter(c,k);
t_trial(11,c,k) := t(c,k) + B(3,3) * delta_iter(c,k);
R_trial(12,c,k) := R(c,k) + B(1,1) * delta_iter(c,k);
d_trial(12,c,k) := d(c,k) + B(2,2) * delta_iter(c,k);
t_trial(12,c,k) := t(c,k) - B(3,3) * delta_iter(c,k);
R_trial(13,c,k) := R(c,k) - B(1,1) * delta_iter(c,k);
d_trial(13,c,k) := d(c,k) + B(2,2) * delta_iter(c,k);
t_trial(13,c,k) := t(c,k) - B(3,3) * delta_iter(c,k);
R_trial(14,c,k) := R(c,k) - B(1,1) * delta_iter(c,k);
d_trial(14,c,k) := d(c,k) - B(2,2) * delta_iter(c,k);
t_trial(14,c,k) := t(c,k) - B(3,3) * delta_iter(c,k);
R_trial(15,c,k) := R(c,k) + B(1,1) * delta_iter(c,k);
d_trial(15,c,k) := d(c,k) - B(2,2) * delta_iter(c,k);
t_trial(15,c,k) := t(c,k) - B(3,3) * delta_iter(c,k);
```

Set Viable Optimal Contracts

```
for ( k ) do
   if (Search_Surplus_B(k) > 0 and Search_Surplus_S(k) > 0) then
      VOCsSet += k;
   endif;
endfor;

for ( vo | vo in VOCsSet) do
   VOC_Initial_R(vo) := Initial_R(vo);
   VOC_Initial_d(vo) := Initial_d(vo);
   VOC_Initial_t(vo) := Initial_t(vo);
   VOC_Iters(vo) := Search_Iters(vo);
   VOC_R(vo) := Search_R(vo);
   VOC_d(vo) := Search_d(vo);
   VOC_t(vo) := Search_t(vo);
   VOC_C_B(vo) := Search_C_B(vo);
   VOC_C_S(vo) := Search_C_S(vo);
   VOC_EP_B(vo) := Search_EP_B(vo);
   VOC_EP_S(vo) := Search_EP_S(vo);
   VOC_EP_D(vo) := Search_EP_D(vo);
   VOC_Surplus_B(vo) := Search_Surplus_B(vo);
   VOC_Surplus_S(vo) := Search_Surplus_S(vo);
   VOC_Improvement(vo) := Search_Improvement(vo);
   VOC_Efficiency(vo) := Search_Efficiency(vo);
endfor;

argminVOC_Iters := argmin(vo, VOC_Iters(vo));
argmaxVOC_Iters := argmax(vo, VOC_Iters(vo));
argminVOC_R := argmin(vo, VOC_R(vo));
argmaxVOC_R := argmax(vo, VOC_R(vo));
argminVOC_d := argmin(vo, VOC_d(vo));
argmaxVOC_d := argmax(vo, VOC_d(vo));
argminVOC_t := argmin(vo, VOC_t(vo));
argmaxVOC_t := argmax(vo, VOC_t(vo));
argminVOC_C_B := argmin(vo, VOC_C_B(vo));
argmaxVOC_C_B := argmax(vo, VOC_C_B(vo));
argminVOC_C_S := argmin(vo, VOC_C_S(vo));
argmaxVOC_C_S := argmax(vo, VOC_C_S(vo));
argminVOC_EP_B := argmin(vo, VOC_EP_B(vo));
argmaxVOC_EP_B := argmax(vo, VOC_EP_B(vo));
argminVOC_EP_S := argmin(vo, VOC_EP_S(vo));
argmaxVOC_EP_S := argmax(vo, VOC_EP_S(vo));
argminVOC_EP_D := argmin(vo, VOC_EP_D(vo));
argmaxVOC_EP_D := argmax(vo, VOC_EP_D(vo));
argminVOC_Surplus_B := argmin(vo, VOC_Surplus_B(vo));
argmaxVOC_Surplus_B := argmax(vo, VOC_Surplus_B(vo));
argminVOC_Surplus_S := argmin(vo, VOC_Surplus_S(vo));
argmaxVOC_Surplus_S := argmax(vo, VOC_Surplus_S(vo));
argminVOC_Improvement := argmin(vo, VOC_Improvement(vo));
argmaxVOC_Improvement := argmax(vo, VOC_Improvement(vo));
argminVOC_Efficiency := argmin(vo, VOC_Efficiency(vo));
argmaxVOC_Efficiency := argmax(vo, VOC_Efficiency(vo));

Min_Iters := VOC_Iters(argminVOC_Iters);
Max_Iters := VOC_Iters(argmaxVOC_Iters);
Min_R := VOC_R(argminVOC_R);
Max_R := VOC_R(argmaxVOC_R);
Min_d := VOC_d(argminVOC_d);
Max_d := VOC_d(argmaxVOC_d);
Min_t := VOC_t(argminVOC_t);
Max_t := VOC_t(argmaxVOC_t);
Min_C_B := VOC_C_B(argminVOC_C_B);
Max_C_B := VOC_C_B(argmaxVOC_C_B);
Min_C_S := VOC_C_S(argminVOC_C_S);
Max_C_S := VOC_C_S(argmaxVOC_C_S);
Min_EP_B := VOC_EP_B(argminVOC_EP_B);
Max_EP_B := VOC_EP_B(argmaxVOC_EP_B);
```

```
Min_Iters := VOC_Iters(argminVOC_Iters);
Max_Iters := VOC_Iters(argmaxVOC_Iters);
Min_R := VOC_R(argminVOC_R);
Max_R := VOC_R(argmaxVOC_R);
Min_d := VOC_d(argminVOC_d);
Max_d := VOC_d(argmaxVOC_d);
Min_t := VOC_t(argminVOC_t);
Max_t := VOC_t(argmaxVOC_t);
Min_C_B := VOC_C_B(argminVOC_C_B);
Max_C_B := VOC_C_B(argmaxVOC_C_B);
Min_C_S := VOC_C_S(argminVOC_C_S);
Max_C_S := VOC_C_S(argmaxVOC_C_S);
Min_EP_B := VOC_EP_B(argminVOC_EP_B);
Max_EP_B := VOC_EP_B(argmaxVOC_EP_B);
Min_EP_S := VOC_EP_S(argminVOC_EP_S);
Max_EP_S := VOC_EP_S(argmaxVOC_EP_S);
Min_EP_D := VOC_EP_D(argminVOC_EP_D);
Max_EP_D := VOC_EP_D(argmaxVOC_EP_D);
Min_Surplus_B := VOC_Surplus_B(argminVOC_Surplus_B);
Max_Surplus_B := VOC_Surplus_B(argmaxVOC_Surplus_B);
Min_Surplus_S := VOC_Surplus_S(argminVOC_Surplus_S);
Max_Surplus_S := VOC_Surplus_S(argmaxVOC_Surplus_S);
Min_Improvement_D := VOC_Improvement(argminVOC_Improvement);
Max_Improvement_D := VOC_Improvement(argmaxVOC_Improvement);
Min_Efficiency_D := VOC_Efficiency(argminVOC_Efficiency);
Max_Efficiency_D := VOC_Efficiency(argmaxVOC_Efficiency);
```

F
Extended abstract in Portuguese

Este apêndice está organizado em sete itens. No primeiro é apresentada uma introdução ao tema de pesquisa tratado nesta tese. No segundo item são conceituados os contratos coordenadores. No seguinte item são definidos o problema e os objetivos tratados neste trabalho. No quarto item é comentada a literatura relacionada ao problema proposto. No seguinte item é apresentado o contrato proposto e a forma de avaliação. No sexto item são estabelecidos os pressupostos adicionais considerados na modelagem, resultados gerais e ilustrações numéricas. No último item são comentadas as conclusões e indicados alguns assuntos para pesquisa futura. As referêcias bibliográficas, assim como figuras e tabelas citadas encontram-se no corpo da tese.

Introdução

A evolução acelerada do conhecimento tecnolôgico e as mudanças no âmbito econômico-social têm impactado o comportamento operacional das empresas, assim como as formas em que se organizam individualmente e se relacionam com outras a fim de satisfazer seus propósitos estratégicos. Por um lado, a inovação nas tecnologias de produção pode levar ao uso de ativos especializados e de alto custo, que só podem ser bem aproveitados através de alto nível de utilização. Tais níveis de produção que podem não ser atingíveis com a dedicação desses ativos a uma única empresa. Por isso, muitas empresas se voltaram para provedores externos capazes de lhes proporcionar capacidades e competências que elas mesmas não poderiam desenvolver rapidamente ou manter por longo tempo. Por outro lado, mudanças sociais têm impacto direto nas necessidades da população e nas preferências dos clientes, cujas expectativas são sempre crescentes, tanto em relação ao produto propriamente dito, quanto à sua distribuição e serviço pós-venda.

Assim, os efeitos das vicissitudes do ambiente externo na empresa são variados e podem abranger desde modificações nos processos operacionais, tais como sistemas logísticos e controle de estoque, até mudanças estratégicas, incluindo terceirização, fusões ou aquisições. Em particular, freqüentemente empresas terceirizam parte de seus processos produtivos com o propósito de tornarem-se mais flexíveis, isto é, capazes de forma rápida e econômica, mudar seus produtos, expandir, ou encolher, adquirir novas tecnologias e desenvolver relacionamentos especiais com outras empresas. Flexibilidade é um aspecto chave para reagir às mudanças no ambiente empresarial, entre elas: a redução dos ciclos de vida e o aumento da complexidade dos produtos. Através de acordos, as empresas podem unir suas competências às dos parceiros para atuar no mercado com vantagem competitiva. Isto é amiúde observado quando a empresa está procurando maior rapidez para lançamentos de produtos no mercado, qualidade superior para seus produtos, ampla variedade, e menores riscos de investimento e custo de produto.

Não obstante, em processos terceirizados, surgem novos problemas gerenciais que requerem a coordenação entre as empresas envolvidas na cadeia de valor. Otimização isolada da eficiência de cada empresa usualmente não é suficiente para garantir a eficiência de toda a cadeia. Uma vez reduzida a integração vertical, fluxos de informação são suprimidos, custos são simplesmente transferidos para outros elos da cadeia ao invés de reduzidos e é perdido o poder para impor a alguma empresa ações que beneficiem o coletivo das empresas. Além da perda de eficiência coletiva, essa segmentação também pode ter efeitos estratégicos nefastos, entre eles, a dependência comprador/fornecedor, exposição a ações oportunistas de parceiros e poder de barganha aumentado assimetricamente.

Integrar unidades de produção de diferentes proprietários pode ser difícil, pois cada empresa tem seus próprios interesses e mantém informação privada para evitar comportamento oportunista de outras da sua cadeia. Então para realizar ações que promovem a eficiência coletiva da cadeia de valor, abrindo espaço para o ganho de todos seus membros, é necessário induzir algumas empresas a cooperar. Assim, em uma cadeia de suprimentos, a coordenação efetiva das decisões de produção das empresas autônomas e, conseqüentemente, sua eficiência coletiva, dependem das relações estabelecidas entre elas.

A coordenação das atividades produtivas em uma cadeia de valor tem sido alcançada quando existe uma empresa que, pelo seu elevado poder de barganha e interesse, é capaz de alinhar a cadeia de suprimentos completa visando o bem coletivo como forma de atingir seus propósitos particulares. Não obstante, os casos em quais uma empresa pode efetivamente coordenar sua cadeia de suprimentos e, de fato, esteja disposta a fazê-lo, como ocorre com as montadoras de veículos, são mais as exceções do que a regra.

O estudo de possíveis acordos, ou relacionamentos comerciais, que conduzam as empresas em uma cadeia de suprimentos a compartilhar informação privada e alinhar seus interesses individuais visando melhorar o desempenho coletivo é um problema relevante. Tal relevância e tanto maior à medida que, em busca de vantagens estratégicas, a produção se torna progressivamente mais distribuída entre empresas autônomas progressivamente mais especializadas.

Contratos coordenadores

Em um cenário de manufatura com duas unidades manufatureiras pertencentes a uma única empresa, toda a informação necessária (demanda de mercado e custos, ou margens) para tomar decisões referentes à produção de ambas as unidades é conhecida. De fato, essas unidades manufatureiras são coordenadas através de um planejamento central e a empresa tem completo poder sobre elas que, conseqüentemente são gerenciadas visando os objetivos da empresa.

Considere que essas unidades produtoras, aqui denominadas unidade compradora e unidade fornecedora, formam um elo em uma cadeia de valor e que ambas podem, também, adquirir seus insumos e vender seus produtos no mercado (ver *Figure 3.1*). Portanto, a empresa prepara os planos para atender as demandas de mercado de cada uma das unidades produtoras, bem como a necessidade de insumos da unidade compradora que serão fornecidos internamente pela a unidade fornecedora.

Considere, também, como usual em manufaturas, que, no curto-prazo, as unidades têm capacidades de produção limitadas e que a empresa deve decidir sobre essas capacidades antecipadamente, no que se convenciona chamar de médio-prazo, quando a demanda real ainda não é perfeitamente conhecida. Posteriormente, no curto-prazo, levando em conta tais capacidades, a empresa decidirá quanto produzir de cada produto para satisfazer, parcialmente, ou totalmente, às realizações das demandas.

O que acontece se, por razões estratégicas de longo-prazo, essas unidades produtoras forem desintegradas verticalmente dando lugar a duas empresas manufatureiras autônomas realizando negócios numa governança de mercado? Cada uma delas irá determinar, no médio-prazo, a capacidade que maximiza seu desempenho esperado (levando em conta suas expectativas de demanda) e, posteriormente, no curto-prazo, levando em conta a demanda realizada, irá comprar no mercado a quantidade de insumos requerida para realizar sua produção. Agora a empresa compradora e a empresa fornecedora, não têm nenhuma "obrigação" de aderir a um planejamento conjunto e ineficiências na sua interação surgem devido à desconexão de seus planos. Entre as ineficiências em um elo de uma cadeia de suprimentos formado por duas empresas autônomas estão: (a) cada empresa tem seus próprios processos de decisão, que podem estar em conflito, (b) as empresas gerenciam sua informação privada, a fim de evitar ações oportunistas da outra empresa, e (c) cada empresa toma decisões que maximizam seu próprio desempenho com base nas suas expectativas de mercado, podendo ensejar um fenômeno conhecido como "dupla marginalização". Grosso modo, pode-se dizer que a dupla marginalização ocorre quando a empresa fornecedora otimiza seu lucro com base nas condições do mercado de seu produto, sem levar em conta uma relação especial que tenha com um cliente de quem é fornecedora preferencial. Em suma, as empresas enfrentam dificuldades em coordenar suas decisões, basicamente, em decorrência da falta de fluxo de informação privada necessária para fazer planos coerentes que maximizem o desempenho conjunto e da impossibilidade de, sob governança de mercado, obrigar a outra a aderir a eles quando há conflito de interesses. Tal situação leva as empresas de uma cadeia de suprimentos a tomar decisões sub-ótimas do ponto de vista coletivo que, em última análise, irá trazer prejuízo a todos os membros da cadeia. Relacionamentos, ou acordos, particulares surgem para restabelecer o fluxo de informação entre as empresas e superar a sub-otimalidade nas decisões tomadas por cada empresa.

Contratos-coordenadores são acordos formais bem definidos propostos visando: (a) recuperar, tanto quanto possível, o desempenho coletivo ótimo proporcionado pelo planejamento central, mantendo as vantagens estratégicas da autonomia das empresas; (b) buscar esse desempenho ótimo induzindo as empresas a coordenar suas ações para superar, ao menos parcialmente, as incoerências no sistema produtivo que conjuntamente formam e (c) aumentar o lucro de cada empresa distribuindo o ganho coletivo obtido pela coordenação, induzindo, assim, cada uma a, voluntariamente, aderir ao contrato. Cachon (2003) salienta três importantes aspectos na análise de contratos, a saber: (i) os contratos devem trazer um ganho à cadeia de suprimentos coordenando as ações das partes, (ii) a distribuição do ganho da cadeia gerado pelo contrato entre os seus membros deve ser flexível, e (iii) os contratos devem ser implementáveis.

Geralmente não é fácil obter um contrato capaz de simultaneamente produzir exatamente os efeitos acima mencionados e exibir as características enunciadas por Cachon (2003). Dada a relevância do tema para a eficiência das novas formas de organização das cadeias de valores, o crescente fracionamento das cadeias de fornecedores que produzem bens e serviços cada vez mais complexos e as vantagens estratégicas da terceirização, o estudo dos contratos coordenadores tem atraído a atenção de muitos pesquisadores. Trata-se de um tema de pesquisa muito rica e interdisciplinar envolvendo aspectos de importância para as Ciências Gerenciais, para a Economia e para o Direito.

O problema e objetivos

O problema a ser tratado neste trabalho é projetar um contrato para duas manufatureiras autônomas que negociam no mercado e desejam estabelecer um relacionamento comprador-fornecedor especial, objetivando aumentar seus lucros pela coordenação de suas decisões de capacidade de médio-prazo (ver uma detalhada definição do problema no "Chapter" 3). É importante observar que a capacidade efetiva nas manufaturas geralmente é decidida de forma hierárquica através de decisões em instantes diferentes e em diferentes níveis. Aqui, a capacidade a ser decidida é uma capacidade normalmente denominada capacidade agregada ou, segundo Jin e Wu (2007), *soft capacity* que vem a ser a capacidade que depende de investimentos de médio-prazo, tais como contratos de fornecimento e contratação de pessoal. Esse é um problema interessante e oportuno do ponto de vista pragmático porque, ainda que relacionamentos entre manufaturas sejam muito freqüentes nas cadeias de suprimentos, os estudos sobre contratos coordenadores entre tal tipo de empresas são raros na literatura.

Além disso, ao contrário da importância relativa encontrada na literatura sobre gestão da cadeia de suprimentos, na maior parte dos relacionamentos comprador-fornecedor não existe empresa dominante com poder e determinação para agir como mestre da cadeia. Em função da autonomia das empresas e do grande fracionamento das indústrias, os relacionamentos mais freqüentes são entre empresas que têm vários clientes e fornecedores importantes e quase permanentes, mas sem dependências determinantes. Na verdade, conforme acima discutido, freqüentemente essa possibilidade de manter uma variedade de clientes e fornecedores é a própria razão para a terceirização.

Nas manufaturas, as decisões de capacidade no médio-prazo são um problema importante porque elas devem ser tomadas com antecedência num instante em que as demandas ainda não são bem conhecidas, ou seja, são decisões tomadas sob risco. Como, ao decidir sobre a capacidade, as manufaturas dispõem apenas de um prognóstico para a demanda de mercado, a decisão de capacidade de médio-prazo deve ser baseada numa estimativa do desempenho operacional esperado pela empresa. No caso de contratos coordenadores, nas suas decisões de médio-prazo, além dos prognósticos, as empresas tomam em conta as condições do contrato. Essas condições contratuais especificam os pagamentos que deverão ser feitos no médio e no curto-prazo em função das condições que ocorrerem e das ações de cada empresa. É essa previsibilidade da ação futura da empresa parceira e a troca de informações relevantes que dá ao contrato a propriedade de coordenar.

O objetivo neste trabalho foi definir um contrato-coordenador e avaliar seu potencial teórico em diferentes ambientes competitivos. Para isso foram utilizados modelos de otimização estocástica que permitem tirar algumas conclusões mais genéricas e também, realizadas algumas ilustrações numéricas de situações artificiais, ainda muito incompletas, mas que dão uma idéia mais concreta dos resultados.

Literatura relacionada

Na literatura sobre coordenação de empresas através de contratos formais de fornecimento, são consideradas cadeias de fornecimento muito simples, usualmente, uma única díade de empresas formando um elo na cadeia de valor e um único período de planejamento. Há duas fortes razões para a pesquisa focar essas situações tão particulares e simples: (a) a complexidade dos modelos matemáticos pode inviabilizar a análise de situações mais gerais ou mais realistas, (b) situações complexas gerariam relações também difíceis de se interpretar, obliterando os resultados mais esclarecedores e pouco acrescentando ao entendimento das propriedades dos contratos.

Apesar de um considerável volume de pesquisa já ter se acumulado, especialmente desde o início deste século, os trabalhos envolvendo duas empresas manufatureiras são ainda escassos. A maioria dos trabalhos considera uma única manufatura suprindo um único varejista. Alguns trabalhos se referem a ambas as empresas como manufaturas, mas a decisão de capacidade não é considerada na empresa compradora, o que equivale a tratá-la como um varejista.

Os trabalhos encontrados na literatura que, diretamente, se relacionam ao problema aqui tratado, foram classificados segundo os aspectos mais relevantes para comparação com o proposto no presente estudo. Assim, fica mais evidente o posicionamento desta pesquisa em relação à literatura, bem como sua originalidade e contribuição. Nessa classificação foram consideradas três dimensões, a saber: (i) as empresas e o ambiente de manufatura, (ii) os pressupostos na análise do contrato, e (iii) os resultados obtidos no elo através do contrato (ver *Table 2.1*).

Na primeira dimensão, para caracterizar o ambiente de manufatura, foram considerados os tipos de empresa compondo a díade (manufatura, ou distribuidor) e a possibilidade de fontes alternativas de fornecimento para as empresas.

Na segunda dimensão, os pressupostos na análise do contrato são dois:

o primeiro é o tipo de conhecimento da informação (simétrica ou assimétrica) sobre a demanda de mercado e sobre os parâmetros de custos, ou lucros e o segundo é o regime de submissão ao contrato (forçada ou voluntária) para a empresa fornecedora em relação à capacidade mínima que, pelo contrato, ela deverá reservar para a outra empresa.

Na terceira dimensão foram considerados três aspectos importantes para a implementação do contrato. Primeiro, a coordenação (parcial ou total) alcançada no elo (i.e. quão próximo do lucro sob planejamento central o contrato pode levar o lucro total da díade). Segundo, qual a flexibilidade que o contrato permite para distribuição do ganho total do elo entre as partes (totalmente arbitrária ou não). Terceiro, se é definido de um mecanismo para que as partes cheguem aos parâmetros do contrato a ser acordado (processo de negociação ou oferta por uma das partes).

O contrato proposto e forma de avaliação

Neste trabalho foi proposto e avaliado um contrato de reserva de capacidade com recompensa e penalidade. A análise do potencial do contrato diz respeito aos seguintes principais aspectos: (a) a melhoria que o contrato pode trazer à díade de empresas em relação ao máximo lucro teórico dado pelo planejamento central; (b) sob que condições o contrato produz benefícios aceitáveis para ambas as partes, ou seja, até que ponto o contrato permite as empresas negociarem a repartição do benefício por ele proporcionado e (c) até que ponto o contrato apresenta características essenciais para sua implementação em situações realistas.

Na análise foi considerado apenas um único produto fornecido pela empresa supridora que é também o único insumo para a empresa compradora. Essa suposição não é tão irrealista quanto pode parecer à primeira vista. Aqui se trata de capacidade de médio-prazo, normalmente conhecida como "capacidade agregada". No médio-prazo, não se trata de programar a produção, mas, tão somente, de decidir a capacidade de produção para itens de uma família de produtos, não importando quanto de cada um será produzido. No curto-prazo, a decisão é sobre a programação desagregada da produção, mas essa é feita sob pleno conhecimento da demanda por cada item a ser produzido e da capacidade disponível para isso. As unidades usadas para expressar as capacidades, assim como as demandas são as mesmas de modo a evitar a complicação de constantes de conversão de unidades e de rendimentos.

O contrato é definido pelos seguintes três parâmetros: quantidade de compromisso de compra ou de reserva de capacidade (R), dependendo do ponto de vista, respectivamente, da empresa compradora e da empresa fornecedora; o desconto (d) sobre cada unidade comprada até a capacidade reservada pela empresa compradora na empresa fornecedora, e a penalidade (t) paga pela empresa compradora à empresa fornecedora por cada unidade de capacidade reservada, mas não utilizada pela ordem de compra emitida no curto-prazo. O contrato proposto pode ser benéfico para ambas as empresas. De fato, a empresa compradora pode obter um menor custo para seu insumo e, a empresa fornecedora, tem sua expectativa de demanda aumentada e menor risco ao decidir sua capacidade de médio-prazo. Isso porque, sob o contrato, ela conta com a demanda adicional proveniente da empresa compradora, ou com a multa pela capacidade reservada e não utilizada. Não obstante, se o contrato será, ou não, benéfico para ambas as partes depende da expectativa sobre as condições do mercado. Intuitivamente, se a fornecedora tem uma expectativa de demanda muito forte, a ponto de estar segura de que não será capaz de atender toda a demanda oriunda do mercado, então não terá interesse em estabelecer um contrato em que concede um desconto para aumentar a demanda. Para uma possível situação de uso da capacidade de produção da empresa fornecedora, sobre as condições do contrato proposto veja *Figure 3.2*.

A mecânica do contrato proposto envolve os estágios de médio- e de curto-prazo relativos, respectivamente, às decisões (sob risco) das capacidades de produção e às decisões (sob certeza) sobre as quantidades a ser produzida. Veja *Figure 3.3* para um esquema das decisões a serem tomadas nesses estágios e as informações de demanda de mercado disponíveis para as decisões de cada estágio. No médio-prazo, cada empresa decide sua capacidade de produção com base na distribuição probabilística (representando sua expectativa) da demanda de mercado, nos custos de capacidade e de produção, nos preços de mercado e nos parâmetros do contrato. A decisão de capacidade de médio-prazo é tomada de forma similar pelas duas empresas. Entretanto, além da demanda de mercado, a empresa fornecedora leva em conta a expectativa (distribuição probabilística) da ordem de compra que a compradora pretende colocar no curto-prazo e que lhe informa com credibilidade. No curto-prazo, a capacidade de cada empresa é dada, pois foi decidida no médio-prazo. Assim, no curto-prazo, cada empresa decide quanto produzir considerando a realização da demanda (demanda real), os custos de produção, os preços de mercado e os parâmetros do contrato.

Conforme dito acima, pressupõe-se que a empresa compradora informa à empresa fornecedora, de forma acreditável, o completo prognóstico para sua necessidade de material. Pressupõe-se, ainda, que a empresa fornecedora possa ser forçada a cumprir sua obrigação de contrato, i.e. construir, ao menos, a capacidade reservada estabelecida e satisfazer a ordem de compra da empresa compradora até essa capacidade.

Na avaliação da eficiência e da viabilidade do contrato, dois *benchmarks* foram considerados: o planejamento independente e o planejamento central. No planejamento independente, as empresas tomam suas decisões de capacidade isoladamente (i.e. sem contrato, sem troca de informações, ou seja, sem distinguir a outra empresa dentre as atuantes no mercado), negociando apenas através do mercado e visando maximizar seu desempenho individual. Como ambas as empresas são livres para rejeitar o contrato, seus desempenhos não podem ser piores do que sob planejamento independente.

No planejamento central supõe-se existir uma gerência central que tem acesso à totalidade da informação de ambas as empresas e que, além disso, possui o poder de impor a cada uma suas decisões sobre as capacidades. Então, supondo que essa gerência central pode sempre determinar a ação ótima para ambas as unidades, o desempenho conjunto da díade sobre planejamento central constitui um limitante superior para o desempenho da díade sob qualquer contrato.

Pressupostos adicionais, resultados gerais e ilustrações numéricas

Na modelagem dos lucros das empresas são feitas algumas suposições importantes: (a) ambas as empresas podem sempre comercializar seus produtos e adquirir seus insumos nos respectivos mercados a preços deterministicamente conhecidos e constantes no tempo. Tais preços são determinados exogeneamente pelos mercados e a participação das empresas nesses mercados não os influencia; (b) as ofertas de insumos nos mercados são ilimitadas; (c) a demanda de mercado experimentada por cada empresa é limitada e, no médio-prazo, conhecida probabilisticamente apenas por ela mesma e representada por uma variável aleatória contínua; (d) no curto-prazo, a demanda de cada empresa é conhecida deterministicamente; (e) os custos de capacidade e produção são informações privadas e nunca são revelados para a outra parte (i.e. informação assimétrica); (f) a função-custo da capacidade de médio-prazo de cada empresa é suposta quadrática e convexa para refletir o fato de que a adição de alguns recursos (contratação e treinamento de pessoal, contratos de fornecimento, entre outros) para expandir essa capacidade "soft" (i.e. sem investimento de capital em ativo fixo) tem custo marginal crescente; (g) o horizonte de planejamento é um único período; (h) qualquer capacidade não utilizada, assim como qualquer estoque remanescente, tem valor residual nulo para ambas as empresas; (i) se, no curto-prazo, a empresa compradora tiver necessidade de material superior à capacidade reservada contratada, irá comprar esse material complementar do mercado e, não, da fornecedora, ainda que ela tenha sobra de capacidade.

Supõe-se que as empresas sejam capazes de agir de forma ótima, maximizando o lucro esperado dadas as demais condições. A função objetiva a maximizar é dada por: *Lucro esperado de médio-prazo (função da capacidade; dado o cenário de manufatura) = Lucro operacional esperado de curto-prazo (função da capacidade; dado o cenário de manufatura, exceto custo da capacidade de médio prazo) - Custo de capacidade de médio-prazo (função de: capacidade),* onde: *cenário de manufatura = parâmetros do contrato; custos de produção; custo de capacidade e demanda probabilística*

Para ambas as empresas (sob o contrato ou não), assim como para o caso de planejamento centralizado, a função objetiva é contínua, quadrática e côncava. Condições de otimalidade para as capacidades das empresas, associadas a um dado contrato, foram desenvolvidas (ver "Chapter" 4). Apesar de essas condições não explicitarem as capacidades ótimas em termos dos parâmetros do contrato e do cenário de manufatura, suas existências e unicidades foram provadas. Além disso, foram determinadas limitantes superiores para as decisões de capacidade em ambas as situações: com e sem contrato. Foi, também, demonstrada a relação entre as capacidades ótimas nessas duas situações. Especificamente, as capacidades ótimas das empresas sobre um contrato genérico são maiores, ou iguais, às capacidades ótimas sobre o planejamento independente (essa relação é estrita para a empresa fornecedora).

Ilustrações numéricas foram desenvolvidas considerando (para facilidade de interpretação, ainda que em detrimento de realismo) as demandas de mercado, para ambas as empresas, representadas por variáveis aleatórias exponenciais. Os dois cenários de manufatura considerados nesses ensaios são idênticos exceto pelo parâmetro da distribuição que representa a demanda de mercado da empresa fornecedora. Conforme esperado, o contrato mostra-se mais relevante no cenário em que a média da demanda de mercado para a empresa fornecedora é menor. Ou seja, o ganho que o contrato traz para o lucro total da díade é maior quando a expectativa de demanda do mercado para o produto da fornecedora é menor. Portanto, em situações de expectativa de demanda de mercado muito elevada para o produto da fornecedora e baixa para o produto da compradora, o contrato pode se tornar desinteressante (no caso de distribuições de demanda limitadas), ou de interesse desprezível (no caso de distribuições ilimitadas à direita).

É desejável que existam múltiplos conjuntos de parâmetros ótimos (i.e. que produzam o máximo ganho possível para a díade com diferentes conjuntos de valores dos parâmetros) que impliquem diferentes repartições do ganho da díade, dando espaço para negociar ganhos aceitáveis por ambas as empresas. Como, nesta pesquisa, não foi provada a unicidade, ou a multiplicidade de casos de contratos ótimos, o espaço de conjuntos de parâmetros de contrato foi explorado buscando um contrato ótimo a partir de diferentes contratos iniciais. Nas ilustrações desenvolvidas (ver "Chapter" 5), a grade de contratos iniciais usada para otimização foi definida por dez valores regularmente espaçados no intervalo admissível (i.e. de valores dos parâmetros que não implicam em contratos claramente absurdos) de cada parâmetro. O procedimento de busca do contrato ótimo a partir dos pontos iniciais da grade foi realizado por um algoritmo de busca sem cálculo de derivadas (*derivative-free pattern search*).

Dentre os contratos obtidos por esse procedimento, foram analisados os que se mostraram viáveis (i.e. que, em relação à atuação independente, produzem ganhos positivos para ambas as empresas). Esses resultados, ainda que muito limitados, são encorajadores. Entre eles, uma grande parte mostrou um alto grau de coordenação, atingindo mais de 99,5% do lucro ótimo sob planejamento central e apresentando uma ampla gama de repartição do ganho entre as empresas. Conforme a suposição de modelagem (i) acima, para simplificação dos cálculos, foi eliminada a possibilidade de, no curto-prazo, a empresa fornecedora usar uma eventual sobra de capacidade para suprir uma eventual necessidade adicional de material da compradora. Isso certamente torna impossível uma coordenação 100%, visto que se a distribuição de demanda do mercado da compradora for ilimitada à direita, haverá sempre uma probabilidade positiva de essa demanda superar a capacidade reservada e a demanda de mercado da fornecedora não ser suficiente para ocupar sua capacidade acima da reservada.

Conclusões e pesquisa futura

Neste trabalho, um contrato de reserva de capacidade com recompensa e penalidade foi proposto para coordenar as decisões de capacidade de médio-prazo, num horizonte de planejamento de único período, de duas manufaturas diante de demandas de mercado probabilísticas. Os resultados obtidos da análise desse contrato indicam que ele é capaz de conduzir a um alto grau de coordenação e permitindo uma ampla gama de repartição dos ganhos. Conseqüentemente, dependo do cenário de manufatura em questão, o contrato pode ser atrativo para ambas as empresas.

Alguns aspectos importantes não foram investigados de forma aprofundada nesta pesquisa. Entre esses se podem destacar dois mais importantes: (a) a credibilidade da expectativa (representada por uma distribuição de probabilidade) de necessidade de material que a empresa compradora deve informar à empresa fornecedora e (b) a necessidade de obrigar a empresa fornecedora a honrar seu compromisso (*forced compliance*) de reserva de capacidade.

O primeiro aspecto exige que a empresa fornecedora considere que a simples impossibilidade de a compradora se beneficiar manipulando a informação seja suficiente para lhe conferir credibilidade. Isso pode ser considerado plausível se for considerado que empresas valorizam sua reputação e que os ganhos dessa ação oportunista são limitados pela probabilidade de sansões contratuais. O segundo aspecto implica que, se não for possível monitorar o cumprimento da reserva contratada, a fornecedora terá sempre uma vantagem ao reservar uma quantidade ligeiramente inferior à contratada. De novo, tal atitude pode levar à inviabilidade de fornecimento e, portanto a sanções contratuais. Portanto o ganho será sempre bem limitado.

De maneira similar a outros trabalhos encontrados na literatura sobre análise de contratos, o processo de negociação para obter os parâmetros do contrato a ser estabelecido entre as empresas não foi tratado neste trabalho. Isso porque esse processo envolve aspectos estratégicos e especificidades de cada caso, fugindo, portanto, ao escopo da pesquisa.

A taxonomia apresentada ("Chapter" 2) mostra que a consideração conjunta de vários aspectos outorga originalidade a este trabalho. Primeiro, o estudo focaliza a coordenação da díade visando à maximização do seu desempenho esperado sem que uma das empresas seja a líder e a outra, a seguidora. Segundo, ambas as empresas são manufatureiras e, por isso, no curto-prazo têm suas capacidades de produção finitas conforme as decisões tomadas no médio-prazo. Este é um aspecto de relevância pragmática, pois relacionamentos manufatura-a-manufatura são mais numerosos na maioria das cadeias de fornecimentos do que os relacionamentos manufatura-a-distribuidor que ocorrem apenas no penúltimo elo das cadeias. Terceiro, a possibilidade de, mesmo sob contrato, não haver impedimento para vender ao mercado é considerada para ambas as empresas. Portanto, admite-se que as transações sob governança de mercado poderiam ser mais atrativas do que a coordenação por contrato. Quarto, todos os custos são considerados informações privadas não sendo exigido que as empresas revelem essa informação potencialmente sensível. Esse pressuposto impede a consideração de um jogo de *Stackelberg*, ou similar, para determinar os parâmetros do contrato, mas parece ser mais realista. Quinto, o contrato pressupõe credibilidade da informação passada de uma empresa para a outra, mas a empresa informante não pode obter vantagem por falseando a informação. Sexto, apesar de supor cumprimento forçado do contrato, o incentivo para não honrar os termos do contrato parece ser fraco para contratos reais.

A condução de experimentação numérica mais elaborada é uma complementação importante para este trabalho. Entre os aspectos a investigar estão os seguintes: usar distribuições de probabilidade mais realistas para representar as demandas de mercado; melhorar o procedimento de exploração dos conjuntos de parâmetros ótimos e projetar experimentos numéricos mais completos e confiáveis. Outra complementação importante é a eliminação da suposição simplificadora de que, no curto-prazo, a empresa compradora é impedida de comprar (a preço de mercado) da empresa fornecedora.

Uma extensão interessante do ponto de vista prático é avaliar o contrato por meio de um pequeno número de cenários discretos para as demandas de mercado, conforme o mais comum na prática empresarial.

Entre os tópicos para pesquisa futura podem ser destacados: (i) desenvolver esquemas realistas para negociar os parâmetros de contratos e avaliar a qualidade dos seus resultados, (ii) desenvolver modelos e métodos numéricos para obter bons contratos em horizonte de planejamento multi-períodal com recurso periódico. (iii) incorporar outras empresas, compradoras e/ou fornecedoras, à cadeia de fornecimento estudada, (iv) investigar os efeitos de remover pressuposto de submissão forçada para a empresa fornecedora, e (v) incorporar preços de mercado aleatórios.